

И.Г. Грингоф, А.Д. Пасечнюк

АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Допущено
в качестве учебника
для гидрометеорологических
средних специальных
учебных заведений
Росгидромета



Санкт-Петербург
ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ
2005

Рецензенты: канд. экон. наук В. М. Бортыков, Т. П. Войцехович, Е. Ф. Черная, В. Н. Черный

Учебник состоит из двух частей: „Агрометеорология” и „Агрометеорологические наблюдения”.

В первой части освещается значение агрометеорологических факторов в жизни растений и в сельскохозяйственном производстве (глава 1). Особое внимание уделено характеристике опасных для сельскохозяйственного производства гидрометеорологических явлений и мерам борьбы с ними в теплый и холодный периоды года (главы 2 и 3). Приводится описание основных сельскохозяйственных культур в соответствии с их потребностями в агрометеорологических ресурсах (глава 4).

Глава 5 посвящена изложению основ агроклиматологии: рассматриваются методы сельскохозяйственной оценки климата, описаны агроклиматические ресурсы территории, методы агроклиматического районирования. Дана характеристика поястной мезоклимата, микроклимата и фитоклимата, показано значение знаний о микроклимате для рационального использования климатических ресурсов в сельском хозяйстве. Сообщаются современные знания о влиянии антропогенных изменений глобального климата на сельскохозяйственное производство в Российской Федерации.

Излагаются научные основы агрометеорологических прогнозов формирования урожайности основных сельскохозяйственных культур, сеяных трав и пастбищной растительности; приводятся основные сведения о современных технологиях в развитии агрометеорологических прогнозов (глава 6).

Описана система современного агрометеорологического обеспечения различных отраслей аграрного сектора страны и методы оценки экономической эффективности обслуживания сельскохозяйственного производства (глава 7).

Во второй части (главы 8—19) излагаются все виды основных наземных агрометеорологических наблюдений, осуществляемых сетевыми наблюдательными организациями (СНО), в соответствии с действующим Наставлением, вып. 11. В каждой главе рассказывается, для каких целей проводятся наблюдения, что дают такие наблюдения и где они используются.

Все главы заканчиваются разделом „Вопросы и задания” для облегчения усвоения учебного материала.

Учебник рассчитан на учащихся гидрометеорологических техникумов Росгидромета и национальных гидрометеорологических служб стран СНГ, он может быть полезен специалистам сельскохозяйственного профиля, экологам и географам, а также преподавателям средней школы.

ПРЕДИСЛОВИЕ

После издания последнего учебника „Агрометеорология”, подготовленного И. Г. Грингофом, В. В. Поповой, В. Н. Страшным (Л., Гидрометеиздат, 1987 г.), прошло более 15 лет. В эти годы произошел распад СССР. На постсоветском пространстве сформировалось Содружество Независимых Государств (СНГ). В экономике начался переход к рыночным отношениям. Происходит перестройка и в аграрном секторе экономики России.

Значительные изменения произошли в системе гидрометеорологической службы, в частности в оперативном агрометеорологическом обеспечении сельскохозяйственного производства страны. Такие изменения, естественно, коснулись и сферы научных исследований в области сельскохозяйственной метеорологии. Во Всероссийском научно-исследовательском институте сельскохозяйственной метеорологии (ВНИИСХМ) Росгидромета и в Российском гидрометеорологическом научно-исследовательском центре (Гидрометцентр России) применяются новые компьютерные методы и автоматизированные технологии, значительное развитие получили методы использования спутниковой информации и др.

В 1999—2000 гг. началось укрепление наблюдательной сети. Была проведена аккредитация новых метеорологических служб в ряде учреждений гидрометеорологической службы, осуществляется модернизация всей системы передачи информации, ее защиты, налаживается техническое оснащение наблюдательной сети, восстанавливается система методических инспекций со стороны головного института, расширяются территории, обслуживаемые Гидрометцентром России, ВНИИСХМ, УГМС и их подразделениями. Стали увеличиваться объемы специализированного гидрометеорологического обслуживания потребителей информацией, постепенно улучшается взаимодействие агрометеорологов с администрациями субъектов Российской Федерации. В практику агрометеорологических наблюдений внедряются новые методы и средства измерений.

Вся эта работа направлена на оказание действенной и своевременной помощи сельскохозяйственному производству и на снижение возможных потерь урожая от неблагоприятных и опасных гидрометеорологических явлений.

Техник-агрометеоролог должен знать основные особенности климата и погоды в районе своей деятельности и их влияние на сельскохозяйственные культуры и сельскохозяйственных животных. Он должен уметь проводить разнообразные агрометеорологические наблюдения, правильно пользоваться современными приборами при измерениях различных параметров среды и растений. Ему необходимо умение проводить первичную обработку информации и передавать ее по каналам связи. В практической работе технику требуются знания по широкому кругу вопросов, направленных на повышение эффективности агрометеорологического обеспечения аграрного сектора экономики страны.

Предлагаемый учебник разработан на базе обобщения традиционных знаний и современных достижений в области сельскохозяйственной метеорологии, в том числе в системе агрометеорологических наблюдений. По сравнению с предыдущим изданием большее внимание уделено объяснению физических процессов, протекающих в системе почва—растение—атмосфера. В учебник введен новый крупный раздел (часть 2) „Агрометеорологические наблюдения“. Обновлены многие примеры и иллюстрации.

Учебник написан в соответствии с современными требованиями учебной программы по курсам „Агрометеорология“ и „Агрометеорологические наблюдения“, учтены особенности работы агрометеоролога в различных почвенно-климатических зонах и в различные сезоны года.

Предисловие, введение, часть 1 „Агрометеорология“ написаны доктором биологических наук, Заслуженным метеорологом Российской Федерации, профессором И. Г. Грингофом (ВНИИСХМ), часть 2 „Агрометеорологические наблюдения“ написана кандидатом географических наук А. Д. Пасечником (ВНИИСХМ). В конце учебника приведен список рекомендуемой научно-методической литературы.

Авторы признательны научному редактору учебника кандидату географических наук Д. В. Козинец, а также рецензентам В. М. Бортякову, Е. Ф. Черной, Т. П. Войшноровичу, В. Н. Черному за их замечания и предложения, направленные на улучшение содержания учебника.

ВВЕДЕНИЕ

Сельскохозяйственная деятельность человека является древнейшей формой использования им природных ресурсов. При постоянном росте численности населения планеты Земля и, следовательно, потребностей в продуктах питания необходимо ежегодное увеличение объемов сельскохозяйственного производства.

Сельское хозяйство как отрасль материального производства представляет собой сложную систему, связанную с биологическими особенностями сельскохозяйственных культур и животных, а также с конкретными природными условиями, в которых происходит их возделывание и выращивание. Как система сельское хозяйство характеризуется следующими специфическими свойствами:

- длительностью процесса производства конечного продукта;
- рассредоточенностью объектов производства по территориям;
- разнообразием и объемом полученного конечного продукта;
- относительной ограниченностью природных ресурсов (недостаточное увлажнение, дефицит тепла, низкое естественное плодородие почвы и т. п.);

- неопределенностью получения запланированного результата.

В различных регионах земного шара условия жизни людей неодинаковы, поскольку исторически сформировавшиеся почвенно-климатические зоны и высотные пояса в горных регионах обладают различными возможностями для продукционного процесса растений и производства биологической продукции. Получение продуктов продовольствия и сельскохозяйственного сырья для перерабатывающей промышленности является, как известно, функцией природных условий, используемых технологий сельскохозяйственного производства и принятой в каждой конкретной стране социально-экономической системы распределения продуктов питания.

В своем стремлении взять от природных ресурсов как можно больше для обеспечения растущих потребностей общества человек в процессе сельскохозяйственного производства все энергичнее вторгается в сложившиеся тысячелетиями экологические системы, нарушает их естественное равновесие и процессы самовосстановле-

ния, увеличивает так называемое антропогенное давление на природу.

В середине XX столетия впервые прозвучал тревожный сигнал о продовольственной безопасности многих стран мира, особенно имеющих низкий социально-экономический уровень развития или находящихся на переходном этапе экономики. Продовольственная безопасность — это состояние экономики, при котором государством гарантируется обеспечение доступа всех жителей страны и в любое время к продовольствию в количестве, необходимом для их активной и здоровой жизни. Критическим пределом продовольственной безопасности страны считается 50-процентная доля ввозимых продуктов питания (импорт). Полноценное, сбалансированное по различным физиологическим критериям питание людей в условиях нарастающего загрязнения биосферы зависит как от количества потребляемых продуктов, так и от их качества.

В мировой флоре и фауне зарегистрированы сотни тысяч видов животных и растений, но лишь около сотни из них используются человеком для производства основных видов продуктов питания. Зависимость удовлетворения потребностей человека в продовольствии от сравнительно узкого набора сельскохозяйственных растений и животных повышает уязвимость систем производства продуктов питания от случайных природных явлений.

Неустойчивость погодных условий, смена влажных лет засушливыми, суровых зим теплыми вызывают существенную изменчивость размеров урожая сельскохозяйственных культур и продуктивности животноводства. Кроме того, экстремальные условия погоды (такие, как засухи, суховеи, заморозки, наводнения и т. п.), широкое и стремительное распространение заболеваний среди сельскохозяйственных животных (*эпизоотии*), массовое развитие вредителей и болезней сельскохозяйственных культур, а также загрязнение окружающей среды наносят существенный урон аграрному сектору экономики и производству продовольствия. Это наглядно иллюстрируют рис. 1 и 2.

Большое разнообразие почвенно-климатических условий на территории Российской Федерации и других стран Содружества Независимых Государств (СНГ) позволяет развивать многоотраслевое сельское хозяйство. Однако известно, что на этой огромной территории лишь третья часть всех посевных площадей расположена в зоне гарантированных урожаев. На остальных площадях засушливые условия, неблагоприятная перезимовка растений или длительное переувлажнение почвы вызывают снижение продуктивности посевов и сокращение поголовья сельскохозяйственных животных.

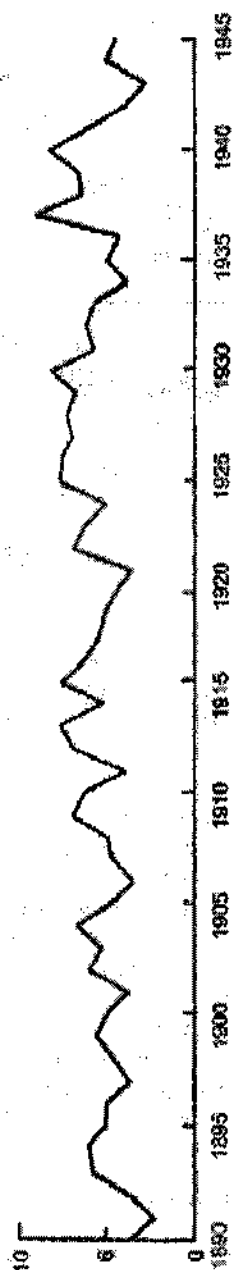
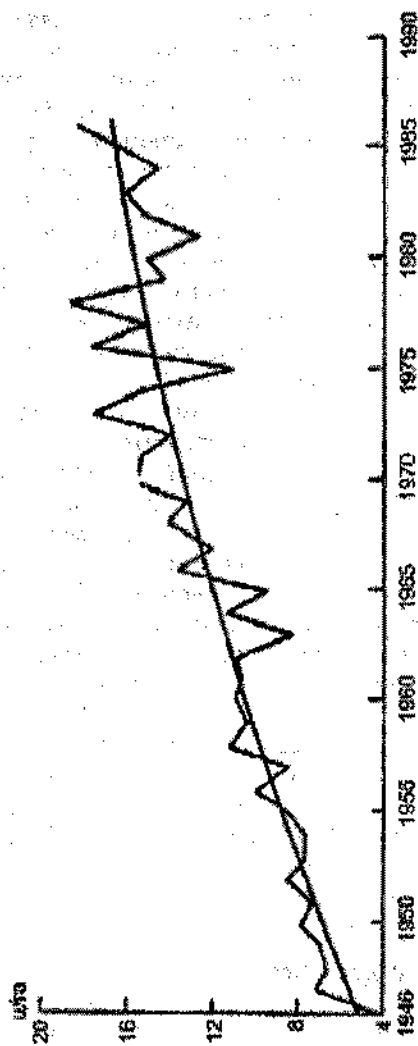


Рис. 1. Динамика урожайности зерновых культур на территории России и сопредельных государств с 1890 по 1986 г. и линия тренда с 1945 по 1986 г. (по Е. С. Улановой, 1988)

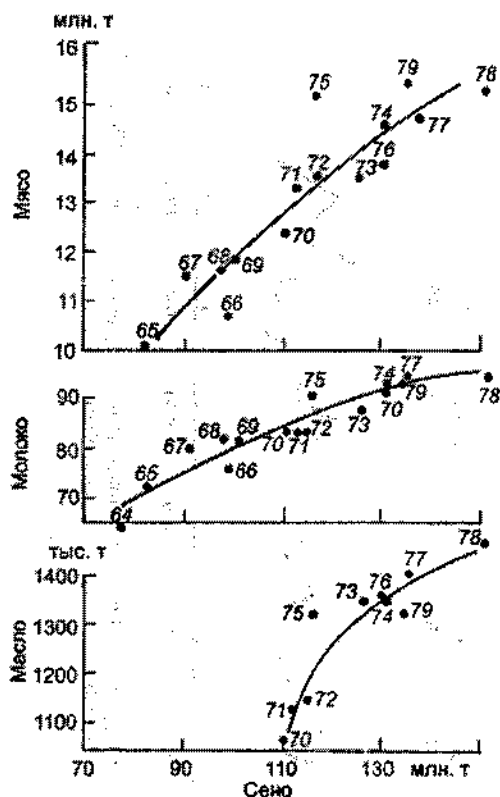


Рис. 2. Динамика производства мяса, молока и масла в зависимости от валового сбора сена и зеленых кормов в текущем году (по Н. В. Гулиновой, 1988)

Крупнейший русский ученый климатолог А. И. Воейков писал: „Метеорологические условия имеют огромное значение для сельского хозяйства; человеку нужно изучать климат, чтобы обратить его хорошие стороны в свою пользу и по возможности устранить влияние вредных условий, но для этого необходима продолжительная и напряженная научная работа; нужно много изучить для того, чтобы достигнуть успеха”.

Вековой путь становления и развития сельскохозяйственной метеорологии, впитавшей достижения метеорологии и климатологии, почвоведения и агрономии,

физиологии растений и животных, экологии и других наук, убедительно показал ее научно-практическую значимость. Потребность в расширении использования достижений сельскохозяйственной метеорологии в аграрном секторе экономики постоянно возрастает в нашей стране и за ее пределами.

Почетный академик Российской сельскохозяйственной академии (прежнее название ВАСХНИЛ) известный ученый-агроном, Герой Социалистического Труда Т. С. Мальцев говорил: „Работа крестьянина напоминает мне шахматную партию, в которой погода имеет преимущество первого хода. Своевременный ответный ход возможен в том случае, если к нему он подготовлен”.

Предмет и задачи агрометеорологии

Основная масса сельскохозяйственной продукции производится в естественных природных условиях. Это своеобразный цех под открытым небом. Объемы его производства и качество продукции за-

висят от степени плодородия почвы, количества солнечного света, тепла и влаги, от уровня культуры земледелия и животноводства. Выдающийся русский ученый почвовед В. В. Докучаев отмечал, что „почва и климат — суть основные и важнейшие факторы земледелия — первые и неизбежные условия урожая”.

Наука, изучающая метеорологические, климатические, гидрологические и почвенные условия в их взаимодействии с объектами и процессами сельскохозяйственного производства, называется сельскохозяйственной метеорологией. Эта комплексная наука включает в себя (согласно ГОСТ 17713—89) следующие самостоятельные научные разделы: агрометеорологию, агроклиматологию, агрогидрологию и зоометеорологию.

Агрометеорология — наука, изучающая метеорологические и почвенные условия в их взаимодействии с процессами роста, развития, формирования урожая сельскохозяйственных культур, сенокосно-пастбищной растительности и агротехническими мероприятиями. Особенность агрометеорологии как науки состоит в том, что она сформировалась и развивалась на стыке различных областей знаний, таких как метеорология, климатология, агрономия, физиология растений, почвоведение, география, экология и др. Агрометеорология представляет собой стройную систему научных знаний, объединенных законами и понятиями, методами и средствами исследования. Их использование позволяет выявлять количественные и качественные связи объектов сельского хозяйства и процессов сельскохозяйственного производства с условиями погоды.

Агроклиматология — наука, изучающая климатические условия в их взаимодействии с объектами и процессами сельскохозяйственного производства.

Агрогидрология — наука, изучающая состояние, водно-физические свойства и водный режим почвы сельскохозяйственных угодий в их взаимодействии с метеорологическими условиями, объектами и процессами сельскохозяйственного производства.

Зоометеорология (зооклиматология) — наука, изучающая влияние метеорологических (и климатических) условий на сельскохозяйственных животных.

Важнейшие задачи агрометеорологии:

1) изучение количественных и качественных причинно-следственных связей между погодными (гидрометеорологическими) условиями и состоянием, ростом, развитием и формированием урожайности сельскохозяйственных культур и сенокосно-пастбищной растительности;

2) изучение закономерностей формирования гидрометеорологических условий сельскохозяйственного производства в пространстве и времени;

3) разработка методов количественной и качественной оценки влияния гидрометеорологических факторов на состояние почвы, растений, на рост, развитие и формирование продуктивности агрофитоценозов; развитие и распространение вредителей и болезней сельскохозяйственных культур;

4) разработка всех видов агрометеорологических прогнозов;

5) разработка методов оценки, прогноза неблагоприятных и опасных для сельского хозяйства гидрометеорологических явлений и методов активного воздействия на эти явления;

6) изучение проблемы устойчивости сельскохозяйственного производства в зависимости от складывающихся гидрометеорологических условий, влияния глобального изменения климата и воздействия человеческого сообщества на агрофитоценозы;

7) совершенствование всех видов агрометеорологических наблюдений и создание комплексного агрометеорологического мониторинга;

8) изучение и прогнозирование спроса на агрометеорологическую информацию в условиях перехода к рыночной экономике, популяризация агрометеорологических знаний.

Эти и другие задачи решаются агрометеорологической наукой и практикой с целью проведения и усовершенствования всех форм оперативного агрометеорологического обеспечения информацией аграрного сектора страны.

Осуществляя непосредственное руководство работами в „сельскохозяйственном цехе“ по производству продукции, агроном должен знать потенциальные возможности сложной, динамичной и многофакторной системы почва—растение—атмосфера, которые исследуются и раскрываются агрометеорологической наукой.

Значительна роль техников и инженеров-агрометеорологов, отвечающих за объемы и качество сбора агрометеорологической информации, ее первичную обработку и обобщение, правильность и оперативность ее передачи в центры сбора информации. Агрометеорологическая информация используется для оперативного обслуживания потребителей, связанных с управлением и производством сельскохозяйственной продукции, а также для научных исследований; она служит основным источником пополнения банков данных по сельскохозяйственной метеорологии.

Методы агрометеорологических исследований

К числу основных методов агрометеорологических исследований относятся следующие.

1. *Метод сопряженных (параллельных) наблюдений* за состоянием, ростом, развитием и формированием урожайности расте-

ний и агрометеорологическими условиями, в которых возделываются и произрастают объекты наблюдений. С помощью этого метода на материалах полевых (и лабораторных) наблюдений устанавливаются количественные и качественные связи между условиями погоды и состоянием, ростом, развитием и формированием продуктивности растений. Выявляется потребность растений в основных факторах среды — количестве света, тепла, влаги, питательных веществ; определяются пороговые (критические) значения этих факторов для жизнедеятельности различных культур, сортов и естественной растительности.

2. *Метод учащенных сроков сева.* Агрометеорологические исследования объектов растениеводства неизбежно связаны с сезонным развитием природы. Для выявления закономерностей роста и развития растений необходим многолетний ряд наблюдений. С целью ускорения периода исследований в агрометеорологии широко используется метод учащенных сроков сева изучаемых растительных объектов. При этом растения, высеваемые, например, через каждые 5—10 дней начиная с весны и до конца вегетационного периода, попадают в неодинаковые условия освещенности, тепла и влаги. Сопряженные наблюдения за метеорологическими условиями, ростом и развитием растений позволяют собрать разнообразные сведения о реакции растений на изменяющиеся условия их произрастания. Этот метод применяется на делянках одного поля или в лабораторных условиях.

3. *Метод географических посевов* одновременно в различных почвенно-климатических зонах страны или, реже, в различных странах и даже на разных континентах. Последний вариант применяется очень редко в связи с большими организационными трудностями. Этот метод предусматривает использование идентичного посевного материала, единообразие агротехнических приемов возделывания и методики наблюдений. Только при соблюдении этих правил различия в почвенно-климатических условиях отразятся на особенностях роста, развития и формирования урожая изучаемых растений (культур, сортов и гибридов). По существу, этот метод позволяет решать ту же задачу, что и метод учащенных сроков сева, поскольку исследуемые растения возделываются в различных условиях продолжительности и интенсивности освещенности, теплового и водного режимов. Метод позволяет, в частности, определить районы, наиболее благоприятные для выращивания той или иной культуры (сорта, гибрида), где она дает наиболее высокие, стабильные урожаи хорошего качества.

4. *Экспериментально-полевой метод исследований* предусматривает использование различных стационарных и передвижных камер искусственного климата (фитотронов), газометрических эко-

логических камер, низкотемпературных шкафов (камер), специальных камер, позволяющих изменять продолжительность светового дня, теплиц и других подобных устройств, регулирующих по программам опытов агрометеорологические условия.

5. *Метод дистанционного (неконтактного) определения параметров подстилающей поверхности* (почвы, посевов сельскохозяйственных культур, растительного покрова), фенологического состояния и плотности растений на единице площади, надземной биомассы или отдельных элементов растений — площади листьев, элементов продуктивности растений и т. п. Метод предусматривает использование специальной аппаратуры, устанавливаемой на различных видах наземного транспорта, на самолетах, вертолетах или искусственных спутниках Земли. Этот метод исследования применяется для получения информации об изучаемых объектах на больших площадях.

6. *Картографический метод* используется при составлении микроклиматических карт территорий отдельных хозяйств, агроклиматических карт и атласов для оценки агроклиматических ресурсов с целью наиболее рационального размещения сельскохозяйственных культур.

7. *Метод математической статистики*, позволяющий обрабатывать массовые материалы наблюдений с целью выявления надежных количественных связей роста, развития и формирования продуктивности растений с агрометеорологическими условиями.

8. *Метод физико-математического моделирования* позволяет с помощью математического аппарата и выявленных физических закономерностей описывать влияние комплекса агрометеорологических условий на рост, развитие и формирование продуктивности растений, а также исследовать процессы обмена теплом, влагой и энергией в сложной и динамичной системе почва — растение — атмосфера.

Основные биологические и экологические законы, используемые в агрометеорологии

Перечисленные методы агрометеорологических исследований базируются на использовании основных биологических и экологических законов.

1. *Закон неравноценности факторов среды для растений.* Сущность закона заключается в том, что не все факторы среды оказывают одинаковое воздействие на растительный организм. По своему влиянию на растения они подразделяются на основные и второстепенные. *Основные факторы* — это свет, тепло, влага, воздух, питательные вещества и субстрат, оказывающие непосредственное

прямое влияние на рост, развитие и формирование продуктивности в течение всего периода жизни растений на всей территории их произрастания. К *второстепенным (дополнительным) факторам* относятся такие, которые лишь корректируют (усиливают или ослабляют) воздействие основных факторов только в отдельные периоды жизни растений и, как правило, на локальных территориях — ветер, облачность, ориентация и крутизна склонов в горах и т. п. Например, облачность ослабляет интенсивность солнечной радиации; ветер усиливает испарение с поверхности почвы (воды) и транспирацию растений и т. д.

2. *Закон равнозначности (или незаменимости) основных факторов жизни.* Жизнедеятельность растений обеспечивается такими факторами среды, как свет, тепло, влага, воздух, питательный субстрат (почва или ее заменитель). Их роли равнозначны, поскольку ни один из факторов не может быть исключен или заменен другим. Совокупность воздействия на растения этих факторов обеспечивает то или иное состояние, рост, развитие и формирование продуктивности растений.

3. *Закон минимума (или лимитирующего фактора).* Состояние растения, его конечная продуктивность определяются фактором, находящимся в минимуме при оптимальных прочих условиях. Таким фактором является, например, недостаток почвенной влаги или пониженная температура в критические периоды жизни растений. В экологии и агрометеорологии этот закон называют также по имени его автора — закон Либиха.

4. *Закон оптимума (или совокупного действия факторов).* Согласно этому закону, максимальная продуктивность растений формируется только при оптимальном количественном сочетании основных и второстепенных факторов в критические периоды жизни растений в условиях непрерывного повышения агротехники возделывания сельскохозяйственных культур.

5. *Закон максимума.* Согласно этому закону, при увеличении значений экологических параметров биологическая продуктивность организма (агроценоза или экосистемы) не может увеличить-ся сверх вещественно-энергетических лимитов, закрепленных наследственными свойствами биологических объектов или их сообществ.

6. *Закон последовательного прохождения фаз развития.* Фазы развития растений (и периоды в жизни животных) могут следовать лишь в эволюционно закрепленном (исторически, экологически обусловленном) порядке, обычно от относительно простого к сложному. Как правило, промежуточные этапы развития не выпадают, но возможно их очень быстрое прохождение. Ничто не может пройти индивидуальное развитие от старости к молодости.

7. *Закон критических периодов.* В соответствии с этим законом отдельные периоды жизни растения особо чувствительны к определенным количественным значениям основных факторов среды: к уровню температуры, количеству влаги в почве, освещенности и т. п.

8. *Закон фотопериодической реакции (или физиологических часов).* Согласно этому закону, растения реагируют на продолжительность дня и ночи ускорением или замедлением развития при изменении световой части суток.

9. *Закон плодосмены.* Чередование культур в пространстве и во времени (севооборот) при прочих равных условиях обеспечивает получение более высоких урожаев, чем при многократных посевах одной и той же культуры на одном поле (монокультура).

10. *Закон убывающего (естественного) плодородия.* В условиях многолетних посевов монокультуры вследствие изъятия питательных веществ из почвы при формировании урожая и его вывозе с полей происходит снижение естественного плодородия почвы. Этот процесс компенсируется главным образом внесением удобрений и лишь частично — накоплением биомассы подземных частей сельскохозяйственных культур. Общая интенсификация сельскохозяйственного производства позволяет частично нейтрализовать проявление этого закона.

В исследовательской работе научных учреждений Росгидромета и национальных гидрометеорологических служб стран СНГ широко используются перечисленные методы исследований и законы, разрабатываются новые подходы при решении теоретических и прикладных задач. Успехи агрометеорологической науки и уровень подготовки специалистов агрометеорологов во многом определяют характер и полноту оперативного агрометеорологического обеспечения аграрного сектора страны.

Краткий очерк истории развития агрометеорологии

С древнейших времен крестьянское земледелие в России испытывало тяжелые последствия опустошительных засух, суховеев, черных бурь, чрезмерно обильных дождей, градобития, поздних весенних и ранних осенних заморозков, неблагоприятных условий перезимовки озимых культур и других стихийных бедствий, обрекавших людей на нищету и голод. Полная зависимость от складывающихся погодных условий заставляла земледельца наблюдать за явлениями погоды и их влиянием на посевы. Многолетние наблюдения, обобщенные в форме народных примет, передавались из поколения в поколение. Назовем лишь некоторые из них: „коли в марте дождь льет, плохие надежды подает“, „ни в марте воды, ни в апреле травы“, „апрель теплый, май холодный — год хлебородный“, „кто

по календарю сеет, тот плохо веет", „на Егория (6 мая) мороз — будет просо и овес, на Егория роса — будут хорошие овсы", „кукушка закуковала — пора лен сеять", „земляника красна — не сей овса напрасно", „сырое лето и теплая осень — к долгой зиме", „снег на полях — хлеб в закромах" и многие другие. Знание народных примет помогало земледельцу снизить степень риска в получении урожая.

По существу, накопленная веками крестьянская мудрость стала источником нового научного направления — агрометеорологии. Многие поколения передовых ученых-агрономов стремились поднять уровень культуры земледелия в стране, избавить крестьянское хозяйство от страшных недородов — предвестников голода и гибели людей.

Первые дошедшие до нас высказывания о необходимости изучения влияния погоды на сельскохозяйственное производство принадлежат великому русскому ученому М. В. Ломоносову. В 1758 г. на одном из выступлений на заседании Российской академии наук он говорил: „Предсказание погоды сколь нужно и полезно на земле, ведаёт больше земледелец, которому во время сеяния и жатвы — ведро, во время рачения — дождь, благорастворенный теплотою, надобен”.

В конце XVIII — начале XIX в. передовые ученые А. Т. Болотов и И. М. Комов проводили систематические наблюдения за условиями погоды и состоянием посевов с целью выявления влияния погодных условий на произрастание сельскохозяйственных культур. В 1854 г. Д. Реутович выпустил первую оригинальную книгу „Сельскохозяйственная метеорология”, аналогов которой в мире еще не было. В ней были рассмотрены главным образом вопросы предсказания погоды и их использование в сельском хозяйстве.

Становление сельскохозяйственной метеорологии как науки произошло только в конце XIX столетия. Ее основоположниками были выдающиеся русские ученые Александр Иванович Воейков (1842—1916 гг.) и Петр Иванович Броунов (1852—1927 гг.). В 1884 г. в своей знаменитой книге „Климаты земного шара, в особенности России” профессор А. И. Воейков впервые оценил и практически показал важность использования климатических данных в сельскохозяйственном производстве. Он дал оценку климатических ресурсов страны для нужд сельского хозяйства, в частности, для выращивания кукурузы на зерно и фураж, разработал агроклиматическое обоснование возделывания субтропических культур (чай, цитрусовых и др.) на юге России (бывшего СССР), обосновал развитие орошаемого земледелия в южных районах страны, развитие хлопководства в Туркестане. А. И. Воейков сделал важный вывод о роли снежного покрова, показал целесообразность проведения сне-

службы (УГМС). Таким образом, вскоре после установления советской власти в России одновременно с развитием исследовательской работы в области сельскохозяйственной метеорологии возникла и начала развиваться другая ее отрасль — оперативная агрометеорологическая служба.

В 1923 г. на базе Ученого комитета Департамента земледелия был организован Государственный институт опытной агрономии (ГИОА), реорганизованный впоследствии во Всесоюзный институт растениеводства (ВИР), в котором функционировал отдел сельскохозяйственной метеорологии. Оперативная агрометеорология развивалась быстрыми темпами, поэтому возникла потребность в создании научного центра по сельскохозяйственной метеорологии. В 1932 г. по инициативе П. И. Броунова на базе отдела сельскохозяйственной метеорологии ВИР в Ленинграде был организован Агрогидрометеорологический институт (АГМИ), объединивший всю научно-исследовательскую работу в этой области.

Несколько позже, в 1934 г., на базе Метеорологического бюро Саратова и отдела сельскохозяйственной метеорологии Саратовской опытной сельскохозяйственной станции был создан Институт засухи и суховеев, который возглавил профессор Р. Э. Давид (1887—1939 гг.). Организация этого института была связана в первую очередь с частыми, порой катастрофическими засухами, поражавшими зерновые районы Поволжья и других регионов страны.

В АГМИ и в Институте засухи была развернута широкая программа агрометеорологических исследований: разрабатывалась теория агрометеорологических прогнозов, проводились полевые эксперименты, изучалась динамика запасов почвенной влаги на территории СССР, влияние снегозадержания на формирование запасов почвенной влаги с целью оценки влагообеспеченности посевов. Впервые был разработан и опубликован „Мировой агроклиматический справочник“, продолжалось изучение засух и суховеев, были разработаны основы агрометеорологического обслуживания сельскохозяйственного производства. Первый учебник „Сельскохозяйственная метеорология“ (1936 г.) был подготовлен академиком ВАСХНИЛ Р. Э. Давидом и его коллегами.

Академик Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук им. В. И. Ленина (ВАСХНИЛ) Р. Э. Давид внес значительный вклад в укрепление и развитие сельскохозяйственной метеорологии как науки, нацеленной на конкретную научно-информационную помощь сельскохозяйственному производству. Большая заслуга в развитии и применении результатов этих исследований принадлежит Г. Т. Селянинову, С. Н. Небольсину, П. И. Колоскову и другим исследователям.

Значительные структурные преобразования произошли в 1936 г. после создания Главного управления гидрометеорологической службы (ГУГМС) при Совете Народных Комиссаров СССР. В 1937—1938 гг. АГМИ был реорганизован в отдел агрометеорологии ВПР (Ленинград), а Институт засух — в отдел агрометеорологии Института земледелия Юго-Востока (Саратов); отдел агрометеорологии Центрального института погоды был реорганизован в Агрометеорологическое бюро Гидрометслужбы (1940 г.) с функциями научно-исследовательской и оперативной работы.

С началом Великой Отечественной войны, в июле 1941 г., вся агрометеорологическая служба была выведена из состава ГУГМС и передана Наркомзему СССР, в составе которого было организовано Главное управление агрометеорологической службы. В период войны это Управление делало все возможное для сохранения и развития работ по агрометеорологии; на территориях, освобожденных от оккупантов, восстанавливалась наблюдательная сеть, организовывались отделы агрометеорологии во всех областных и краевых земельных отделах, а в наркоматах союзных республик — управления агрометеорологической службы.

В суровые военные годы продолжалась и научно-исследовательская работа: С. А. Вериге выполняла обобщение материалов по влажности почвы, А. А. Шигелев разрабатывал методы фенологических оценок и прогнозов, А. В. Процеров дал характеристику влагообеспеченности посевов в европейской части СССР, Е. А. Цубербиллер исследовала влияние суховея на сельскохозяйственные посевы, Д. И. Шашко с коллективом сотрудников составил агроклиматическую характеристику ряда регионов страны, Л. Н. Бабушкин исследовал влияние агрометеорологических и микроклиматических условий на рост и развитие хлопчатника в Узбекистане, В. П. Попов на Украине разработал методики наблюдений за испарением с поверхности почвы, предложил несколько конструкций почвенных испарителей, М. С. Кулик разработал критерии засушливости, П. И. Колосков завершил агроклиматическое районирование Казахстана.

В 1943 г. Центральный институт погоды был переименован в Центральный институт прогнозов (ЦИП), в котором были отдел агрометеорологии с функциями исследований и научно-методического руководства сетью и отдел агрометеорологических прогнозов.

В 1948 г. агрометеорологическая служба была вновь возвращена в систему Главного управления гидрометеорологической службы СССР. В этом же году в Одесском гидрометеорологическом институте (ОГМИ) было создано агрометеорологическое отделение, преобразованное впоследствии в агрометеорологический факультет. Более 40 лет, вплоть до распада СССР, этот факультет был всесоюзной „кузницей кадров“, выпускающей инженеров-агрометеорологов

для всей страны. Многие агрометеорологи — выпускники ОГМИ — стали в последующие годы ведущими учеными и специалистами в области сельскохозяйственной метеорологии.

В 1950—1970-е годы в системе ГУГМС были организованы региональные (зональные) научно-исследовательские гидрометеорологические институты: в Казахстане (Алма-Ата), в Средней Азии (Ташкент), на Украине (Киев), в Закавказье (Тбилиси), в Западной Сибири (Новосибирск) и на Дальнем Востоке (Владивосток). Во всех этих институтах были созданы отделы агрометеорологических исследований, выполняющие в основном региональные работы.

В эти годы в Гидрометеорологическом центре СССР (бывший ЦИП), в региональных гидрометеорологических институтах были разработаны и внедрены в оперативную практику многие методы агрометеорологических прогнозов урожайности (впоследствии и валового сбора) основных сельскохозяйственных культур, прогнозов перезимовки озимых и плодовых культур (Е. С. Уланова, В. А. Моисейчик, К. В. Кириличева, М. С. Кулик, Ю. И. Чирков и др.). Методы прогнозов запасов влаги в почве и методы оптимизации водного режима сельскохозяйственных полей были разработаны А. М. Алпатьевым, С. А. Вериго, Л. А. Разумовой, А. Р. Константиновым, Ф. А. Муминовым, А. М. Шульгиным, С. И. Харченко и др.

Ученики и последователи профессора Г. Т. Селянинова (И. А. Гольцберг, Ф. Ф. Давитая, А. И. Руденко, С. А. Сапожникова, С. М. Смирнов, Н. Н. Яковлев и др.) активно продолжали агроклиматические исследования. Они заложили основы микроклиматологии, районирования отдельных сельскохозяйственных культур, влагооборота культурных растений, исследовали засухи, заморозки и т. п. В 1972 г. был впервые разработан и опубликован „Агроклиматический атлас мира” (под редакцией И. А. Гольцберг). Большой вклад в агроклиматологию 1960—1980-х годов внесли труды П. И. Колоскова, Ф. Ф. Давитая, Д. И. Шашко, А. М. Шульгина, Ю. И. Чиркова, Л. Н. Бабушкина, Л. С. Кельчевской и многих других ученых.

В эти годы получили широкое развитие исследования в области нового научно-практического направления — пастбищной агрометеорологии и зоометеорологии. Эти работы позволили создать систему оперативного агрометеорологического (и зоометеорологического) обеспечения пастбищного животноводства в пустынных и горных районах Казахстана и республик Средней Азии. Большой вклад в научные разработки и оперативное обслуживание животноводства внесли: А. П. Федосеев, И. Г. Сабинина, И. Г. Грингоф, С. А. Бедарев, Е. Н. Коробова, А. И. Чекерес, Г. Г. Велобородова, З. И. Волосюк, А. Ф. Брудная и др. В 1980-е годы пастбищная аг-

рометеорология и зоометеорология получили развитие применительно к северному оленеводству.

В описываемые годы большое практическое значение имели исследования по агрометеорологическому обоснованию проведения агротехнических мероприятий в растениеводстве (А. П. Федосеев и др.).

По инициативе академика Е. К. Федорова в 1964 г. отдел агрометеорологии ЦИП был переведен в город Обнинск Калужской области и включен в состав филиала Института прикладной геофизики (ИПГ), в структуре которого стал называться отделом сельскохозяйственной метеорологии. Руководителем отдела был назначен В. В. Синельщиков. По существу, организация этого отдела явилась первым шагом в создании будущего Всесоюзного научно-исследовательского института сельскохозяйственной метеорологии (ВНИИСХМ).

В конце 1964 г. при филиале ИПГ в Обнинске была организована Полевая экспериментальная агрометеорологическая база. Среди важнейших задач, поставленных перед ее коллективом, были: проведение полевых и лабораторных экспериментов по широкой программе изучения влияния агрометеорологических условий на рост, развитие и формирование продуктивности основных сельскохозяйственных культур; усовершенствование технических средств и методов агрометеорологических наблюдений и измерений. Крупным достижением базы стала организация, совместно с сотрудниками отдела сельскохозяйственной метеорологии, агрометеорологического полигона.

Обнинский агрометеорологический полигон — одна из форм ведения полевых экспериментов — был создан по инициативе В. В. Синельщикова. Он был размещен в Калужской области на площади 3600 км², хорошо оснащен осадкомерами и другими измерительными средствами. Детальные агрометеорологические наблюдения, выполненные на полигоне в 1966—1972 гг., позволили, в частности, изучить закономерности пространственной статистической структуры полей агрометеорологических элементов и их изменчивость, испытать и рекомендовать к внедрению новые физические методы агрометеорологических измерений, решить ряд новых научно-методических агрометеорологических проблем и т. п. На полигоне функционировали 60 агрометеорологических постов и несколько опорных пунктов; собиравших разнообразную информацию о сельскохозяйственных культурах и условиях их произрастания по единой программе наблюдений. В 1969 г. Полевой экспериментальной агрометеорологической базе было присвоено имя В. В. Синельщикова.

Большой вклад в выполнение программы исследований на полигоне внесли работы А. П. Федосеева, М. С. Кулика, В. В. Вольвача, А. Д. Пасечнюка, А. Н. Полевого, А. Д. Клепченко и многих других.

С 1968 по 1972 г. отдел сельскохозяйственной метеорологии, переданный в состав нового Института экспериментальной метеорологии (ИЭМ), возглавлял профессор А. И. Коровин. В конце 1972 г. этот отдел был реорганизован в сектор сельскохозяйственной метеорологии, включающий несколько отделов по различным научным направлениям. Сектор возглавил Ю. А. Хваленский; под его руководством успешно развивались основные направления сельскохозяйственной метеорологии.

Исследования в различных областях сельскохозяйственной метеорологии проводились в региональных и территориальных научно-исследовательских гидрометеорологических институтах в Западной Сибири, в Средней Азии, в Казахстане, на Украине, в Закавказье и на Дальнем Востоке. К этим работам были привлечены также ряд УГМС и агрометеорологических станций и некоторые институты других ведомств.

В 1968 г. по решению Президиума ВАСХНИЛ была организована секция агрометеорологии под председательством профессора Ю. И. Чиркова (1919—1988 гг.). Секция объединила ведущих ученых-агрометеорологов, ученых-агрономов и специалистов, работающих в области научной и оперативно-производственной сельскохозяйственной метеорологии в различных учреждениях ГУГМС, системы ВАСХНИЛ, в МГУ и в республиканских и территориальных УГМС.

Секция вела многогранную деятельность, однако идея создания научно-методического центра всесоюзного масштаба продолжала развиваться. Благодаря усилиям академика Е. К. Федорова и многих ведущих ученых-агрометеорологов в 1977 г. был создан Всесоюзный научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии (ВНИИСХМ) на базе сектора сельскохозяйственной метеорологии ИЭМ в Обнинске. Его первым директором был назначен И. Г. Грингоф, а заместителем директора по научной работе — Ю. А. Хваленский. На ВНИИСХМ были возложены функции главного научно-методического центра страны, головного института по научно-исследовательской работе в области сельскохозяйственной метеорологии и методического руководства агрометеорологической сетью.

В последующие годы в институте получили широкое развитие основные научные направления сельскохозяйственной метеорологии, ориентированные на развитие и усовершенствование всей системы оперативного агрометеорологического обеспечения сельскохозяйственного производства, включающей мониторинг состояния посевов, прогнозы урожайности и валового сбора урожая основных сельскохозяйственных культур и пастбищ, оценку агроклиматических ресурсов и влияния изменений климата. Развивались иссле-

дования по созданию компьютерных технологий сбора, обработки и хранения агрометеорологической информации, сбора, обработки и интерпретации спутниковой информации, по созданию новых современных технических средств и автоматизации наблюдений, по разработке методов активных воздействий на заморозки и т. п.

Значительна была роль созданного в 1981 г. межведомственного научного совета по проблеме „Агрометеорология“, в состав которого вошли и активно работали ведущие ученые и специалисты научно-исследовательских институтов Государственного Комитета СССР по гидрометеорологии, институтов ВАСХНИЛ, Всесоюзной сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева, некоторых УГМС. Научный совет разрабатывал генеральные направления развития современной сельскохозяйственной метеорологии.

За прошедшие со дня организации ВНИИСХМ (в 1992 г. Всесоюзный НИИСХМ стал Всероссийским НИИСХМ) 25 лет коллектив института разработал десятки новых методик наземных и дистанционных агрометеорологических наблюдений. Созданы и внедрены новые методы оценки и прогноза состояния, роста, развития и формирования урожайности и валового сбора основных сельскохозяйственных культур, выполнены новые оценки агроклиматических ресурсов страны, оценено влияние глобальных изменений климата на сельскохозяйственное производство в России, решены многие научно-технологические вопросы по созданию автоматизированной информационно-прогностической системы оперативного агрометеорологического обслуживания потребителей, в частности, ведется агрометеорологический мониторинг состояния посевов.

Весной 2002 г. в качестве оперативного подразделения ВНИИСХМ организован Центр мониторинга засух и засушливых явлений; зона ответственности — территория России и страны СНГ.

После распада СССР в рамках созданного Межгосударственного совета по гидрометеорологии стран СНГ была учреждена Рабочая группа № 15 „Сельскохозяйственная метеорология“ (1993 г.), в которую входили представители Росгидромета и национальных гидрометеорологических служб (Российской Федерации, республик Беларусь, Грузия, Казахстан, Узбекистан, Украина др.). Эта группа под руководством В. Н. Страшного выполнила ряд крупных проектов, содействовала координации и обмену достижениями в агрометеорологических работах.

Международный вклад российских и советских ученых и специалистов в становление и развитие научно-практической сельскохозяйственной метеорологии обширен, разнообразен и значителен. Российские ученые-агрометеорологи активно участвуют в деятельности Комиссии по сельскохозяйственной метеорологии (КСХМ) Всемирной метеорологической организации (ВМО), а также осуще-

ствляют двустороннее сотрудничество с агрометеорологами национальных гидрометеорологических служб стран СНГ и стран дальнего зарубежья.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какими специфическими свойствами характеризуется сельское хозяйство как отрасль материального производства?
2. Что такое „продовольственная безопасность страны“?
3. Дайте определение науки „сельскохозяйственная метеорология“.
4. Назовите самостоятельные научные разделы сельскохозяйственной метеорологии и дайте их определения.
5. Перечислите важнейшие задачи агрометеорологии.
6. Назовите основные методы агрометеорологических исследований, раскройте их содержание.
7. Перечислите основные биологические и экологические законы, используемые в агрометеорологии. Раскройте их смысловое содержание.
8. Почему Россия стала родиной нового научного направления сельскохозяйственная метеорология? Изложите основные события из истории становления и развития сельскохозяйственной метеорологии.

Часть 1

АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

Понятие об экосистеме

Современные формы жизни на Земле образовались в результате деятельности зеленых растений. „От зеленого листа, — писал К. А. Тимирязев, — берут свое начало все проявления жизни на нашей планете”. Являясь важнейшим компонентом живой природы, растения обеспечивают биологический круговорот, обогащают воздух кислородом, накапливают органические вещества, которые служат продуктом питания животных и человека. На протяжении всей истории существования человека на Земле его важнейшей заботой было обеспечение своей жизнедеятельности, т. е. производство продуктов питания.

В начале XIX в. область распространения живых организмов на Земле ученые называли *биосферой* (греч. „*bios*” — жизнь, *sphaira* — шар). Она занимает нижнюю часть атмосферы, всю гидросферу и верхнюю часть литосферы. Область активной жизни охватывает по вертикали: около 6 км над уровнем моря, 3...4 км вглубь от поверхности на суше и 10...11 км — в океане. В пределах этой глобальной экологической системы происходит взаимодействие живых организмов (биотических компонентов) с окружающими его абиотическими компонентами, неживыми, косными веществами. В основе учения о биосфере, заложенного академиком В. И. Вернадским, лежит понимание диалектического единства взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов, протекающих в минеральной, водной и газообразной сферах планеты Земля. Разрабатывая это учение, Вернадский ввел понятие „живое вещество” — совокупность всех живых организмов: растений, животных и бактерий (вирусов), т. е. микроорганизмов. Живое вещество количественно определяется биомассой. По подсчетам ученых, биосферу населяет более 1800-тыс. видов растений и животных, совокупная масса которых составляет 2423 млрд. т, причем биомасса растений (фитомасса) в 2,5 тыс. раз превышает общую массу животных (зоомассу).

В процессе длительного исторического развития различных форм живого вещества на Земле в результате естественного отбора и борьбы за существование сложились сообщества живых организмов, приспособленных к жизни в конкретных природных условиях. Любое естественное сообщество живых организмов и среда их обитания, объединенные в единое функциональное целое, связанные потоками вещества и энергии, представляют собой экологическую систему. Экосистема — это сложная относительно устойчивая совокупность множества видов живых организмов, приспособленных к жизни, накоплению и многократному использованию вещества и энергии, к саморегуляции и динамическому равновесию в постоянно меняющихся условиях окружающей среды. Главным условием существования и функционирования экосистем является наличие устойчивых пищевых (трофических) связей. Первичные продукты органического вещества, создаваемые растениями за счет неорганических элементов и солнечной энергии (продуценты), становятся источником питания для различного уровня консументов — потребителей органического вещества (животных и микроорганизмов); в свою очередь, продуценты и консументы являются источником энергии для редуцентов — микроорганизмов, разлагающих органическое вещество до минерального уровня. На всех этапах этих пищевых цепочек основным источником энергии является солнечная радиация.

Имеются различные уровни экосистем. Например, микроэкосистемой можно назвать ствол поваленного в лесу старого дерева или аквариум; мезоэкосистемой является лесной массив, замкнутый водоем; макроэкосистемой называют континент, океан; глобальной экосистемой является вся биосфера. К важнейшим свойствам экосистемы относится способность восстанавливаться после незначительных нарушений, поддерживать экологическое равновесие. Однако глубокое нарушение равновесия приводит к необратимым последствиям. Так, например, экстенсивное ведение сельского хозяйства (развитие этой отрасли за счет освоения новых земель путем распахивания целины и сведения лесов под посевы сельскохозяйственных культур, сады, пастбища и т. п.) стало главной причиной разрушения природных (естественных) экосистем.

Искусственные экосистемы

Многие виды хозяйственной деятельности человека приводят к нарушению и разрушению естественных экосистем. На их месте в аграрном секторе экономики создаются искусственные экологические системы — агроэкосистемы. В отличие от природных экосистем агроэкосистемы характеризуются неустойчивостью, но зна-

чительно более высокой продуктивностью, поскольку их состав, структура и режим жизнедеятельности создаются, регулируются и поддерживаются трудом человека с целью получения максимального урожая высокого качества. Все агротехнические мероприятия, осуществляемые на сельскохозяйственных угодьях, направлены на достижение этой цели. При ослаблении систематического ухода и контроля со стороны человека за растениями (поддержка агроэкосистемы) происходит обострение конкурентной борьбы между культурными и сорными растениями за ресурсы света, влаги и минерального питания. Затем наступает снижение устойчивости сельскохозяйственных культур, падение их продуктивности, а при более длительном отсутствии ухода за посевами происходит постепенное восстановление растительных сообществ, свойственных ранее существовавшим на этих ландшафтах экосистемам.

Таким образом, агроэкосистемы представляют собой сельскохозяйственные угодья (поле, сад, огород, виноградник и т. п.) с полезными человеку растениями, с разными видами животного мира, между которыми происходят сложные физические и биогеохимические трансформации вещества и энергии. Это — вторичные, искусственно измененные человеком экосистемы, ставшие в условиях быстро растущего населения Земли значительными элементарными единицами биосферы.

Период существования агроэкосистем различен. Так, посевы зерновых культур существуют не более одного года, посевы многолетних трав 3...4 года, плодовых культур 20...30 лет, затем они стареют и подлежат реставрации или замене. Одной из форм агроэкосистем являются полесозащитные, лесные полосы (например, в степной зоне), стабильное существование которых отмечается в пределах 30 лет. Без ухода со стороны человека (расчистка, рубка посадок) они постепенно дичают, превращаясь в естественные экосистемы. Своеобразной формой агроэкосистем считаются парниковые и оранжерейные культуры, нуждающиеся в особых почвенных, водных и воздушных условиях, световом, водном и тепловом режимах.

Любая агроэкосистема состоит из биотических сообществ (с ограниченным количеством видов живых организмов) и абиотических компонентов, составляющих среду обитания растений и животных. Среда обитания используется организмами как жизненное пространство, источник энергии и минерального питания. Взаимодействие биотических и абиотических компонентов обеспечивает жизнедеятельность агроэкосистем.

Известно, что растительное сообщество развивается в двух средах — в верхних слоях литосферы (почва, грунт) и в приземном слое атмосферы. Корневые системы растений контактируют и

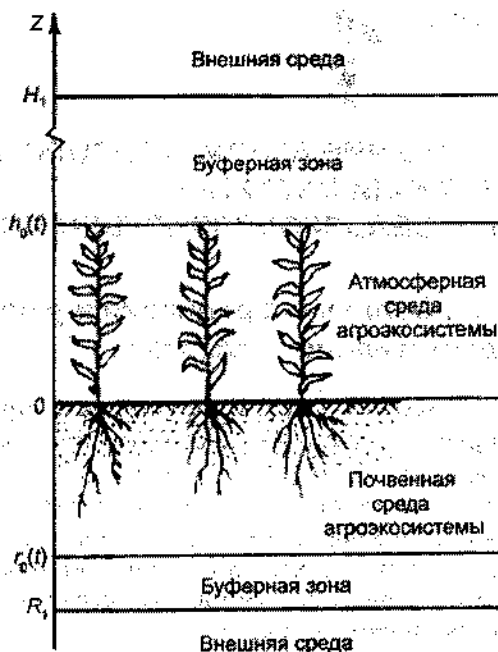
взаимодействуют с почвой, обладающей определенными физическими и химическими свойствами: плотностью, пористостью, механическим составом, содержанием гумуса, минеральных солей и т. п. Под воздействием атмосферы и растительного покрова в почвенных горизонтах формируются тепловой, водный и воздушный режимы, определяющие в почве запасы влаги и элементов минерального питания. Процессы обмена веществом и энергией между средой обитания и растениями происходят одновременно в корнях и надземных органах, они неразделимы функционально. При взаимодействии растительного покрова с воздушной средой происходят перенос солнечной радиации (ее поглощение и рассеяние растениями, поглощение и отражение почвой), изменение условий движения воздушных потоков в среде растений, испарение влаги почвой и транспирация растений, перенос тепла и влаги над растительным покровом и внутри него. Процесс фотосинтеза происходит в надземных органах растений — листьях, стеблях, репродуктивных органах, находящихся в воздушной среде. Фотосинтез и дыхание растительного покрова определяют углекислотный режим — выделение CO_2 из почвы, его перенос в воздухе, поглощение растениями днем и выделение ночью. Противоположно переносу CO_2 происходит перенос кислорода (O_2), его поглощение и выделение почвой днем и поглощение ночью растениями.

По образному выражению профессора О. Д. Сиротенко, растения при своем развитии как бы связывают почву и атмосферу. Образуется система *почва—растение—атмосфера*. Эта система условно подразделяется на шесть горизонтальных слоев (рис. 3). Внутренняя среда растений по вертикали охватывает слой от верхней границы растительного покрова до поверхности почвы (атмосферная среда агроэкосистемы) и от поверхности почвы до нижней границы распространения корней растений (почвенная среда агроэкосистемы). К ним непосредственно примыкают так называемые буферные зоны, в которых отсутствуют элементы растений, но физические условия этих зон влияют на процессы обмена между растительным покровом и окружающей средой. За буферными зонами простирается внешняя среда агроэкосистемы, которая формируется под влиянием крупномасштабных атмосферных процессов и физических, геохимических закономерностей (процессов), протекающих в подстилающей породе, лежащей ниже корнеобитаемых горизонтов почвы. Границы внутренней и внешней сред динамичны во времени и пространстве, имеют сезонные циклы в зависимости от вида агроэкосистем и их состояния (фаз развития растений и растительного покрова в целом), они варьируют в линейном измерении от нескольких сантиметров до нескольких метров.

Рис. 3. Схематическое изображение шести горизонтальных слоев (зон) в системе почва—растение—атмосфера (по О. Д. Сиротенко, 1981)

В процессе возделывания сельскохозяйственных культур, древесно-кустарниковой растительности человек вносит в агроэкосистемы дополнительную энергию за счет обработки почвы и посевов сельскохозяйственной техникой, применения удобрений, использования ядохимикатов для подавления популяций вредителей и болезней растений и т. п. Но эта имеющая различные формы дополнительная, так

называемая *антропогенная*, энергия играет в основном роль катализатора, стимулирующего более интенсивное использование солнечной энергии в процессе фотосинтеза и всего биологического круговорота в природе. Известно, что примерно 95 % сухого вещества растений создается за счет фотосинтетической аккумуляции энергии Солнца, благодаря свободно происходящим в растениях и почве биологическим процессам.



ЗНАЧЕНИЕ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ И В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

1.1. Солнечная радиация и радиационный режим растительного покрова

Солнце — источник энергии природных процессов. Солнце непрерывно излучает в мировое пространство энергию, равную примерно $3,71 \cdot 10^{26}$ Вт. Из этого количества на Землю поступает лишь одна двухмиллиардная часть солнечной энергии, оцениваемая учеными примерно в $3,3 \cdot 10^8$ Вт на 1 км^2 . В сравнении с этим суммарная мощность всех других источников энергии (космические лучи, внутреннее тепло Земли, радиоактивное излучение и др.) оказывается ничтожно малой.

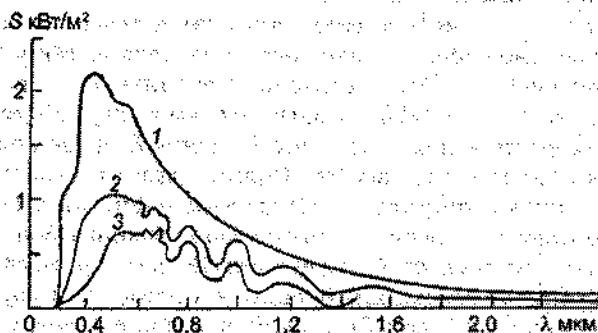
Солнечная энергия — практически единственный источник тепла, определяющий все процессы, происходящие в атмосфере, в водах Мирового океана и на поверхности Земли. Благодаря этой энергии стало возможным образование и существование биосферы со всем многообразием живого вещества: микроорганизмов, растений, животных и человека. Солнечная радиация, называемая также лучистой энергией, состоит из электромагнитных волн, которые в условиях космического вакуума распространяются со скоростью около 300 000 км в секунду. Получая такую радиацию от Солнца, атмосфера и поверхность Земли нагреваются и сами становятся источниками излучения тепла.

Длины электромагнитных волн измеряются в микрометрах ($1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$) или в нанометрах ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$). *Распределение лучистой энергии по длинам волн (по частотам колебаний) называется спектром излучения.* Потоки лучистой энергии и теплового излучения Земли и атмосферы условно делят по длинам волн (λ) на коротковолновую радиацию (0,1...4,0 мкм) и длинноволновую радиацию (4,0...100 мкм). Коротковолновую радиацию называют также интегральной, поскольку она кроме видимого света (0,40...0,76 мкм) включает еще и ближние к ней по длинам волн ультрафиолетовую (0,01...0,39 мкм) и инфракрасную (0,76...4,0 мкм) радиацию. На 99 % солнечная радиация состоит из коротковолновой радиации.

Атмосфера Земли прозрачна лишь для небольшой части электромагнитного излучения Солнца: она пропускает часть ультрафиолетового и инфракрасного излучения и весь видимый свет. Видимая часть радиации создает освещенность и воспринимается глазом человека как белый свет, состоящий, как известно, из суммы цветных лучей, имеющих различные длины волн. Свет с длиной волны около 0,40 мкм воспринимается как фиолетовый, с длиной волны около 0,76 мкм — как красный. В промежутках между ними находятся все другие цвета видимого спектра (рис. 1.1). Усвоение энергии солнечной радиации растениями происходит избирательно: наиболее интенсивно растения поглощают сине-фиолетовые ($\lambda = 0,40...0,48$ мкм) и оранжево-красные ($\lambda = 0,65...0,68$ мкм) лучи; менее интенсивно — желто-зеленые ($\lambda = 0,50...0,58$ мкм) и дальние красные ($\lambda > 0,69$ мкм).

Рис. 1.1. Распределение энергии в солнечном спектре.

1 — на верхней границе атмосферы; 2 — на земной поверхности при высоте Солнца 35°; 3 — на земной поверхности при высоте Солнца 15°



Спектральный состав прямой солнечной радиации, так же как и ее интенсивность, не остаются постоянными при прохождении через атмосферу. Степень рассеяния и поглощения зависит от длины волны. Чем короче волна, тем сильнее рассеиваются и поглощаются лучи. Например, ультрафиолетовые лучи рассеиваются атмосферой в 15...30 раз, синие в 5...7 раз сильнее, чем красные. Поэтому при низком стоянии Солнца, когда лучи проходят через атмосферу относительно более длинный путь, коротковолновые лучи почти полностью поглощаются атмосферой (рис. 1.2). Соотношение видов радиации постоянно меняется под влиянием составляющих атмосферу газов, паров воды, ледяных кристаллов, пыли, различных аэрозолей, а также вследствие изменения высоты Солнца над горизонтом — угла, образованного условной линией горизонта и направлением солнечных лучей. Чем меньше угол, под которым падают на Землю солнечные лучи, тем длиннее их путь в атмосфере. Самый короткий путь лучей — при нахождении Солнца в зените. С уменьшением высоты Солнца над горизонтом длина пути лучей, а следовательно, и их рассеяние и поглощение атмосферой увеличиваются. Высота

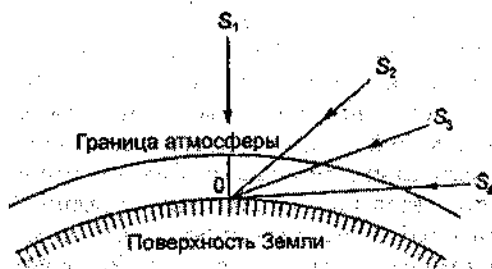


Рис. 1.2. Путь солнечного луча в атмосфере при различной высоте Солнца

Солнца меняется в зависимости от географической широты местности, сезона и месяца, от времени суток.

Наклон земной оси, условно соединяющей Север-

ный и Южный полюса Земли, равен около 23° , в связи с чем в экваториальной, или тропической, зоне нашей планеты продолжительность светлого времени суток практически одинакова в течение года — примерно 12 ч. Разность между самым длинным и самым коротким световым днем составляет там всего 1...2 ч. В этой зоне наиболее высокое солнцестояние в течение всего года. В субэкваториальной (субтропической) зоне Солнце также стоит высоко над горизонтом; с этим связана незначительная разность между самым длинным и самым коротким днем в году, достигающая 3...4 часов. В умеренном поясе, где вегетационный период охватывает только теплое полугодие, высота Солнца значительно ниже по сравнению с южными широтами. Продолжительность светового дня в высоких широтах Северного полушария намного больше, чем в низких. В зависимости от географической широты местности в одни и те же сутки максимальный подъем Солнца над горизонтом различен. В южных районах Северного полушария летом утренние (рассвет) и вечерние сумерки коротки, тогда как в северных широтах они длительны при низком стоянии Солнца. Поэтому растения северных районов дольше находятся под воздействием утреннего и вечернего освещения. В южных районах, где переход от дня к ночи непродолжителен, значительно возрастает временной вклад высоко стоящего Солнца.

От высоты Солнца прежде всего зависит мощность светового потока. Этот поток в северных широтах менее интенсивен, но растянут по времени. *Освещенность (E)* — это отношение светового потока (F) к площади (S) освещаемой им поверхности: $E = F/S$. Когда речь идет о естественной освещенности, имеется в виду полный световой поток прямой, рассеянной и отраженной солнечной радиации (рис. 1.3). Освещенность измеряют в люксах (лк), килолюксах (клк); 1 клк = 10^3 лк.

На растения влияют: продолжительность солнечного освещения; интенсивность солнечной радиации; спектральный состав света. *Реакция растений на продолжительность освещения называется фотопериодизмом.* По этому явлению растения условно делят на три группы: 1) растения длинного дня, развитие кото-

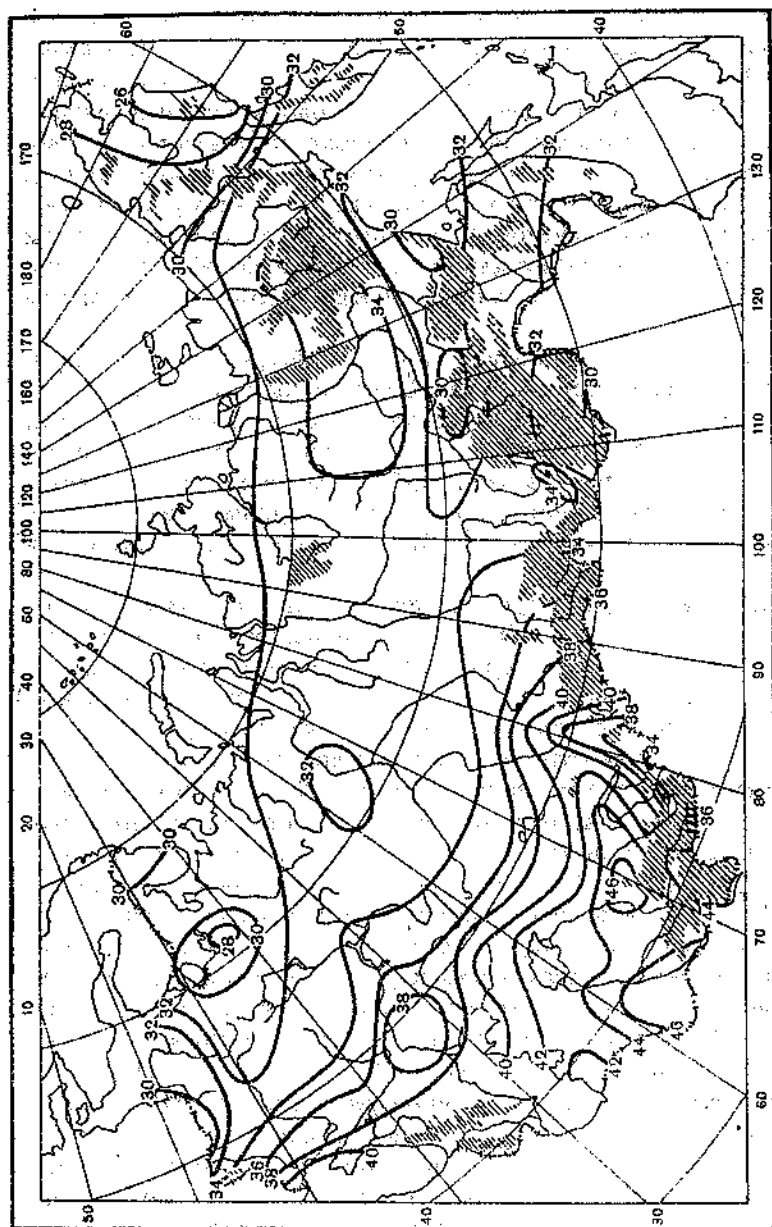


Рис. 1.3. Дневные суммы суммарной осадочности в июле (тыс. клк) на территории Российской Федерации и сопредельных государств (по О. Д. Баргеновой, Е. А. Поляковой, Н. П. Русину, 1971)

Штриховкой отмечены горные районы

рых, особенно в фазы цветения и плодоношения, ускоряется при 20...24-часовом освещении (пшеница, рожь, ячмень, овес, лен и др.); 2) растения короткого дня, развитие которых задерживается при длине дня более 10...12 ч (просо, соя, кукуруза, рис, хлопчатник, редис и др.); 3) растения нейтральные, на развитие и формирование урожая которых изменение продолжительности освещения влияет несущественно (гречиха, многие бобовые и др.). Различные сорта одной и той же культуры по-разному реагируют на продолжительность светового и темного периода суток. В целом можно считать, что растения длинного дня приспособлены к условиям северных широт, а растения короткого дня — к условиям южных широт.

Недостаточная освещенность в посевах обуславливает, например, слабую дифференциацию тканей соломины у зерновых культур, что способствует полеганию растений; в загущенных посевах кукурузы из-за слабой освещенности солнечной радиацией ослабляется образование початков. При слабой освещенности надземных органов растений замедляется поглощение корнями питательных веществ, происходит торможение биосинтетических процессов в растениях.

Животные также реагируют на изменения энергетической освещенности, создаваемой солнечным излучением, на изменения спектрального состава и на продолжительность светового дня. С этими факторами связаны процессы развития и распространения вредителей и болезней сельскохозяйственных культур, сезонная цикличность их активности, периодов относительного покоя и т. п.

Фотосинтетически активная радиация (ФАР). Биологическое действие различных длин волн радиации на растения неодинаково. Ультрафиолетовые лучи замедляют ростовые процессы, но ускоряют прохождение этапов формирования у растений репродуктивных органов. Инфракрасные лучи, активно поглощаемые водой, находящейся в листьях и побегах растений, оказывают тепловое воздействие и влияют на процессы роста и развития растений, дальняя инфракрасная радиация оказывает только тепловое воздействие. Решающее значение для жизнедеятельности растений имеет коротковолновая радиация в интервале ($\lambda = 0,38...0,71$ мкм), называемая фотосинтетически активной радиацией (ФАР). Различное действие видов радиации на растения представлено в табл. 1.1.

Усвоение растениями энергии солнечной радиации происходит при помощи хлорофилла — зеленого пигмента, особенно обильного в листьях и однолетних побегах сельскохозяйственных культур.

При высоком стоянии Солнца на земную поверхность поступает максимум энергии в области желто-зеленого спектра лучей. Когда Солнце приближается к горизонту, максимальную энергию имеют

Таблица 1.1

Биологическое значение различных участков спектра
(по Ю. К. Россу и др.)

Вид радиации	Область спектра, мкм	Процент солнечной радиации	Эффект действия радиации на растения		
			тепловой	фотосинтез	рост и развитие
Ультрафиолетовая	0,01...0,39	0...4	Несущественный	Несущественный	Существенный
ФАР	0,38...0,71	21...46	Существенный	Существенный	"
Ближняя инфракрасная	0,76...4,00	50...79	"	Несущественный	"
Дальняя инфракрасная	> 4,00	—	"	"	Несущественный

дальние красные лучи, мало участвующие в процессе фотосинтеза растений. Рассеянная радиация более богата фотосинтетически активной радиацией, чем прямая.

ФАР является одним из важнейших факторов продуктивности растений, в том числе сельскохозяйственных культур. Сведения о распределении поступающей на посевы ФАР во времени и пространстве имеют большое практическое значение. Интенсивность ФАР измеряют инструментально, но чаще пользуются расчетами по данным о приходе прямой, рассеянной или суммарной радиации (по Б. И. Гуляеву, Х. Г. Тоомингу и Н. А. Ефимовой):

$$\Sigma Q_{\text{фар}} = 0,43 \Sigma S' + 0,57 \Sigma D, \quad (1.1)$$

где $\Sigma Q_{\text{фар}}$ — суммарная фотосинтетически активная радиация, Дж/м²; $\Sigma S'$ — сумма прямой солнечной радиации, падающей на горизонтальную поверхность, Дж/м²; ΣD — сумма рассеянной солнечной радиации, Дж/м². Для приближенного расчета ФАР используют также данные о суммарной радиации с коэффициентом 0,52:

$$Q_{\text{фар}} = 0,52 \Sigma Q. \quad (1.2)$$

Н. А. Ефимовой составлены карты распределения средних многолетних сумм ФАР на территории России и сопредельных государств (рис. 1.4). Степень использования ФАР растительным покровом (сельскохозяйственными культурами) определяется обычно коэффициентом полезного действия (КПД), измеряемым в процентах:

$$\text{КПД}_{\text{фар}} = (\Sigma Q'_{\text{фар}} / \Sigma Q_{\text{фар}}) \cdot 100, \quad (1.3)$$

где $\Sigma Q'_{\text{фар}}$ — сумма ФАР, затраченной на фотосинтез за период вегетации растений; $\Sigma Q_{\text{фар}}$ — сумма ФАР, поступающей на верхнюю границу посева за этот период. При этом

$$\Sigma Q'_{\text{фар}} = qM, \quad (1.4)$$

где q — калорийность сухой растительной массы, кДж/г; M — биологический урожай общей сухой растительной массы, г/см².

Зависимость интенсивности фотосинтеза и газообмена от прихода ФАР описывается так называемыми световыми кривыми фотосинтеза, имеющими на графиках форму гиперболы (рис. 1.5). С увеличением интенсивности солнечной радиации световая кривая фотосинтеза (поглощение CO_2 , $\text{мгCO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{ч})$) возрастает вначале почти линейно, затем постепенно выходит на плато. Известно, что для накопления органического вещества растений необходима энергетическая освещенность, создаваемая солнечной радиацией, в количестве, большем, чем для процесса дыхания растений (выделение CO_2). Точка, в которой интенсивность фотосинтеза (поглощение CO_2) равна интенсивности дыхания (выделение CO_2), называется компенсационной точкой, находящейся на пересечении световой кривой с осью абсцисс. Для светолюбивых сельскохозяйственных культур значение компенсационной точки находится в пределах интенсивности ФАР 20...35 Вт/м². Ниже этих значений расход органического вещества при дыхании растения превышает его образование в процессе фотосинтеза. Как видно из рис. 1.5, при

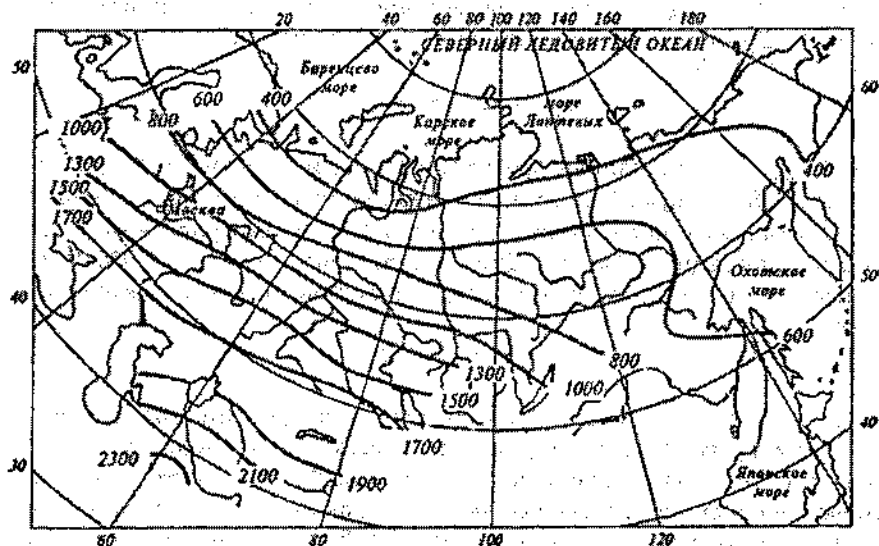


Рис. 1.4. Распределение средних многолетних сумм ФАР за период активной вегетации (МДж/м²) на территории Российской Федерации и сопредельных государств

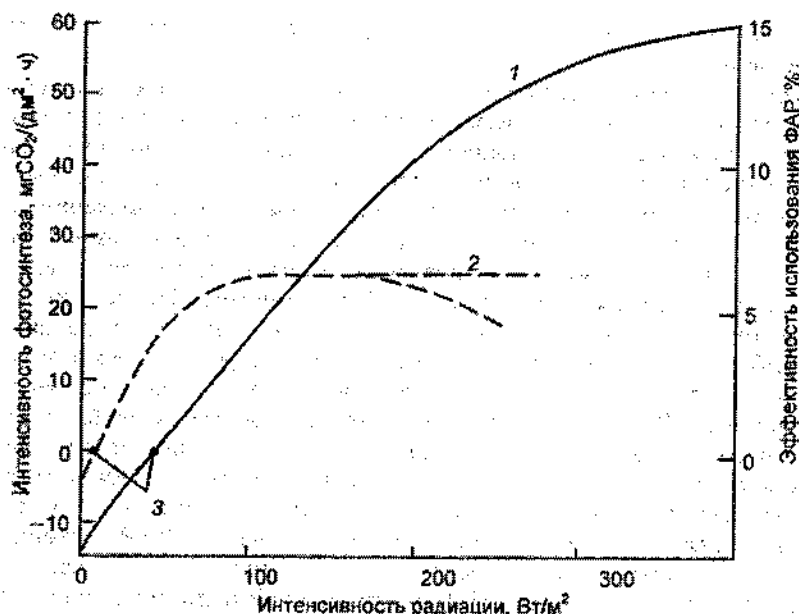


Рис. 1.5. Световые кривые фотосинтеза светолюбивых (1) и теневыносливых (2) растений; 3 — компенсационные точки (по А. М. Шульгину, 1973)

увеличении интенсивности ФАР от компенсационной точки до 100 Вт/м^2 для теневыносливых и до 210...280 Вт/м^2 для светолюбивых растений продуктивность фотосинтеза возрастает. При дальнейшем увеличении ФАР (в условиях неизменного содержания в воздухе СО_2 в пределах 0,03 %) интенсивность фотосинтеза практически не растет, удерживается на одном уровне (*плато световой кривой*), наблюдается так называемое *световое насыщение фотосинтеза*.

Значительная часть поглощенной растительным покровом ФАР расходуется на транспирацию воды и конвективный обмен лист—воздух (70...95 %). На создание органического вещества расходуется лишь часть поглощенной радиации. Посевы, различные по структуре (густота стояния растений на единице площади, фаза развития, направление рядков посева к источнику лучистой энергии) и применяемой агротехнике, неодинаково используют ФАР. Согласно классификации А. А. Ничипоровича, посевы различаются по их средним значениям $\text{КПД}_{\text{фар}}$; обычно наблюдаемые в производстве — 0,5...1,5 %; хорошие — 1,5...3,0 %; рекордные — 3,0...5,0 %; теоретически возможные — 6,0...8,0 %. Повышение КПД производственных посевов сельскохозяйственных культур до уровня „хороших” представляет собой значительный резерв роста их продуктивности. Это достигается применением интенсивных технологий возделыва-

ния и созданием оптимальных агрометеорологических и микроклиматических условий.

От количества солнечной радиации зависит интенсивность многих процессов, протекающих в растениях, в частности фотосинтез. Суммарная радиация, падающая на различные поверхности растений (листья, побеги, генеративные органы), поглощается, отражается, рассеивается, создавая *радиационный режим растительного покрова*. Плотность потока радиации, его пространственная структура и спектральный состав постоянно меняются, они зависят в первую очередь от высоты Солнца, структуры посева. Поскольку на листья одного и того же растения в течение дня свет падает под разными углами, листовая пластинка лишь короткое время находится перпендикулярно к солнечным лучам, дающим ее максимальное освещение. Отдельные ярусы листьев затеваются в глубине растительного покрова (посева) соседними и выше расположенными листьями, особенно в загущенных посевах. В результате интенсивность фотосинтеза в ассимиляционных поверхностях растений падает, снижается эффективность использования ФАР растениями. В плотных посевах крупностебельных растений (кукуруза, кенаф, подсолнечник и др.) 20...25 % поступающей радиации отражается, 40...60 % поглощается верхним ярусом растений, часть радиации рассеивается внутри растительного покрова, а в несомкнутых покровах часть радиации достигает почвы. Например, в посевах подсолнечника в полдень поглощение ФАР листьями верхних ярусов составляет около 50 %, а нижних — около 5 % поступающей радиации (рис. 1.6).

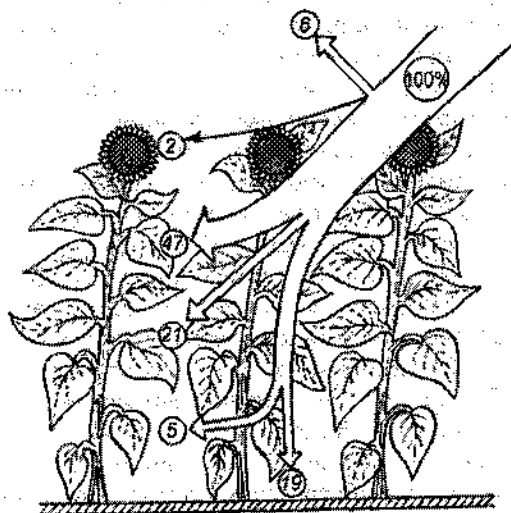
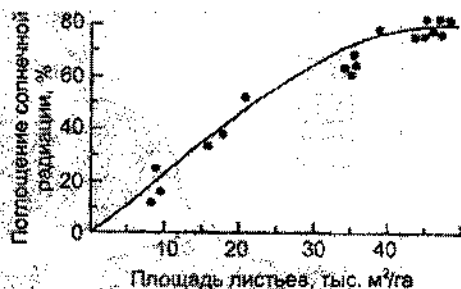


Рис. 1.6. Поглощение ФАР (проценты) по ярусам листьев в посевах подсолнечника

Рис. 1.7. Зависимость поглощения солнечной радиации посевом от площади листьев (по А. П. Посеву, Л. Л. Журиной, 2001)



Важным показателем, определяющим поглощение и пропускание ФАР в посевах, является *листовой индекс* — отношение суммарной площади листовой поверхности к площади поля. Поглощение ФАР посевом возрастает с увеличением площади листовой поверхности (рис. 1.7). Наибольшее поглощение наступает при листовом индексе, равном 4, т. е. когда площадь листовой поверхности достигает $40\,000\text{ м}^2$ на 1 га ($10\,000\text{ м}^2$).

Формирование оптимального радиационного режима в растительном покрове осуществляется своевременным применением разнообразных агротехнических приемов и селекционной работой по созданию сельскохозяйственных культур, адаптированных к условиям их возделывания.

1.2. Температура почвы, воздуха и тепловой режим растительного покрова

Лучистая энергия Солнца, поглощенная поверхностью суши, океана, преобразуется в тепло. Теплообмен между атмосферным воздухом и окружающей средой осуществляется радиационным путем, путем *теплопроводности, испарения с последующей конденсацией или кристаллизацией водяного пара и турбулентности*. Часть тепла затрачивается на нагревание приземного слоя атмосферы, почвы, растений, на испарение с поверхности почвы и растений (транспирацию), часть передается в нижележащие слои почвы, часть возвращается в более высокие слои атмосферы. Локальные или местные изменения температуры в какой-либо географической точке происходят в зависимости от *адвекции (притока, поступления)* более теплого или более холодного воздуха, чем в данной местности. В таких случаях говорят об адвекции тепла или адвекции холода.

Температурный режим почвы. Приход солнечной радиации неодинаков в течение суток, сезонов года, он зависит от широты и долготы местности, высоты над уровнем моря. Дневное нагревание и ночное охлаждение вызывают суточные колебания температуры подстилающей поверхности. При прочих равных условиях температура почвы зависит от ее механического состава и степени увлажненности (рис. 1.8).

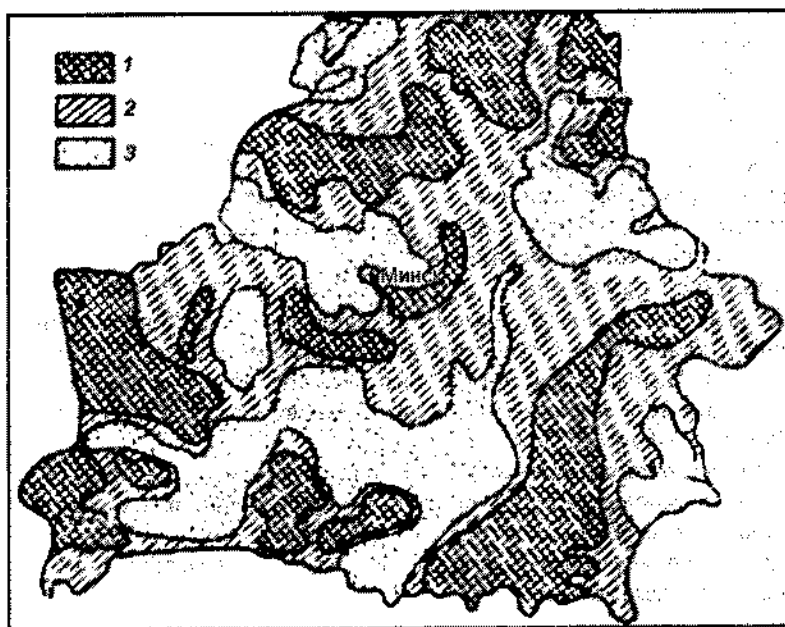


Рис. 1.8. Средняя температура почвы на глубине 10 см. Беларусь. Май
1 — легкие почвы, 14...15 °C; 2 — супеси и увлажненные почвы, 13...14 °C; 3 — пере-
увлажненные и тяжелые почвы, 12...13 °C

Наибольшая разность температур в течение суток наблюдается на поверхности почвы. При безоблачном небе минимум температуры отмечается перед восходом Солнца, а максимум в полуденные часы (13...15 ч), затем она снижается. Эти колебания температуры почвы называются *суточным ходом*. Под влиянием облачности, осадков, адвекции тепла или холода „типовой” суточный ход температуры нарушается. Разность между максимумом и минимумом температуры в любом временном масштабе (суточном, декадном, месячном, годовом) называется *амплитудой*. С увеличением широты местности годовая амплитуда температуры поверхности почвы возрастает; в полярной, материковой зоне она достигает 60...70 °C, в экваториальной зоне — около 2...3 °C, поскольку здесь высота Солнца в годовом цикле изменяется мало. Колебания температуры почвы в течение года называются *годовым ходом*.

Амплитуда суточного хода температуры открытой поверхности почвы выше, чем покрытой растительностью и снегом. Растительный покров в теплое полугодие понижает температуру поверхности почвы. Холодная, малоснежная и продолжительная зима способствует глубокому промерзанию почвы. Замерзание почвы происходит

при отрицательной температуре ($-0,5...-1,5^{\circ}\text{C}$), поскольку почвенная влага обычно содержит растворенные в ней соли. Промерзание почвы начинается с ее верхних горизонтов и при сохранении холодной погоды постепенно распространяется в более глубокие горизонты. Глубину промерзания почвы обуславливают: 1) суровость и продолжительность холодного периода; 2) высота и продолжительность залегания снежного покрова; 3) плотность (и высота) растительного покрова; 4) теплофизические свойства почвы; 5) влажность почвы. Так, например, высокий снежный покров благодаря своим теплоизолирующим свойствам защищает почву от глубокого промерзания даже в суровые зимы. Почва на открытых участках промерзает глубже, чем в лесу. Сухая почва промерзает на большую глубину, чем влажная. Пример снижения глубины промерзания почвы зимой под влиянием снежного покрова приведен в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Влияние высоты снежного покрова на глубину промерзания почвы (по А. М. Шульгину, данные агрометеорологической станции Барнаул)

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

В Северном полушарии расположены обширные территории, занятые *многолетнемерзлыми породами, залегающими в верхних горизонтах земной коры (слой вечной мерзлоты)*. Этот слой горных пород оказывает влияние на температурный режим почвенного покрова, особенно заметное в вегетационный период. Многолетнемерзлые породы занимают значительную часть Северной Канады, почти всю Аляску и Гренландию. В России они тянутся от Кольского полуострова на западе страны до Дальнего Востока, простираясь к югу по территории Забайкалья. Южная граница в основном совпадает с изотермой средней годовой температуры воздуха -2°C . Наличие слоя многолетнемерзлых пород значительно ограничивает распространение к северу зоны растениеводства.

Теплофизические свойства почвы. Между поверхностью почвы и ее нижележащими горизонтами происходит непрерывный обмен теплом, осуществляемый за счет *молекулярной теплопроводности*. Когда поверхность почвы холоднее, чем нижележащие слои, поток тепла направлен из глубины к поверхности почвы. И наоборот, когда поверхность почвы теплее, поток тепла направлен от поверхности в глубь почвы.

Различные типы почвы и их состояние имеют неодинаковый температурный режим. Помимо прихода на поверхность почвы

солнечной радиации, небольшим дополнительным источником тепла являются процессы разложения (гниения) органических веществ в почве. Поглощение солнечных лучей почвой зависит от цвета и характера поверхности почвы. Темные почвы (черноземы, каштановые и др.) в солнечную погоду поглощают больше тепловых лучей и лучше прогреваются, чем светлые. В пасмурную погоду при рассеянной радиации влияние цвета почвы на ее прогревание незначительно. Разрыхленная поверхность почвы в меньшей степени отражает солнечные лучи, тепло остается в ее верхних горизонтах, пахотный горизонт прогревается лучше, чем в случае ровной плотной поверхности. Так, при гребневой системе посадок сельскохозяйственных культур в весенний период гребни, обращенные к Солнцу, получают больше тепла, суточная амплитуда температуры поверхности почвы на гребнях варьирует в пределах $2...21^{\circ}\text{C}$, тогда как на ровной поверхности она составляет $2...11^{\circ}\text{C}$.

С глубиной амплитуда температуры почвы постепенно затухает практически до нуля. В полярных широтах глубина затухания составляет около 30 м, в умеренных широтах — $15...20$ м, в тропических широтах — около 10 м.

Тепловой режим почвы в основном определяется ее теплофизическими свойствами: теплоемкостью и теплопроводностью.

Теплоемкость — это свойство почвы поглощать тепло. Различают удельную и объемную теплоемкость. **Удельная теплоемкость** ($C_{уд}$) — количество теплоты, необходимое для нагревания 1 кг почвы на 1°C ; выражается в $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$. **Объемная теплоемкость** ($C_{об}$) — количество теплоты, необходимое для нагревания 1 м^3 почвы на 1°C ; выражается в $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$. Между объемной и удельной теплоемкостями существует соотношение:

$$C_{об} = C_{уд}d, \quad (1.5)$$

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

Теплоемкость почвы зависит от соотношения в ней твердой фазы, воздуха и влаги. Поскольку объемная теплоемкость твердой фазы (различных минеральных и органических компонентов) варьирует незначительно — от $2,0 \cdot 10^3$ до $2,7 \cdot 10^3 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$, то основное влияние на значение теплоемкости почвы оказывает количество воздуха и влаги, находящихся в порах почвы. Заметим, что теплоемкость воздуха равна $1,2 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$, а теплоемкость воды — $4,2 \cdot 10^3 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$, т. е. в 3500 раз больше. В связи с этим понятно, что влажная почва, поры которой заполнены влагой, прогревается медленнее, но дольше сохраняет тепло; теплоемкость влажных почв значительно больше, чем сухих, при прочих равных

условиях. Сухие почвы нагреваются (и охлаждаются) больше и быстрее, чем влажные.

Способность почвы передавать тепло от слоя к слою называется теплопроводностью. Мерой теплопроводности служит коэффициент теплопроводности λ , численно равный количеству теплоты (Дж), проходящему за 1 с через сечение 1 м^2 слоя толщиной 1 м при разности температур на границах слоя в 1°C . Единицей измерения λ является $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ \text{C})$. Коэффициент теплопроводности твердой части почвы изменяется от 0,25 до $8,80 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ \text{C})$. Для воды он в 20 раз больше, чем для воздуха. Теплопроводность почвы, так же как и теплоемкость, зависит от ее минерального и органического составов, от содержания в порах воздуха и влаги. Роль почвенной влаги велика — даже небольшого ее количества достаточно, чтобы теплопроводность почвы возросла. От теплопроводности почвы зависит распространение в ней тепла, его расход и накопление. *Отношение коэффициента теплопроводности к объемной теплоемкости почвы называется коэффициентом температуропроводности (K):*

$$K = \lambda / C_{об}. \quad (1.6)$$

Этот коэффициент характеризует скорость распространения тепла в почве.

На динамику теплового режима почвы влияет также расход тепла на испарение содержащейся в ней влаги. С поверхности почвы при постоянном притоке влаги из нижележащих слоев происходит испарение воды, интенсивность которого определяется температурой поверхности почвы и количеством почвенной влаги. Значительная часть солнечной энергии, приходящей на поверхность почвы, затрачивается на испарение влаги, поэтому до просыхания (или до прекращения испарения) поверхность почвы оказывается более холодной, чем прилегающий слой воздуха. Прекращение поступления влаги к поверхности почвы вследствие иссушения или в результате поверхностного рыхления способствует быстрому прогреванию верхних горизонтов почвы. Таким образом, пахота или другие виды обработки почвы, как агротехнические мероприятия, обеспечивают улучшение теплового и водного режимов почвы при возделывании сельскохозяйственных культур.

Как уже отмечалось, некоторым дополнительным источником тепла в верхних горизонтах почвы являются процессы разложения в них органических остатков. Поэтому в замкнутых помещениях типа оранжерей, парников и теплиц корнеобитаемые слои почвы и приземный воздух под стеклом или пленкойгреваются сильнее. Однако основной вклад тепла в неотапливаемые теплицы вносит естественная солнечная радиация. Стеклоанное покрытие отражает около

30 % солнечной радиации; около 30 % радиации затрачивается на нагревание почвы и воздуха в теплице и около 40 % расходуется на процессы транспирации растений и их фотосинтетическую деятельность.

Внесение органических удобрений на поля весной способствует местному прогреву (или оттаиванию) почвы за счет большого нагревания темной органики солнечной радиацией и тепла, выделяемого в процессе ее разложения. Весной промерзший слой почвы обычно оттаивает сверху под влиянием возрастающего потока солнечной радиации, увеличения продолжительности светлого времени суток. В отдельные годы оттаивание почвы начинается под влиянием незначительного внутреннего тепла нижележащих слоев почвы, когда высокий снежный покров с ледяным настом или ледяными прослойками задерживает оттаивание сверху. Однако такой тип оттаивания почвы опасен для озимых культур, поскольку их преждевременный выход из состояния зимнего покоя и начало вегетации под плотным снегом, в условиях избытка поверхностной влаги приводит посевы к гибели из-за нехватки кислорода — растения задыхаются (см. главу 2).

Влияние температуры почвы на растения. Одним из важнейших факторов в жизни растений и почвенных микроорганизмов является температурный режим почвы. Прорастание семян, начало сокодвижения у древесно-кустарниковых пород, развитие корневой системы, усвоение корнями продуктов минерального питания, жизнедеятельность почвенной микрофлоры и другие процессы в значительной мере определяются температурой почвы и биологическими особенностями организмов (табл. 1.3). Семена большинства сельскохозяйственных культур в условиях умеренного климата прорастают при температуре почвы 3...7 °С, а теплолюбивых — кукурузы, риса, хлопчатника и др. — при 13...15 °С.

Таблица 1.3

Значения биологического минимума и максимума температуры почвы, необходимые для прорастания семян, °С

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

Скорость прорастания семян возрастает с повышением температуры почвы, что обуславливает сокращение продолжительности периода от посева до появления всходов растений. Например, семена кукурузы, посаженные во влажную почву на глубину 4 см, при средней суточной температуре 12 °С дают всходы через 21 день, а при температуре 18 °С — через 8...9 дней. Каждая последующая фаза развития растений проходит при более высоких температурах по сравнению с предыдущей.

Пониженная температура корнеобитаемых горизонтов почвы задерживает рост подземных органов растений (табл. 1.4). Более того, охлаждение почвы до 6...10 °С для холодостойких и до 10...14 °С для теплолюбивых культур снижало их конечную урожайность в 2...3 раза. Опыты, проведенные профессором А. И. Коровиным в Карелии в 1966 г., показали, что подогрев почвы в открытом грунте до 20...24 °С повысил урожай холодостойких культур в 2 раза, теплолюбивых — в 2...3 раза по сравнению с урожаем на контрольном (не обогреваемом) участке. С повышением температуры (до определенных пределов) все биологические процессы активизируются, с понижением (до критических значений) — замедляются. Значительное и длительное понижение температуры почвы приводит к частичной или полной гибели посевов сельскохозяйственных и плодово-ягодных культур, виноградарников и т. п.

Таблица 1.4

Зависимость роста корней пшеницы от температуры почвы

Показатели роста	Температура почвы, °С				
	7	15	20	26	33
Линейный 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	—

Высокая температура почвы (выше оптимальной для каждого вида растений) оказывает отрицательное влияние, вызывая замедление развития растений. Так, например, опыты с различными сроками посева, выполненные И. Г. Грингофом на агрометеорологической станции Бозсу, показали, что при температуре почвы выше 20 °С семена дикорастущего мятлика луковичного (*Poa bulbosa* L.) даже в условиях оптимального увлажнения почвы (поливов) не прорастают. Дружные всходы всех сроков посева (с мая по август) этого эфемероида — многолетнего растения с осенне-зимне-весенним циклом развития — появились одновременно в декаду, когда средняя суточная температура не превышала 20 °С. Хорошо известно,

что высокие температуры почвы в период образования клубней картофеля не только снижают их массу, но и способствуют вырождению в последующих поколениях.

Значительна роль температуры почвы в биохимических процессах, определяющих направление и скорость превращения питательных веществ в почве. Отмечено, что при температуре почвы 5°C поступление азота и фосфора в растение в 3 раза меньше, чем при температуре 20°C , т. е. от температуры почвы зависит эффективность применения удобрений при условии достаточного увлажнения почвы. Превращению элементов питания в почве в доступную для растений форму способствуют микроорганизмы, активность которых возрастает с повышением температуры почвы выше 5°C .

Тесно связаны с температурным режимом почвы жизненные циклы развития вредителей и болезней сельскохозяйственных растений (см. раздел 4.10).

Методы оптимизации температурного режима почвы. В сельскохозяйственном производстве применяются различные агротехнические методы воздействия на температурный режим почвы в целях его оптимизации: повышения температуры в холодных условиях и понижения температуры в условиях избыточного тепла, угнетающего растения. Улучшение температурного режима почвы осуществляется обычно тремя путями:

- 1) изменением теплообмена между почвой и воздухом при помощи различных видов теплоизоляции;
- 2) изменением альбедо поверхности почвы (рыхление почвы, изменение цвета почвы путем мульчирования и др.);
- 3) увлажнением или осушением почвы, вследствие чего меняется расход тепла на испарение и почва соответственно охлаждается или нагревается.

Например, снятие дернины и распашка почвы в районах залегания многолетнемерзлых пород (вечной мерзлоты) приводят, по данным профессора П. И. Колоскова, к повышению температуры почвы. В Заполярье снятие торфяного покрова увеличивает температуру почвы в среднем за теплый период на $0,5...1,0^{\circ}\text{C}$. Снегозадержание снижает охлаждение корнеобитаемых горизонтов почвы. Различные виды обработки почвы по-разному влияют на температурный режим: прикатывание повышает температуру почвы на $1...2^{\circ}\text{C}$, а рыхление на глубину $2...4$ см снижает температуру нижележащего слоя на $1...3^{\circ}\text{C}$.

Большое влияние на температурный режим почвы оказывает орошение. В южных регионах на орошаемых полях температура почвы ниже, чем на неорошаемых (богарных) полях. Так, при орошении температура поверхности почвы понижается на $15...20^{\circ}\text{C}$, на глубине 10 см — на $5...7^{\circ}\text{C}$, а на глубине 20 см — на $2...3^{\circ}\text{C}$.

Весьма эффективным способом регулирования температуры почвы считается *мульчирование* — покрытие поверхности почвы различными материалами: торфом, опилками, угольной пылью, соломой, полиэтиленовыми или полиамидными пленками и т. п. В зависимости от цвета мульчи температура поверхности почвы повышается или понижается. Например, средняя месячная максимальная температура почвы на глубине 3 см в июле на контрольном (не мульчированном) участке составила 32,0 °C; на участке, посыпанном угольной пылью, — 36,2 °C, а на участке, посыпанном известью, — всего 25,6 °C. В засушливые жаркие годы под мульчой из соломы влажность почвы была на 6...7 % выше, а температура в дневные часы на 6...7 °C ниже, чем на контрольном (не мульчированном) участке. Таким образом, метод мульчирования поверхности почвы изменяет ее температуру, снижает испарение, вследствие чего повышается влажность почвы, предохраняет почву от уплотнения, что создает лучший воздушный режим для жизнедеятельности растений.

Зачернение светлых почв снижает альбедо поверхности почвы и соответственно увеличивает поглощение солнечной радиации. В темнокрашеных почвах увеличивается содержание нитратов, подвижного фосфора и калия, что способствует лучшему развитию растений.

Полиэтиленовые прозрачные пленки уменьшают теплообмен между воздухом и почвой и в зависимости от их цвета повышают температуру поверхности почвы на 10...15 °C. Прозрачные пленки, используемые на посевах в высокогорных районах Грузии, повышают температуру почвы на глубине 10 см на 8...10 °C по сравнению с температурой на контрольном участке. По материалам исследования В. В. Поповой в Ростовской области, плотно прижатая к поверхности почвы черная полиэтиленовая пленка повышала температуру почвы весной на 16...18 °C; в период образования клубней картофеля эта пленка, приподнятая над поверхностью почвы, способствовала понижению температуры на глубине 10 см на 4...5 °C по сравнению с температурой на контрольном участке.

Температуру почвы можно повысить также путем создания на пашне гребней и гряд, увеличивающих площадь деятельного слоя почвы на 20...25 %, что обеспечивает рост поглощения солнечной радиации и уменьшает влажность почвы. Так, в северных зонах растениеводства температура почвы на гребнях в среднем за период вегетации на 2...3 °C выше, чем на выровненных участках поля. В нечерноземной зоне дренирование заболоченных участков в летние месяцы повышает температуру пахотного слоя почвы, особенно поверхностного. Некоторому понижению температуры способствуют лесные полевые защитные полосы за счет более мощного травяного по-

крова и повышенной влажности почвы в межполосных пространствах по сравнению с открытыми полями.

Температурный режим воздуха. Температура воздуха непрерывно меняется во времени и пространстве. В разных географических точках Земли в одно и то же время она различна. У земной поверхности температура воздуха варьирует в широких пределах: например, в тропических пустынях летом она достигает почти 60°C , в зимнее время в Антарктиде (на станции „Восток“) было отмечено самое низкое значение — около -90°C .

Тепловой режим воздуха определяется в основном процессами теплообмена с деятельной (подстилающей) поверхностью и поглощением солнечной радиации. В дневные часы, когда приход солнечной радиации к подстилающей поверхности превышает ее расход, приземный слой воздуха нагревается. В ночные часы подстилающая поверхность теряет тепло и становится холоднее воздуха; при этом воздух отдает тепло почве и сам охлаждается. Этот теплообмен происходит вследствие нескольких процессов.

Тепловая конвекция — перенос воздуха по вертикали в условиях неравномерного нагревания различных участков подстилающей поверхности, когда над более прогретыми участками воздух становится теплее и легче. Объемы воздуха, поднимающегося вверх, занимает более холодный воздух. Над сушей тепловая конвекция возникает днем, над крупными водными поверхностями — ночью и в холодное время года, когда водная поверхность теплее прилегающих слоев атмосферы.

Турбулентность — вихревое хаотическое движение частиц воздуха, возникающее в результате трения между слоями воздуха, движущимися с различной скоростью над подстилающей поверхностью с неодинаковой шероховатостью. Следствием турбулентного движения является вертикальное и горизонтальное перемешивание воздуха при ветре. С увеличением скорости движения воздуха турбулентность усиливается, образуются вихри. Турбулентный теплообмен между подстилающей поверхностью и атмосферой в тысячи раз интенсивнее молекулярного теплообмена.

Молекулярный теплообмен — процесс обмена теплом между подстилающей поверхностью и прилегающим к ней слоем атмосферы путем молекулярной теплопроводности неподвижного воздуха. Поскольку коэффициент молекулярной теплопроводности неподвижного воздуха очень мал — $0,02 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, — значение этого вида теплообмена незначительно по сравнению с турбулентностью и тепловой конвекцией.

Радиационная теплопроводность — перенос тепла потоками длинноволновой радиации подстилающей поверхности и атмосферы. В нижних слоях атмосферы эти потоки проявляются в

основном в ночные часы суток, когда турбулентность ослаблена, а тепловая конвекция отсутствует.

Конденсация водяного пара — переход воды, поступающей от земной поверхности в атмосферу, из газообразного в жидкое состояние. **Сублимация** — переход водяного пара в твердое состояние (образование кристаллов льда). При конденсации, когда водяной пар с понижением температуры до точки росы достигает состояния насыщения, выделяется теплота, нагревается воздух, особенно на тех высотах, где образуются облака. В значительной мере нагревание и охлаждение воздуха определяется характером (свойствами) подстилающей поверхности. Так, например, над поверхностью суши воздух в дневные часы теплее, а ночью холоднее, чем над крупными водными пространствами. Температура воздуха различна в одно и то же время суток над лесом, полем, болотом, над различно экспонированными склонами в горной местности и т. п.

Суточный и годовой ход температуры воздуха. Суточный и годовой ход температуры в приземном слое воздуха определяется периодическими колебаниями температуры подстилающей поверхности. Закономерности изменений режима температуры воздуха выявляются при осреднении материалов многолетних наблюдений в конкретной географической точке (рис. 1.9). Непериодические изменения суточного хода вызываются вторжениями теплых или холодных воздушных масс, вследствие чего нарушается нормальный ход температуры воздуха. При нормальном ходе минимальная температура наблюдается перед восходом Солнца, максимальная отмечается обычно через 2...3 ч после полудня. Амплитуда суточного хода температуры воздуха над сушей зависит от времени года, географической широты, долготы и высоты местности, особенностей рельефа, растительного покрова и погодных условий. В ясную погоду амплитуда больше, чем в пасмурную, поскольку облака днем задерживают солнечную радиацию, а в темное время суток уменьшают излучение тепла подстилающей поверхностью. Растительный покров также уменьшает амплитуду суточных колебаний температуры воздуха, поскольку днем он поглощает часть потока солнечной радиации, а ночью задерживает земное излучение. При этом амплитуда температуры воздуха

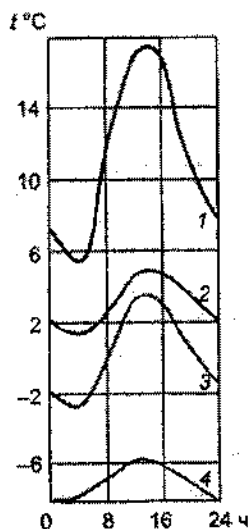


Рис. 1.9. Суточный ход температуры воздуха на разных широтах (в среднем за год):

1 — Нукус (Узбекистан); 2 — Санкт-Петербург; 3 — Екатеринбург;
4 — Мелкая Губа (Заполярье)

зависит от высоты и плотности растительного покрова: наименьшая — над лесом и наибольшая — над низкотравными сообществами. Характер суточного хода температуры воздуха учитывают при размещении посевов сельскохозяйственных культур, особенно в условиях пересеченного рельефа (см. раздел 4.7).

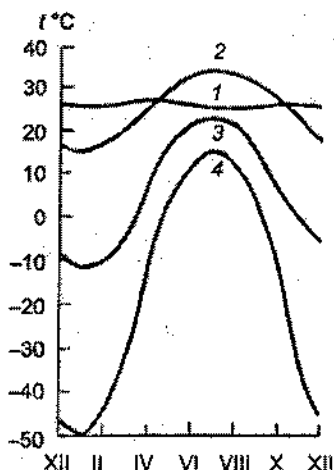
С увеличением высоты местности над уровнем моря амплитуда суточного хода температуры воздуха уменьшается; на высоте около 3 км этот ход затухает.

В умеренных широтах наибольшие амплитуды наблюдаются летом, в зимние месяцы они наименьшие. *Абсолютной годовой амплитудой температуры воздуха* называют разность между самым высоким (абсолютный максимум) и самым низким (абсолютный минимум) значениями температуры, наблюдавшимися в течение года в данной местности. В Северном полушарии на континентах наибольшая средняя месячная температура воздуха наблюдается в июле, наименьшая — в январе.

Годовой ход температуры воздуха в различных географических зонах неодинаков. Различают четыре основных типа годового хода температуры воздуха: экваториальный, тропический, умеренного пояса и полярный (рис. 1.10).

В нижних слоях атмосферы (тропосфера) температура воздуха с высотой понижается в среднем на $0,6^{\circ}\text{C}$ на каждые 100 м подъема. Распределение температуры в приземном слое воздуха зависит от характера подстилающей поверхности, сезона года, адвекции тепла или холода. Распределение температуры по вертикали характеризуется *вертикальным градиентом температуры (ВГТ)* — изменением температуры воздуха на единицу высоты по вертикали:

$$\text{ВГТ} = (t_n - t_v) / (Z_v - Z_n), \quad (1.7)$$



где $t_n - t_v$ — разность значений температуры на нижнем и верхнем уровнях, $^{\circ}\text{C}$; $Z_v - Z_n$ — разность высот, м. Принято рассчитывать ВГТ с шагом в 100 м.

Если $t_n > t_v$, то температура воздуха с высотой увеличивается и значения ВГТ отрицательны, такое распределение называется *температурной инверсией*; если $t_v = t_n$, то температура с высотой не меняется и ВГТ = 0, такое распределение

Рис. 1.10. Типы годового хода температуры воздуха: 1 — экваториальный (Джакарта); 2 — тропический (Асуан); 3 — умеренного пояса (Саратов); 4 — полярный (Верхоянск)

температуры воздуха называется *изотермией*. При значениях $t_s < t_n$ температура воздуха уменьшается с высотой, и ВГТ положителен. Такое распределение температуры с высотой характерно для тропосферы. Условия погоды сказываются на значениях ВГТ: в безоблачную погоду он больше, чем в пасмурную; при ветре он уменьшается из-за перемешивания воздушных масс; температура воздуха на различных высотах выравнивается. Летом и в дневные часы ВГТ больше, чем зимой и ночью.

Над снежным покровом ВГТ в приземном слое атмосферы незначителен и нередко отрицателен. Характер подстилающей поверхности также оказывает влияние на значение ВГТ: над влажной почвой в приземном слое воздуха ВГТ снижается, над почвой без растительности он больше, чем над плотным травянистым покровом.

Для сельскохозяйственного производства наибольшее значение имеет температурный режим приземного слоя воздуха (примерно 2...3 м), где расположена основная биомасса сельскохозяйственных культур, сенокосно-пастбищной растительности и сельскохозяйственных животных. В этом слое значения ВГТ всех метеорологических величин во много раз выше, чем в более высоких слоях тропосферы. Так, например, в ясные, безветренные дни при слабом турбулентном перемешивании разность температур воздуха на поверхности почвы и на стандартной высоте в метеорологической будке (2 м) может превышать 10 °C (см. раздел 5.6).

Температурный режим растительного покрова и потребность растений в тепле. Структура растительного покрова в значительной мере определяет его температурный режим. В каждом растительном сообществе (*фитоценозе*, *агроценозе*) в процессе вегетации складывается определенный *фитоклимат* (см. раздел 5.6), характеризующийся распределением температуры и влажности воздуха в среде растений и в корнеобитаемых горизонтах почвы. Особенности фитоклимата в растительном покрове складываются в зависимости от количества поступающей солнечной радиации, условий увлажнения, ветра, высоты и плотности растений, распределения элементов растений по высоте и т. п. Неоднородное затенение почвы листьями и стеблями создает различные радиационные и термические условия внутри растений. Суточный ход транспирации растений определяет температуру и влажность воздуха в их среде. Влияние растительного покрова на термический режим оценивается при сравнении с данными о температуре воздуха в метеорологической будке и в среде растений:

$$\Delta T = T_n - T_p, \quad (1.8)$$

где T_n — температура воздуха в метеорологической будке, T_p — температура в среде растений.

Характер распределения температуры по вертикали внутри растительного покрова зависит от плотности покрова и особенностей его структуры: одноярусный (например, посевы злаков), многоярусный (древесные, кустарниковые, травянистые формы, моховой покров). При плотном растительном покрове максимум температуры в дневные часы наблюдается у его верхней границы. Ночью растительный покров задерживает часть земного излучения. Излучая тепло, растения охлаждают прилегающий к ним воздух. Сомкнутый растительный покров снижает проникновение в его среду более холодного, а следовательно, и более плотного воздуха, поэтому минимальная температура воздуха наблюдается на уровне наиболее плотной части покрова. При разреженном растительном покрове, практически не снижающем уровень излучения поверхности почвы, ночной минимум температуры воздуха наблюдается у поверхности почвы.

Особенности формирования термического режима посевов различных сельскохозяйственных культур рассмотрим по материалам профессора Ф. А. Муминова (1963), проводившего исследования на люцерновом, кукурузном, картофельном полях и (для сравнения) на вспаханном поле (пашня). Как видно из рис. 1.11, температура воздуха днем на высотах 20, 50, 150 см на пашне выше, а на люцерновом поле ниже, чем на кукурузном и картофельном полях. Более высокая температура воздуха на пашне обусловлена сильным нагревом почвы, более низкая температура на люцерновом поле связана с интенсивным испарением с поверхности почвы и с транспирацией растений. В ночные часы на картофельном и люцерновом полях температура воздуха примерно на 1 °C выше, чем на пашне. Наиболее низкая в течение суток температура наблюдается на люцерновом поле с плотным, сомкнутым растительным покровом. Днем на пашне температура убывает с высотой и характеризуется большими температурными градиентами в слое до 50 см, а ночью наблюдается инверсия температур, наиболее выраженная в слое 20...50 см.

На картофельном поле ход температуры воздуха в дневные часы характеризуется сравнительно малым убыванием в слое 20...50 см и незначительным повышением в слое 50...150 см. Ночью наблюдается инверсия температур.

На кукурузном поле в дневные и ночные часы температура воздуха изменяется с высотой незначительно. На люцерновом поле температура воздуха с высотой в дневные и ночные часы достаточно быстро увеличивается; формируется инверсия температуры, которая сохраняется в течение суток. Наибольшего развития инверсия в слое 50...150 см достигает в дневные часы (12...16 ч), а также вечером. Причиной круглосуточной инверсии над люцерновым полем

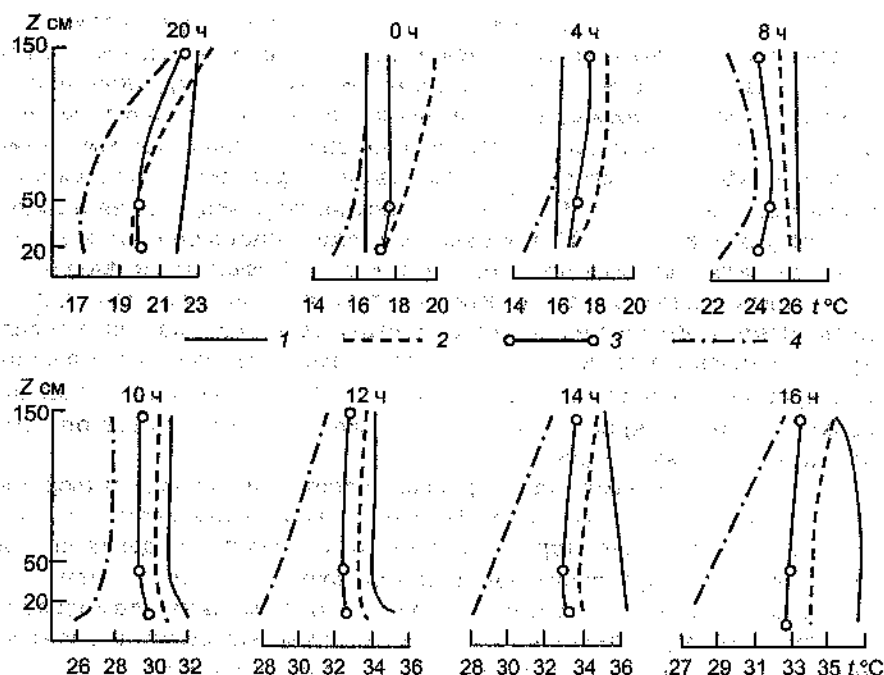


Рис. 1.11. Распределение температуры воздуха по высоте на пашне и в посевах различных сельскохозяйственных культур. Июль. Узбекистан

1 — пашня; 2 — картофельное поле; 3 — кукурузное поле; 4 — люцерновое поле
(по Ф. А. Муминову, 1963)

являются значительные затраты теплоты на испарение с поверхности почвы и транспирацию растений.

Таким образом, температура воздуха в течение суток на люцерновом поле ниже, чем на других рассматриваемых полях. Днем, особенно после полудня, разность значений температуры воздуха на высоте 20 см над пашней и люцерновым полем достигает 10 °C. Наибольшие разности на всех высотах наблюдаются в вечерние часы. В слое 20...50 см между пашней и люцерновым полем разность равна 8...11 °C, между пашней и кукурузным полем — 4...7 °C, между пашней и картофельным полем — 4,2...4,5 °C. Смещение максимальных разностей на вечерние часы объясняется следующим: ночью и утром разности температур воздуха незначительны. После восхода Солнца с увеличением испарения на полях картофеля, кукурузы и люцерны разности температур воздуха в среде растений по сравнению с температурой пашни непрерывно возрастают. Это происходит благодаря быстрому росту температуры поверхности пашни при незначительных затратах теплоты на испарение. После полудня температура на пашне и на дру-

гих полях с названными сельскохозяйственными культурами начинает постепенно убывать вследствие уменьшения притока лучистой энергии. В то же время на картофельном, кукурузном и люцерновом полях *суммарное испарение (испарение с поверхности почвы и транспирация растений)* ещё значительно, поэтому температура убывает быстрее, чем на пашне, и разности продолжают возрастать до 16...19 °C. Разности температур воздуха начинают быстро убывать после 19 ч в связи с резким уменьшением испарения на полях, занятых посевами сельскохозяйственных культур.

В садах, занятых плодовыми культурами, в летний период распределение температуры воздуха по вертикали неодинаково внутри кроны деревьев и в междурядьях. Внутри взрослых с хорошо развитой кроной плодовых деревьев воздух на 2...3 °C холоднее, чем на верхней границе кроны, и на 1...2 °C холоднее, чем в междурядьях на одной и той же высоте.

В лесу под кронами старых деревьев днем наблюдается инверсия температуры, выраженная тем сильнее, чем плотнее растительный слой. Разность температур воздуха на уровне вершук деревьев и в приземном слое при ясной погоде летом достигает 4...6 °C. Ночью в лесу воздух теплее под кронами деревьев, минимальные температуры отмечаются у вершук кроны. В лесу летом амплитуда суточного хода температуры воздуха на 3...4 °C меньше, чем в поле.

В теплицах, в условиях закрытого грунта, температура воздуха вследствие парникового (оранжерейного) эффекта выше, чем на открытых участках. Даже в неотапливаемых теплицах днем за счет притока солнечной радиации разность достигает 15...20 °C; постепенно происходит прогревание нижележащих горизонтов почвы, тепло которых благоприятно сказывается на улучшении теплообеспеченности посевов, выращиваемых в закрытом грунте.

Физиологические процессы — *фотосинтез, дыхание, транспирация, рост, развитие*, — протекающие в растениях, определяются температурой окружающей растения среды. При этом оптимальные, максимальные и минимальные значения температуры для разных растений в различные периоды их развития неодинаковы. Это объясняется биологическими особенностями каждого вида (и сорта) растений. Средние суточные значения температуры воздуха начала и окончания вегетации неодинаковы у различных растений: у озимых и ранних яровых зерновых культур — около 5 °C, у поздних яровых — около 10 °C, у теплолюбивых (рис, хлопчатник) — около 15 °C, у тропических культур (сахарный тростник, финиковая пальма и др.) — выше 20 °C. У теплолюбивых культур угнетение процесса фотосинтеза наступает при температурах ниже 10 °C; даже кратковременное охлаждение фотосинтезирующих поверхностей вызывает его нарушение.

Для характеристики температурного режима конкретной территории обычно используются значения *средней суточной, средней месячной и средней годовой температуры воздуха*, а также значения *максимальной, минимальной температуры и амплитуды* определенных временных периодов. Информативной характеристикой тепловых ресурсов территории является также показатель *суммы средних суточных температур воздуха* за определенный промежуток времени. Во многих климатических справочниках и атласах приведены значения сумм средних суточных температур воздуха за периоды, определяемые датами устойчивого перехода температур через 0, 5, 10, 15 °C в сторону повышения весной и понижения — осенью. Пример географического распределения средних многолетних сумм активных средних суточных температур воздуха выше 10 °C приведен на рис. 1.12.

Сумма температур как показатель уровня теплообеспеченности растений за определенный период на конкретной территории широко используется в агрометеорологии. Потребность растений в тепле выражают обычно суммами *активных или эффективных температур*. *Суммой активных температур* называется пропорциональный количеству тепла показатель, выраженный суммой средних суточных температур воздуха или почвы, превышающих биологический минимум температуры, установленный для определенного периода развития растений. *Суммой эффективных температур* называется пропорциональный количеству тепла показатель, выраженный суммой средних суточных температур воздуха или почвы, уменьшенных на значение биологического минимума температуры.

Практически расчет сумм активных (или эффективных) температур за вегетационный период или его подпериоды проводят по средней декадной (или месячной) температуре, снятой с графика годового хода температуры воздуха пункта наблюдений (рис. 1.13). Например, с графика снимают даты начала (точка А) и конца (точка В) периода с температурой воздуха выше 10 °C. Затем подсчитывается сумма активных температур за каждый полный месяц. Для этого значение средней месячной температуры умножается на число дней в месяце. За неполные месяцы в начале (на отрезке АС) и в конце (на отрезке DB) периода, когда происходит переход температуры через 10 °C, сумма температур подсчитывается по формуле площади трапеции:

$$\Sigma t = t_{10} + t_n/2n, \quad (1.9)$$

где Σt — сумма температур за неполный месяц в начале вегетационного периода, °C; t_{10} — температура воздуха на дату перехода

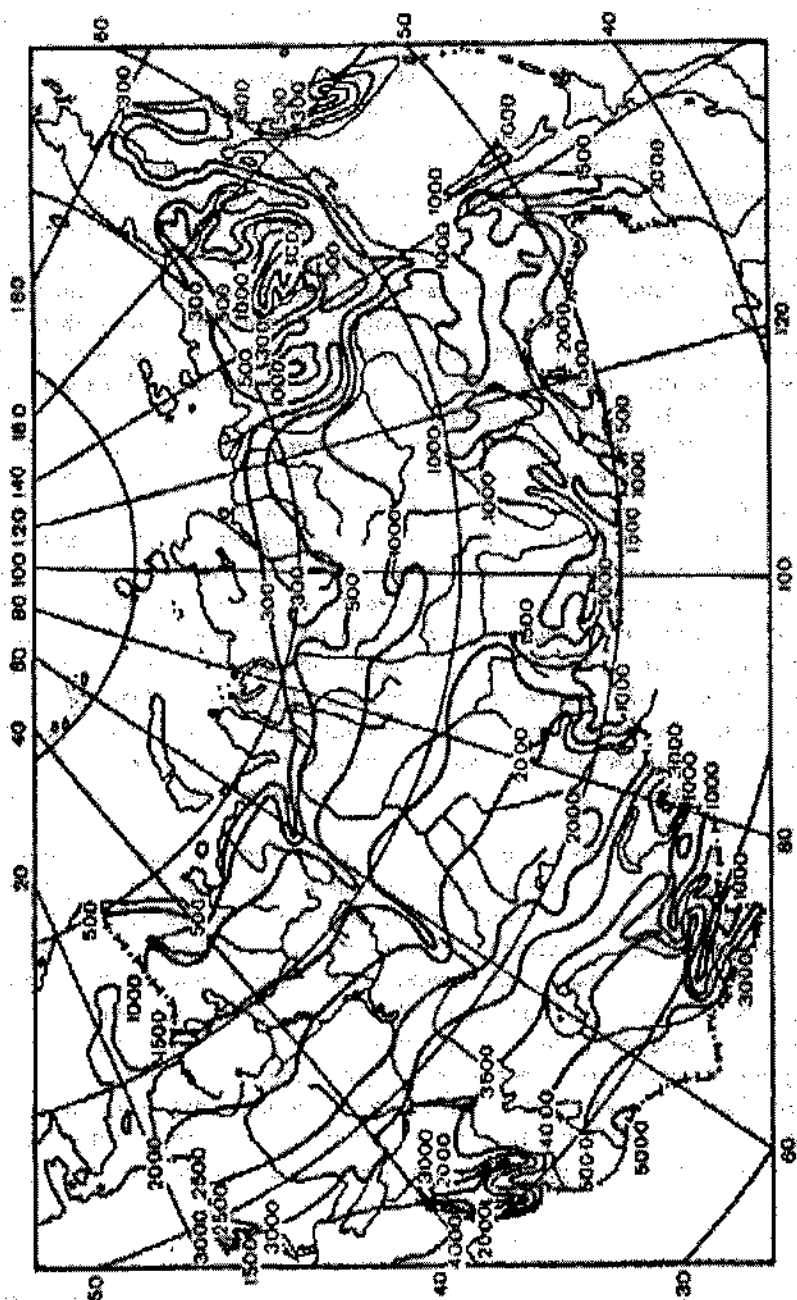


Рис. 1.12. Распределение средних многолетних сумм активных температур выше 10 °С на территории Российской Федерации и сопредельных государств

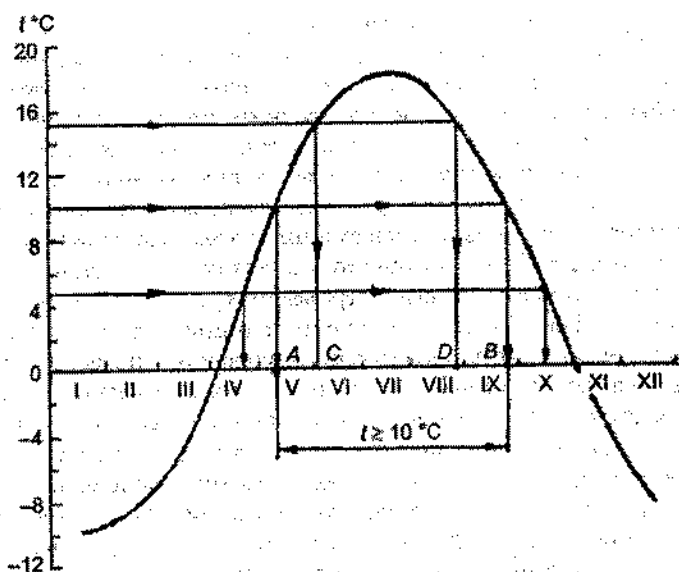


Рис. 1.13. Годовой ход температуры воздуха, по данным метеорологической станции Мичуринск (по А. П. Лосеву, 1988)

температуры через 10°C ; t_n — температура на конец месяца; n — число дней неполного месяца.

Другой пример расчета сумм активных и эффективных температур приведен в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Пример расчета суммы активных и эффективных температур воздуха ($\Sigma T^{\circ}\text{C}$) с 10 по 18 мая

Характеристика	Число месяца									Сумма
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Средняя суточная температура	12,0	10,5	8,6	4,9	7,6	12,0	15,1	18,2	16,0	106,9
Активная температура	12,0	10,5	0,0	0,0	0,0	12,0	15,1	18,2	16,0	83,8
Эффективная температура выше 5 °С	7,0	5,5	3,6	0,0	2,6	7,0	10,1	13,2	11,0	60,0
Эффективная температура выше 10 °С	2,0	0,5	0,0	0,0	0,0	2,0	5,1	8,2	6,0	23,8

В ранневесенний период нередко бывает, что дневные температуры воздуха способствуют вегетации растений, несмотря на то что средние суточные температуры оказываются ниже биологического минимума (для данных растений) за счет ночного выхолаживания. В

таких случаях, согласно методике А. А. Шиголева, эффективная температура рассчитывается по данным срочных наблюдений и полученная сумма делится на количество сроков, в которые температура воздуха была выше биологического минимума. Для уточнения термических условий, необходимых для роста и развития растений, возможно использование суммы дневных и суммы ночных температур, поскольку значения средней суточной температуры и ее суммы нивелируют термические различия в суточном ходе температуры воздуха.

Исследования З. А. Мищенко показали, что суммы активных температур воздуха не всегда отражают уровень теплообеспеченности растений. Так, было установлено, что при одной и той же сумме активных температур в различных географических зонах складываются неодинаковые условия из-за различий в суммах средних дневных и средних ночных температур в период, когда температура дня и ночи выше 10 °С. Термический режим дня и ночи имеет большое значение для продуктивности растений (в том числе сельскохозяйственных культур), которая определяется количественным соотношением двух процессов — фотосинтеза и дыхания, протекающих в растениях в различные по условиям освещенности и продолжительности светлые и темные часы суток. При одной и той же средней суточной температуре воздуха могут наблюдаться различные сочетания средних дневных и средних ночных температур. Сравним пять пар метеорологических станций с близкими значениями сумм средних суточных температур воздуха, расположенных примерно на одинаковых широтах, но различающихся по долготе, т. е. по континентальности климата. В табл. 1.6 первая станция каждой пары по географическому положению севернее второй.

Таблица 1.6

Суммы средних суточных (Σt_c), дневных (Σt_d) и ночных (Σt_n) температур воздуха за период с температурой выше 10 °С (по З. А. Мищенко, 1984), °С

Станция	Высота над ур. м., м	Долгота, ...°	Σt_c	Σt_d	Σt_n	$\Sigma t_d - \Sigma t_n$
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
Кокпекты	511	82	2540	3160	1310	1850
Одесса	43	30	3270	3500	2910	590
Ветпак-дала	328	70	3370	4060	2510	1550
Ленкорань	37	49	4310	4980	3740	1240
Чардара	240	70	4300	5760	2620	3140

Как видно из этой таблицы, в восточных, более континентальных районах суммы температур дня значительно превышают средние суточные суммы, а суммы температур ночи меньше средних суточных по сравнению со станциями, расположенными на западе. Разности между суммами температур дня и ночи возрастают в направлении с северо-запада на юго-восток. С увеличением сумм дневных температур наблюдается ускорение в развитии и созревании сельскохозяйственных культур в юго-восточных и восточных регионах, повышение содержания белка в зерне и сахаристости в плодах возделываемых культур.

Значения сумм активных и эффективных температур воздуха по той или иной территории могут использоваться в практической работе агрометеорологов для обоснования размещения сельскохозяйственных культур, для оценки и расчетов скорости их развития и для других целей (см. рис. 1.12).

Потребность растений в тепле варьирует в широких пределах в зависимости от вида (сорта), фазы развития, от конкретных условий их произрастания или возделывания. Зона активной вегетации растений определяется тремя кардинальными точками: температурным минимумом, ниже которого растение перестает вегетировать и может погибнуть, температурным оптимумом, соответствующим наиболее благоприятным условиям его роста и развития, и, наконец, температурным максимумом, превышение которого приводит к гибели растения. Температуры наступления различных фаз развития, например начала вегетации или периода формирования генеративных органов растений (табл. 1.7), не являются константами, они могут изменяться в пределах приспособительных возможностей растений и зависят от целенаправленной селекции. Между биологическим минимумом и биологическим максимумом находится зона оптимальных температур, при которых рост, развитие и формирование растений происходят наиболее интенсивно. У многих теплолюбивых культур интенсивность фотосинтеза резко снижается при температуре воздуха 10...12 °C, у менее требовательных к теплу растений, таких как овес, картофель, редис, при этой температуре происходит значительный прирост биомассы.

Высокая температура почвы и воздуха (более 20 °C) в период формирования цветков в колосе зерновых культур (например, яровая пшеница) в условиях недостатка почвенной влаги снижает урожай этой культуры на 30...40 %. Жаркая сухая погода в период налива зерна также значительно снижает урожай зерновых культур.

Каждая последующая фаза развития растения требует более высоких температур по сравнению с предыдущей фазой. Если прорастание произошло при низкой температуре, то семена находятся в

Таблица 1.7

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

Сельскохозяйственная культура	Появление всходов и формирование вегетативных органов	Формирование генеративных органов
Ряпс яровой	2...3	8...10
Горох посевной	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

фазе прорастания до тех пор, пока не наступят более благоприятные температурные условия, необходимые для появления всходов. При раннем севе (в холодную почву) развитие побега задерживается, тогда как корневая система продолжает медленный рост. При позднем севе в условиях быстрого нарастания температуры окружающей среды ускоренно формируется надземная часть растений, а корневая система отстает в росте. Поэтому, когда в засушливых условиях требуется хорошее развитие корневой системы для использования влаги более глубоких слоев почвы, сев проводят в ранние сроки и в более холодную почву. В случае необходимости обеспечения быстрого роста надземной части растений (например, при борьбе с сорняками) сев переносят на более поздние сроки, чтобы накопить влагу в почве и уничтожить перед посевом сельскохозяйственных культур проросшие сорняки.

В процессе многолетних исследований агрометеорологами изучены потребности в тепле практически всех сельскохозяйственных, плодово-ягодных, древесно-кустарниковых культур, естественной пастбищной растительности и сеяных кормовых трав. Потребность растений в тепле принято выражать в суммах активных или эффективных температур. Однако такие суммы не являются константами, поскольку на их величину оказывают влияние условия обеспеченности растений влагой, особенности протекания зимнего периода, сортовые различия, а также фаза развития и уровень температуры, принятый за биологический ноль (см. главу 4). Некоторые примеры потребностей различных сельскохозяйственных культур в обеспеченности теплом приведены в табл. 1.8.

Таблица 1.8

Суммы эффективных температур, необходимые для наступления фаз развития некоторых культур
(по данным различных авторов)

Культура	Сорт, район произрастания	Межфазный период	Сумма эффективных температур	
			выше 5 °C	выше 10 °C
Озимая рожь		Посев — всходы	52	
Озимая пшеница		Посев — всходы	67	
Яровая пшеница			67	
Озимая пшеница		Колошение — восковая спелость	490	
Яровая пшеница			490...540	
Гречиха		Посев — всходы	75	
Просо		Посев — всходы	150	
Рис	Раннеспелый	Посев — созревание		2680
	Среднеспелый			2920
	Позднеспелый			3280
Кукуруза	Среднеспелый	Третий лист — выметывание		420
	Среднепоздний			480
	Позднеспелый			540
Горох		Посев — всходы	110	
		Всходы — цветение	250	
		Цветение — созревание	290	
Люцерна		Весеннее отрастание — бутонизация	560	

Окончание табл. 1.8

Культура	Сорт, район произрастания	Межфазный период	Сумма эффективных температур	
			выше 5 °С	выше 10 °С
Томаты	Европейская часть страны/Дальний Восток	Образование соцветий — зеленая спелость		100/220
		Образование соцветий — бланжевая спелость		200/380
		Образование соцветий — полная спе- лость		300/430...470
Хлопчатник	Ташкент-1 Ташкент-2 Ташкент-3	Посев — всходы		96 95 93
		Посев — цветение		1020
				1000 1000
Яблони	Узбекистан, северные районы Узбекистан, южные районы	Цветение — раскрытие первых коро- бочек		849 856
				832
		Дата перехода через 5 °С — цветение	150...160	
			205...225	

Таким образом, температура воздуха (и корнеобитаемых горизонтов почвы) является одним из основных факторов жизнедеятельности растений. Учет температурного режима, знание особенностей его формирования на сельскохозяйственных полях, в среде растений, а также в условиях регулируемого климата (теплицы, оранжереи, парники) представляет собой важное условие для получения высоких и устойчивых урожаев в растениеводстве. Более того, для размещения новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур необходимы сведения о потребностях растений в тепле, выраженные, например, в суммах активных или эффективных температур в различные периоды их произрастания.

Оперативные данные о складывающемся температурном режиме необходимы также для расчета сроков и норм посева, количественной оценки состояния посевов в различные периоды их жизнедеятельности, сроков уборки урожая, для прогноза размера урожая и т. д.

1.3. Осадки. Влажность воздуха. Испарение воды. Транспирация растений. Конденсация водяного пара

Осадки. Атмосферные осадки по своему фазовому состоянию делятся на жидкие, твердые и смешанные. Выпадение осадков из облаков происходит при определенных условиях, когда вследствие укрупнения капель водяного пара или кристаллов влаги, находящейся в воздухе, их размеры достигают 0,1...0,2 мм (и более), а масса увеличивается настолько, что восходящие потоки воздуха не могут поддерживать их во взвешенном состоянии. Укрупнение капель или кристаллов происходит вследствие их слияния. В облаках, состоящих одновременно из капель и кристаллов, укрупнение облачных элементов происходит путем *сублимации* кристаллов льда в результате испарения переохлажденных капель воды.

Водяной пар — важнейшая составляющая часть земной атмосферы — непрерывно поступает в воздух вследствие процессов испарения воды с поверхности океанов, морей и других водоемов, почвенного покрова, снега, льда и растительного покрова Земли. Около 23 % солнечной радиации, поступающей на планету Земля, расходуется на испарение воды с ее водных поверхностей и суши. *Выпадение осадков на земную поверхность (приход) и их последующее испарение (расход) являются составляющими большого круговорота воды на Земле.* Основная часть осадков, выпадающих на сушу, формируется благодаря переносу влаги воздушными течениями с океанов. *Часть влаги, испарившейся над океанами, конденсиру-*

ется над их поверхностью и снова возвращается в океан, совершая так называемый малый круговорот воды.

На суше атмосферные осадки частично просачиваются в почвенные горизонты, пополняя запасы почвенной влаги и грунтовых вод, частично стекают по поверхности, образуя поверхностные воды — реки, ручьи, воды которых вновь возвращаются в озера, моря, океаны. Часть атмосферных осадков используется растительным покровом и животными в процессе их жизнедеятельности и возвращается в атмосферу через транспирацию и испарение.

Количество выпавших осадков измеряется высотой слоя воды в миллиметрах; 1 мм слоя воды = $0,1 \text{ г/см}^2$, или 1 кг/м^2 . В некоторых зарубежных странах осадки измеряются в сантиметрах или в дюймах (1 дюйм = 2,54 см). Слой осадков высотой 1 мм на площади 1 га ($10\,000 \text{ м}^2$) соответствует объему воды $10 \text{ м}^3/\text{га}$ ($0,001 \text{ м} \times 10\,000 \text{ м}^2/\text{га}$), или ее массе 10 т/га. Следовательно, коэффициент пересчета количества выпавших осадков из миллиметров в тонны на 1 га равен 10.

Интенсивность осадков h определяется их количеством R , слоем воды в миллиметрах, выпавшим за единицу времени t , например за 1 мин:

$$h = R/t. \quad (1.10)$$

В агрометеорологической практике обычно используют *суммы осадков (нарастающим итогом)*, выпавших за декаду, месяц, вегетационный период или его подпериоды, за межфазный период, за холодный (1 ноября — 31 марта) и теплый (1 апреля — 31 октября) периоды, по данным отдельных наблюдательных пунктов или в форме осредненных значений по заданной территории.

Изменчивость суммы осадков по территории и по годам в условиях умеренного климата значительна (рис. 1.14). Считается, что среднее многолетнее количество осадков для конкретной территории дает представление лишь о 50 %-ной их вероятности. Для расчетов годовых сумм осадков с различной обеспеченностью пользуются обычно специальными графиками, построенными на материалах многолетних наблюдений на данной территории (рис. 1.15).

Снежный покров и его роль в формировании теплового и водного режимов почвы. Снег, выпадающий при устойчивых отрицательных температурах воздуха и почвы, образует снежный покров. Состояние снежного покрова характеризуется его высотой, плотностью и характером залегания. *Высота снежного покрова определяется количеством выпавшего снега (см) и его плотностью. Плотность снега — это отношение массы (g) пробы снега m к ее объему V ($g/\text{см}^3$); изменяется от 0,01 (свежевыпавший снег) до $0,6 \text{ г/см}^3$ (слежавшийся снег, начавший таять).* **Характер залегания снеж-**

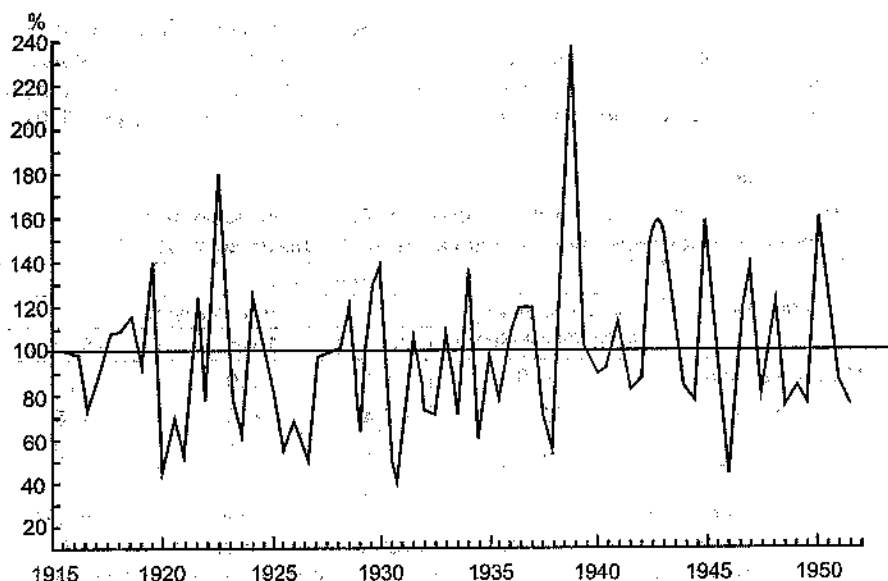


Рис. 1.14. Динамика осадков (% нормы) за май—июль по метеорологической станции Омск

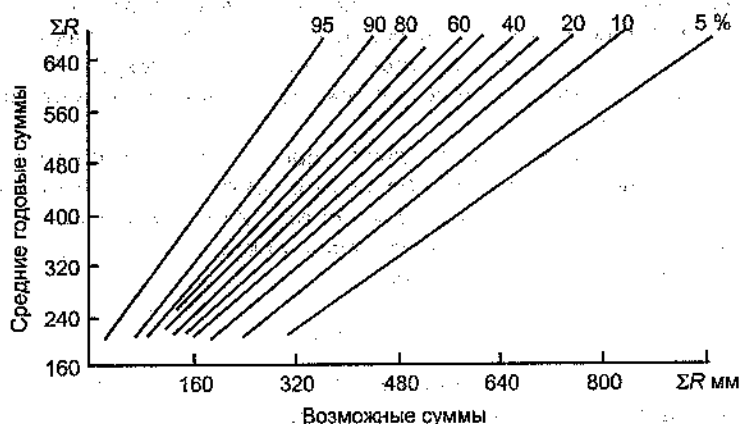


Рис. 1.15. График для расчета годовых сумм осадков различной обеспеченности

ного покрова зависит от особенностей рельефа местности, шероховатости поверхности почвы и степени ее покрытия растительностью, от силы и продолжительности ветра. Различное сочетание этих факторов обуславливает неравномерность залегания снежного покрова на поверхности — от сугробов в одних местах до оголенных (без снега) участков в других местах.

Рыхлый снежный покров в силу своих физических особенностей имеет слабую теплопроводность, благодаря чему почва, покрытая снегом, защищена от резких колебаний температуры, а зимующие культуры — от вредного воздействия низких температур (табл. 1.9).

Таблица 1.9

Температура почвы (°C) на различных глубинах при наличии 25-сантиметрового снежного покрова (по А. М. Шульгину, 1972)

Значение	Температура			
	на поверхности снежного покрова	почвы на глубине		
		3 см	15 см	25 см
Максимальное	0,0	-1,4	-1,0	-0,7
Минимальное	-35,5	-7,4	-6,3	-4,5
Амплитуда	35,5	6,0	5,3	3,8

С повышением плотности снега его теплопроводность увеличивается. В среднем коэффициент теплопроводности снега в 10 раз меньше, чем почвы, но в 10 раз больше, чем коэффициент теплопроводности неподвижного воздуха. В исследованиях агрометеорологов показано, что хорошая перезимовка озимых культур на юге европейской части России, где морозы не очень сильны, обеспечивается снежным покровом высотой около 20 см, в северных районах — около 30 см, в Западной Сибири — примерно 40 см, а в очень суровые зимы — более 50 см. Подробнее эти вопросы рассмотрены в разделе 2.1.

Снежный покров аккумулирует осадки холодного времени года, и весной в процессе таяния образуется много воды, часть которой накапливается в почве. *Водность снега*, или *запас воды в снежном покрове*, определяется в сельскохозяйственной и агрометеорологической практике по формуле

$$Z = 100hr, \quad (1.11)$$

где Z — запас воды в снежном покрове, т/га; h — средняя высота снежного покрова, см; ρ — плотность снега, г/см³.

Накопление и сохранение влаги на полях в значительной мере зависят от высоты и плотности снега, глубины и степени промерзания почвы, наличия притертой ледяной корки, погодных условий весны. Чем выше снежный покров и больше его плотность, тем больше запас воды, содержащейся в нем. Если к началу периода снеготаяния почва оказывается талой, то значительная часть воды идет на насыщение почвы влагой и меньше — на сток. Если же почва в этот период еще промерзшая, то основная часть воды стекает, даже при незначительных уклонах поверхности (1...3°). Нали-

чие на поверхности почвы ледяной корки также препятствует проникновению талых вод в почву.

Зимой температура почвы зависит от высоты снежного покрова, плотности и структуры снега. Под воздействием колебаний температуры воздуха, интенсивности солнечной радиации, силы и направления ветра выпавший снег постепенно уплотняется. При оттепелях за счет подтаивания снежный покров насыщается влагой, оседает, замедляет прогревание почвы, что предохраняет зимующие растения от преждевременного пробуждения. Однако во время активного весеннего таяния снежный покров задерживает процесс размораживания верхних горизонтов почвы, что сказывается на смещении сроков начала отрастания озимых культур.

Снежный покров уменьшает глубину промерзания почвы, но при длительном, более одного месяца, залегании (при высоте более 30 см) в теплые зимы это приводит к *выпреванию* зимующих культур (см. раздел 2.1). Известно, что узел кущения зерновых культур и корневая шейка зимующих бобовых культур расположены в среднем на глубине около 3 см. С помощью номограммы (рис. 1.16) по минимальной температуре воздуха и высоте снежного покрова можно определить минимальную температуру почвы на глубине узла кущения. Например, при температуре воздуха -30°C и высоте снежного покрова 10 см температура почвы на глубине 3 см равна -16°C , а при высоте 40 см — только -9°C . Для агрометеорологической оценки этих условий необходимо знать критическую температуру каждой зимующей культуры. Подробнее см. раздел 2.1.

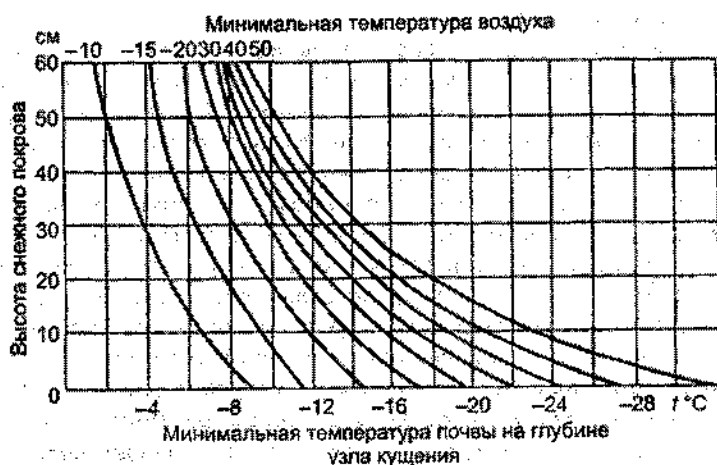


Рис. 1.16. Номограмма для расчета минимальной температуры почвы на глубине залегания узла кущения злаков (3 см) по минимальной температуре воздуха и высоте снежного покрова (по А. М. Шульгину)

В защите зимующих сельскохозяйственных культур от гибели большая роль принадлежит снежной мелиорации — мероприятиям, направленным на утепление посевов. *Снежная мелиорация — это методы улучшения теплового и водного режимов почвы путем воздействия на снежный покров: снегозадержание, снегонакопление и снегоуплотнение.* Технические (агротехнические) приемы сохранения снежного покрова условно подразделяются на группы:

с использованием растительности — сохранение на зиму стерни, побегов высокостебельных культур, посадки кустарников и деревьев и т. д.;

с использованием снега — создание снежных валков, уплотнение снежного покрова тяжелой техникой и т. п.;

с применением сооружений искусственной защиты — изгородей, щитов из камыша, досок и др.

Так, кулисы из стерни и высокостебельных растений (горчица, подсолнечник) обеспечивают накопление снега и более равномерное его распределение по поверхности полей. Эффективность кулис, лесных полосащитных полос и снежных валков возрастает при их размещении перпендикулярно направлению господствующих ветров. В районах с мощным снежным покровом применяют его уплотнение, при котором увеличивается теплопроводность снега, вследствие чего почва начинает промерзать и температура на глубине узла кущения понижается на 4...5 °С. Этим посевы предохраняются от выпревания, и растения переходят в состояние зимнего покоя. Урожай зерновых культур, не подверженных процессам выпревания, оказывается выше на 0,55 т/га (по данным Красноуфимской селекционной станции).

Для ускорения таяния снега проводят специальные работы по *снегосгону: зачернение поверхности снега путем распыления торфяной крошки или угольной пыли.* В результате резкого уменьшения альбедо снег поглощает больше солнечной радиации и стаивает на 10...15 дней раньше, чем на незачерненных полях. Это позволяет провести более раннюю обработку почвы и ранний сев. Для правильного проведения любых мероприятий снежной мелиорации необходимо использовать оперативную агрометеорологическую информацию: об осенних запасах влаги на полях, динамике высоты и плотности снежного покрова, температуре почвы на глубине узла кущения, о запасах сахара в тканях зимующих растений, а также о преобладающих в зимний период направлениях ветра.

Влажность воздуха и ее роль в жизни растений. *Содержание водяного пара в атмосфере характеризуется влажностью воздуха; для измерения влажности используются следующие величины: абсолютная влажность, парциальное давление водяного пара, давление насыщенного водяного пара, относительная влажность,*

дефицит насыщения воздуха водяным паром, температура точки росы и удельная влажность. Все эти понятия изучаются по программе курса „Метеорология“, поэтому в настоящем учебнике ограничимся лишь их определениями.

Абсолютная влажность (a) — масса водяного пара, содержащаяся в единице объема воздуха (г/м^3).

Парциальное давление (упругость) водяного пара (e) — давление, которое имел бы водяной пар, находящийся в воздухе, если бы он занимал объем, равный объему воздуха при той же температуре (гПа).

Давление насыщенного водяного пара (E) — парциальное давление водяного пара, максимально возможное при данной температуре (гПа).

Относительная влажность воздуха (f) — отношение парциального давления водяного пара, содержащегося в воздухе, к давлению насыщенного водяного пара (E) при данной температуре, выраженное в процентах:

$$f = (e/E) \cdot 100 \%. \quad (1.12)$$

Дефицит насыщения воздуха водяным паром (недостаток насыщения) (d) — разность между давлением насыщенного водяного пара (E) при данной температуре и фактическим парциальным давлением водяного пара (e):

$$d = E - e. \quad (1.13)$$

Дефицит насыщения выражают в гПа , миллибарах или миллиметрах ртутного столба. При увеличении относительной влажности воздуха дефицит насыщения снижается и при $f = 100 \%$ становится равным нулю. Поскольку E зависит от температуры воздуха, а e от количества содержащегося в нем водяного пара, то d является комплексной характеристикой, выражающей условия температуры и влажности воздуха.

Точка росы t_a ($^{\circ}\text{C}$) — температура, при которой водяной пар, содержащийся в воздухе, достигает состояния насыщения при неизменном общем давлении воздуха. При $f = 100 \%$ фактическая температура воздуха совпадает с точкой росы. При температуре ниже точки росы происходит конденсация водяных паров, образуются туманы, облака, а на земной поверхности — роса, иней, изморозь.

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

$$q = 622 e/p, \quad (1.14)$$

где e — парциальное давление (упругость) водяного пара, гПа; p — атмосферное давление, гПа.

В приземный слой воздуха водяной пар поступает непрерывно вследствие испарения с поверхности почвы и растительного покрова и диффузии в процессе турбулентности. В более высокие слои водяной пар проникает благодаря тому, что он в 1,6 раза легче воздуха (плотность водяного пара по отношению к сухому воздуху при 0°C равна 0,622).

В растительном покрове относительная влажность распределяется неравномерно: в среде растений водяного пара больше, чем над оголенной (без растительности) почвой, поскольку растения испаряют влагу и снижают скорость ветра, т. е. происходит ослабление турбулентной диффузии пара. Так, в посевах высокостебельных культур (кукуруза, кунжут, сорго, подсолнечник и др.) относительная влажность в ясные, безветренные дни на 20...30 % выше, чем над оголенной почвой; в лесостепной зоне в дубраве она на 10...14 % выше, чем в открытом поле. Следовательно, дефицит насыщения в посевах сельскохозяйственных культур и в лесопосадках значительно меньше, чем над оголенной почвой.

Относительная влажность воздуха применяется для оценки благоприятности условий произрастания растений. В период цветения, например, низкая влажность воздуха способствует быстрому высыханию пыльцы, отчего происходит неполноценное оплодотворение и чересзерница у зерновых культур. Длительный период вегетации летом (без орошения) при относительной влажности менее 30 % вызывает у растений недостаток влаги, вследствие чего происходит сокращение листовой поверхности, скручивание, преждевременное усыхание и опадание листьев, т. е. сокращение фотосинтезирующей поверхности и снижение урожая. Особенно неблагоприятно для развития растений сочетание низкой относительной влажности с малыми запасами продуктивной влаги в корнеобитаемых горизонтах почвы. В условиях длительного периода жаркой и сухой погоды растения могут полностью погибнуть (см. раздел 2.2). Из-за низкой влажности воздуха в период формирования и налива плодов развивается мелкоплодность, ослабляется закладка почек возобновления под урожай будущего года, она неблагоприятна для формирования льноволокна, но повышает хлебопекарные качества пшеницы (увеличивается содержание клейковины в зерне).

Повышенная относительная влажность воздуха ($f > 80\%$) обуславливает крупноклеточное строение механических тканей растений, снижающее устойчивость к полеганию наземных побегов зерновых и других культур, препятствует эффективному опылению растений в период их цветения. Кроме того, избыточная влажность воздуха создает благоприятные условия для развития грибковых

болезней сельскохозяйственных культур (например, фитофтора картофеля и томатов, белая гниль подсолнечника, ржавчина зерновых, мильдю винограда и др.).

Пониженный дефицит насыщения замедляет созревание хлебов и просыхание зерна и соломы в скопленных валках (табл. 1.10).

Таблица 1.10

Зависимость влажности зерна и соломы от дефицита насыщения
(по А. П. Федосееву, 1979)

Дефицит насыщения, 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

При дефиците насыщения более 8 гПа складываются благоприятные условия для работы уборочных комбайнов, при дефиците менее 3 гПа — условия плохие, так как влажная масса соломы забивает рабочие органы агрегатов, а зерно плохо отделяется от колоса.

Учет влажности воздуха имеет большое значение при проведении многих хозяйственных мероприятий: уборке и закладке кормов на хранение, сушке зерна, хлопковолокна и плодов на открытом воздухе, проветривании складских помещений и т. п. Влажность учитывается также при стойловом содержании сельскохозяйственных животных.

Испарение воды. Переход вещества из жидкого состояния в газообразное называется испарением. Сущность этого процесса заключается в отрыве молекул воды от влажной поверхности (например, почвы) или от воды и переходе этих молекул в виде водяного пара в воздух. Такую форму испарения называют также физическим испарением. Испарение влаги растительностью называется транспирацией. Совокупно физическое испарение и транспирацию называют суммарным испарением. Испарение — одно из основных звеньев в круговороте воды на земном шаре, важнейший фактор тепло- и влагообмена растительных и животных организмов.

Под воздействием солнечной радиации ежегодно с поверхности Мирового океана испаряется 450 000 км³ воды, с поверхности всей суши — около 70 000 км³. На испарение такого количества воды затрачивается около $12,6 \cdot 10^{23}$ Дж/год, или приблизительно 30 %

поглощаемой Землей солнечной энергии. Испарение зависит от температуры испаряющей поверхности, давления, влажности воздуха, скорости ветра и других факторов. Количественно испарение характеризуется *скоростью испарения* (V) — *массой воды, испарившейся с единицы поверхности в единицу времени*. Испарение в практических целях выражается высотой (мм) слоя воды, испарившейся за определенный отрезок времени, например за сутки. Согласно закону Дальтона, скорость испарения прямо пропорциональна разности между давлением насыщенного водяного пара, вычисленного по температуре испаряющей поверхности, и фактическим давлением водяного пара в воздухе ($E_s - e$) и, согласно формуле Августа, обратно пропорциональна атмосферному давлению (p):

$$V = k(E_s - e)f(v)/p, \quad (1.15)$$

где k — коэффициент пропорциональности, зависящий от скорости ветра; $f(v)$ — функция ветра.

Следовательно, скорость испарения будет возрастать по мере увеличения разности $E_s - e$, т. е. дефицита влажности воздуха, вычисленного по температуре испаряющей поверхности. Чем меньше эта разность, тем медленнее идет испарение — меньшее количество водяного пара переходит в воздух в единицу времени. Влияние атмосферного давления (p) заметно лишь на разных высотах в горах. Снижение атмосферного давления в высокогорных условиях облегчает отрыв молекул от испаряющей поверхности, т. е. скорость испарения с высотой возрастает. Этим объясняется тот факт, что точка кипения воды в высоких горах ниже 100°C , поэтому продолжительность процесса варки продуктов питания увеличивается. Зависимость скорости испарения от ветра объясняется турбулентной диффузией водяного пара, которая возрастает с усилением скорости ветра (на ветру быстрее высыхают мокрые предметы).

Экспериментально испарение с поверхности почвы определяют обычно с помощью почвенного испарителя ГГИ-500-50. Расчеты проводятся по формуле

$$E_0 = 20(M_1 - M_2) + R - m, \quad (1.16)$$

где M_1 — начальная масса испарителя, кг; M_2 — масса испарителя при последующем взвешивании, кг; R — количество выпавших осадков за период между взвешиваниями, мм; m — количество просочившейся воды в водосборный сосуд испарителя, мм; 20 — коэффициент для перевода количества испарившейся воды из килограммов в миллиметры.

Масса испарившейся влаги слоем 1 мм с площади 1 м^2 равна 1 кг. На рис. 1.17 приведена карта среднего годового испарения (см) для территории Российской Федерации и сопредельных государств.

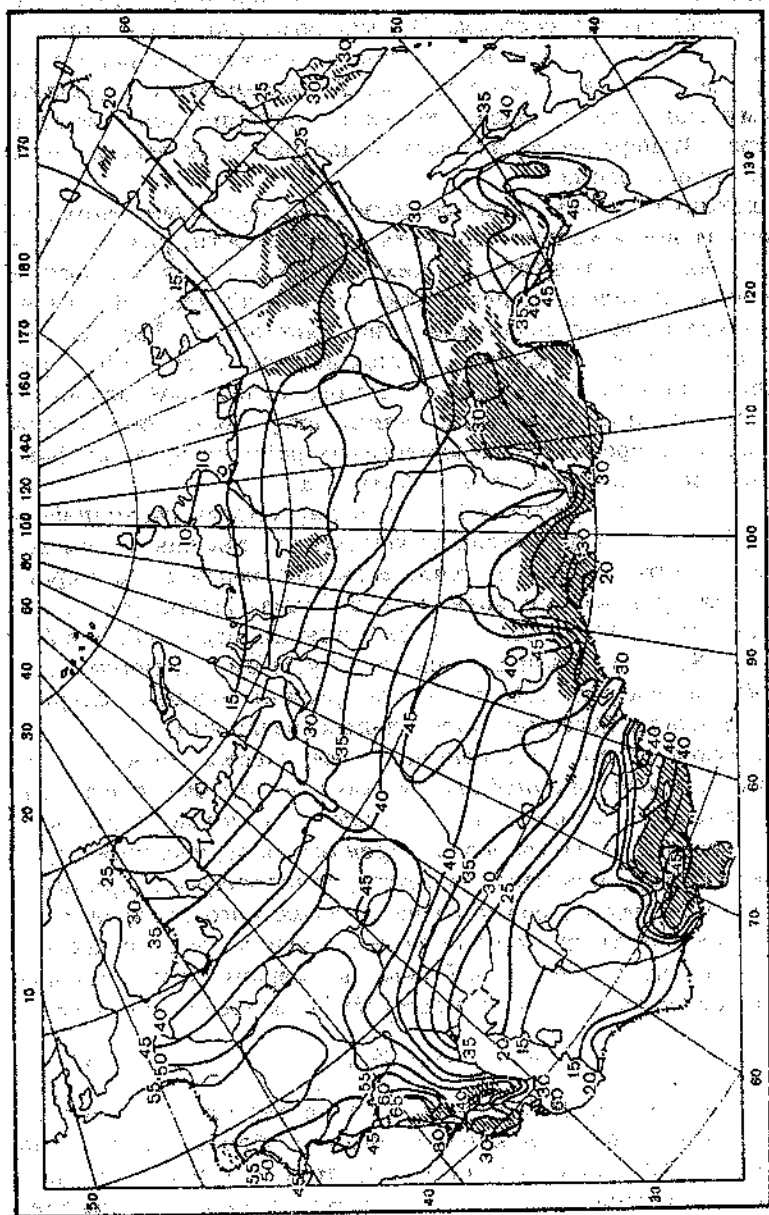


Рис. 1.17. Среднее годовое испарение (мм) на территории Российской Федерации и сопредельных государств
(по Л. И. Зубенок, 1976)
Штриховкой отмечены горные районы

Испаряемостью называется потенциально возможное испарение с поверхности воды или переувлажненной почвы при данных метеорологических условиях. Это максимальное испарение, не ограниченное ресурсами влаги, за единицу времени, характерное для конкретного места и времени года. Испаряемость определяют различными методами и выражают слоем испарившейся воды в миллиметрах. Испаряемость над водной поверхностью всегда равна фактическому испарению.

При влажности почвы ниже состояния ее переувлажнения испарение оказывается меньше значения испаряемости, разность между ними увеличивается (при прочих равных условиях) с ростом сухости почвы. В условиях недостатка почвенной влаги фактическое испарение мало по сравнению с испаряемостью. Так, например, в условиях сухих и жарких среднеазиатских пустынь испарение с водной поверхности Аральского моря вследствие большого дефицита насыщения и высоких температур составляет около 1200 мм/год, в то время как во внутренних районах пустынь фактическое испарение не превышает 200 мм/год.

На европейской территории России испаряемость увеличивается в направлении с северо-запада на юго-восток, так как в этом направлении возрастают ресурсы тепла и сухость воздуха. Для сравнения: средняя годовая испаряемость в Санкт-Петербурге равна 320 мм, в Москве — 417, в Одессе — 584, в Волгограде — 820, в Астрахани — 850, в южных районах пустыни Каракумы — 1500...1700 мм. На рис. 1.18 показана средняя годовая испаряемость на территории России и сопредельных государств.

Фактическое испарение с единицы поверхности почвы и растительного покрова (транспирация плюс испарение влаги, задержанной растительностью при выпадении осадков) в единицу времени называют суммарным испарением; в зарубежной научной литературе этому понятию соответствует эвапотранспирация.

Наиболее простым способом расчета суммарного испарения E_0 (мм) с сельскохозяйственного поля является использование данных о количестве выпавших осадков R (мм) за выбранный период времени и разности начальных W_n и конечных W_k запасов влаги (мм):

$$E_0 = R + (W_n - W_k). \quad (1.17)$$

Значение испарения (E_0) с поверхности сельскохозяйственного поля при оптимальном увлажнении почвы удобно определять по графику (рис. 1.19) связи величины E_0 с температурой воздуха и парциальным давлением (упругостью) водяного пара, предложенному А. Р. Константиновым (1968). Для этого на осях графика откладываются значения парциального давления водяного пара и температуры воздуха. Точкой пересечения перпендикуляров, вос-

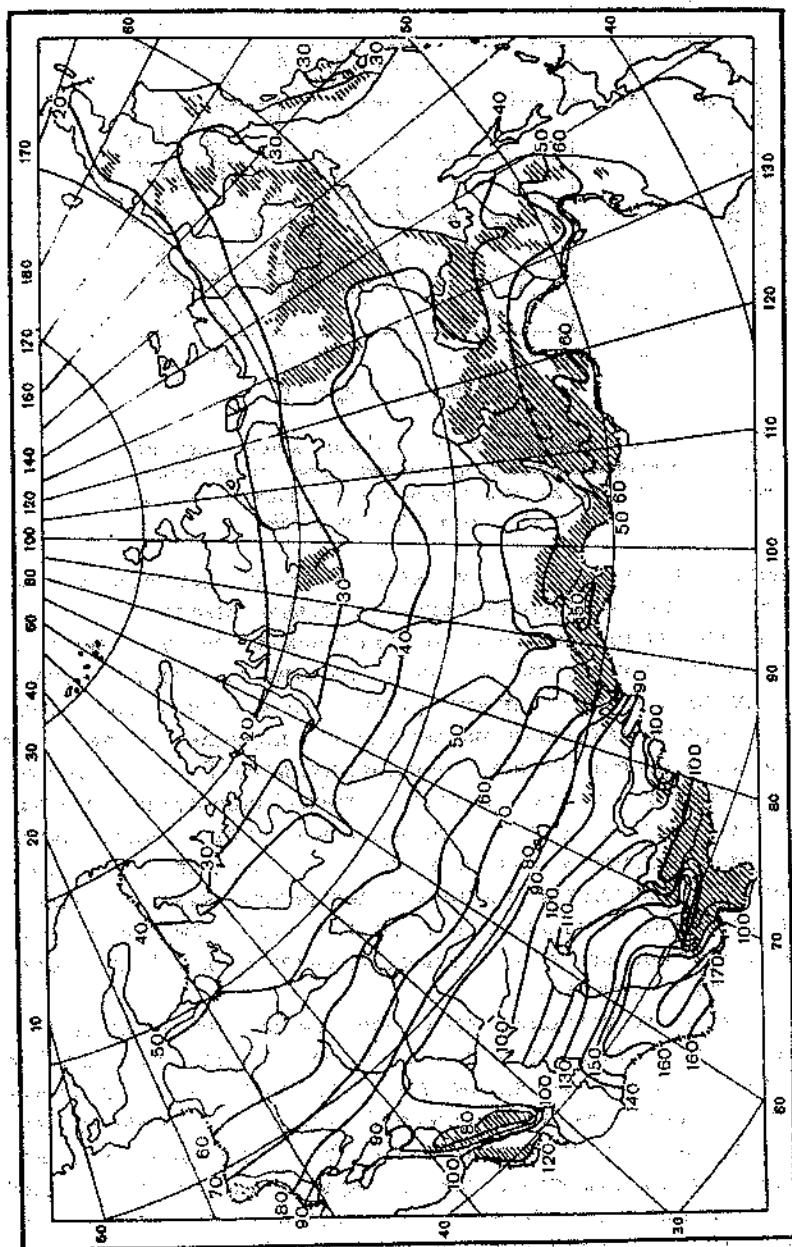


Рис. 1.18. Средняя годовая испаряемость (см) на территории Российской Федерации и сопредельных государств (по Л. И. Зубенок, 1976)

Штриховкой отмечены горные районы

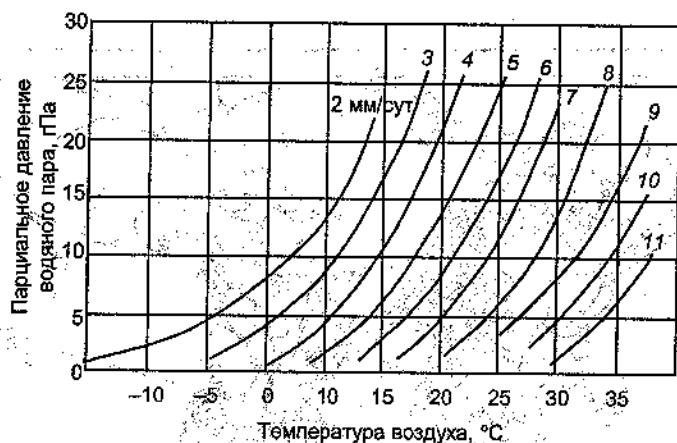


Рис. 1.19. Зависимость максимально возможного испарения с сельскохозяйственного поля при оптимальном увлажнении почвы от температуры воздуха и парциального давления водяного пара (по А. Р. Константинову, 1968)

становленных из этих точек, является искомое значение максимально возможного испарения (испаряемости) в мм/сут.

Суммарное испарение с сельскохозяйственных полей зависит от характера погодных условий, от биологических свойств растений и фазы их развития, от мощности (плотности и ярусности) растительного покрова, от степени развитости его корневых систем и от применяемой агротехники возделывания культур. В начале вегетации, когда испаряющая поверхность растений еще незначительна, испарение с поверхности почвы больше, чем с поверхности растений. В период максимума развития листовой поверхности растений расход воды на транспирацию превышает физическое испарение с поверхности почвы, поскольку по мере нарастания фитомассы увеличивается степень затенения почвы, ослабляется диффузия водяных паров в среде растений.

В естественных условиях испарение происходит непрерывно, однако скорость испарения имеет ярко выраженный суточный и годовой ход. Максимум испарения наступает в 13...14 ч, когда наиболее велики температура испаряющей поверхности, дефицит водяного пара и скорость приземного ветра. В ночные часы, когда испаряющая поверхность имеет более низкую температуру, дефицит насыщения и скорость ветра малы, скорость испарения снижается до нуля и даже до отрицательных значений. В последнем случае испарение сменяется процессом конденсации, т. е. выделения водяного пара из атмосферы на земную поверхность.

Суточный ход испарения наиболее отчетливо выражен в теплый период года. В годовом ходе испарения в Северном полушарии максимум отмечается в июле, минимум — в ноябре—декабре. С высотой количество водяного пара в атмосфере быстро убывает, и годовой ход испарения сглаживается. Суточный и годовой ход испарения соответствует суточному и годовому ходу дефицита влажности воздуха и температуры воздуха.

Транспирация. Испарение воды растениями называется *транспирацией* (от лат. *trans* — сквозь, через и *spiratio* — дыхание). Это — сложный физический и физиологический процесс, зависящий от условий окружающей среды: освещенности, температуры и влажности воздуха и почвы, силы ветра, а также от биологических особенностей видов, сортов и фазы развития растений. Внутри органов растения вода испаряется с поверхности клеток. В межклеточном пространстве вода сначала переходит из жидкой фазы в парообразную, а затем водяной пар улетучивается через устьица — особые отверстия, находящиеся в основном на листовой поверхности, — в прилегающий к растениям слой воздуха (устьичная форма транспирации).

Корневая система всасывает влагу из почвы и по проводящим сосудам снабжает все органы растения водой и элементами минерального питания, растворенными в ней. Транспирация происходит также и через покровные ткани (кутикулу) стеблей, плодов и даже остей злаковых культур (кутикулярная транспирация). Однако интенсивность их транспирации в 10...20 раз ниже транспирации через устьица. Интенсивность транспирации (E_L) прямо пропорциональна разности между концентрациями водяного пара у испаряющих поверхностей и в прилегающей атмосфере (ΔC , г/см³), площади испаряющей поверхности (A) и обратно пропорциональна сумме диффузных сопротивлений устьиц и кутикулы ΣR :

$$E_L = \Delta C A / \Sigma R. \quad (1.18)$$

В условиях достаточного увлажнения на свету устьица открываются больше и испарение увеличивается. При недостаточных запасах влаги в почве устьица едва приоткрыты, испарение снижается; в условиях жесткого дефицита почвенной влаги устьица плотно закрыты. Таким образом, растение регулирует интенсивность транспирации, экономит (при необходимости) влагу, поддерживая в определенных пределах положительный водный баланс. Транспирация поддерживает ткани растения на уровне некоторой недостаточности насыщения водой, что способствует сохранению сосущей силы клеток и постоянному току воды от корней к стеблям и листьям. В процессе транспирации снижается температура поверхности

листьев, особенно находящихся под прямыми солнечными лучами, поэтому она оказывается ниже температуры окружающего воздуха.

Расход воды на транспирацию обычно выражают через показатель, называемый *коэффициентом транспирации*, или *транспирационным коэффициентом*. Это отношение массы воды, расходуемой растением путем транспирации, к массе сухого вещества (биологическому урожаю) за вегетационный период или иной межфазный период. Коэффициент транспирации неодинаков у различных видов и сортов растений; например, озимая пшеница испаряет до 500 г воды на создание 1 г сухого вещества, а просо 220...250 г. Его значение зависит также от состояния и фазы развития растения, от состояния внешней среды: солнечной радиации, температуры и влажности воздуха и почвы, силы ветра и других факторов. Прямая солнечная радиация усиливает испарение, ветер уносит воздух, обогащенный водяным паром, на смену которому поступает более сухой, усиливающий процесс испарения.

Интенсивность транспирации определяется количеством воды, испаряемой растением с единицы поверхности за единицу времени ($\text{мг}/(\text{дм}^2 \cdot \text{ч})$). В значительной мере интенсивность транспирации зависит от запасов влаги в корнеобитаемом горизонте почвы. При прочих равных условиях она снижается с уменьшением влажности почвы. Помимо регулирующей функции интенсивности транспирации устьицами, многие растения в процессе эволюции выработали признаки, способствующие сокращению испарения в засушливых условиях и экономному расходованию влаги, например: различные формы опущения поверхности листьев и побегов, сокращение площади листовой поверхности, изменение ориентации плоскости листьев с целью меньшего попадания на них прямых солнечных лучей и многие другие.

Условия внешней среды определяют суточный и сезонный ход интенсивности транспирации: максимальная транспирация отмечается в полуденные часы в летний период, минимальная — в предутренние часы и в зимний период (у зимующих растений и плодовых культур). В зависимости от погодных условий, сезона года, запасов воды в корнеобитаемых горизонтах почвы, количества питательных веществ, а также от биологических факторов — вида и сорта растений, их фазы развития и условий агротехники — коэффициент транспирации большинства сельскохозяйственных культур умеренного климата сильно изменяется (табл. 1.11). По данным А. М. Алпатьева (1954), амплитуда коэффициентов транспирации ряда сельскохозяйственных культур в зависимости от сорта варьирует в следующих пределах: просо — 27 %, кукуруза — 31, пшеница — 41, хлопчатник — 45, люцерна — 48, сорго и рис — 60, сахарный тростник — 276 %.

Таблица 1.11

Значения коэффициентов транспирации различных культур
(по А. М. Алпатеву, 1954)

Культура	Коэффициент транспирации	Культура	Коэффициент транспирации
Пшеница	217...755	Клевер	159...1108
Овес	258...676	Подсолнечник	290...705
Ячмень	257...774	Бобы	209...736
Горох	259...782	Картофель	167...659
Гречиха	363...646	Хлопчатник	350...1651
Просо	162...447	Сахарный тростник	125...350
Сорго	204...298	Листопадные деревья	400...600
Кукуруза	174...406	Сахарная свекла	227...670
Люцерна	446...1210	Лен	400...500

Водный баланс растения считается уравновешенным, если поглощение воды корневой системой, проведение влаги (по сосудам, клеткам и межклеточным пространствам) и расход воды на физиологические процессы и транспирацию оказываются равными. Он становится отрицательным, когда поступление воды не покрывает ее потери. В таких случаях устьичные отверстия уменьшаются, в результате снижается интенсивность транспирации при прежнем, недостаточном, поступлении воды в растение, и на некоторое время водный баланс становится положительным.

Днем в естественных условиях водный баланс почти всегда нарушается, а его выравнивание происходит в ночные часы, если запасы влаги в корнеобитаемых горизонтах почвы для этого достаточны.

Суммарное количество воды, транспирируемой растением в единицу времени, при условии, что интенсивность транспирации всей листовой поверхности растения (E_p), может быть представлено в следующем виде:

$$E_p = E_L S_L, \quad (1.19)$$

где S_L — площадь листьев растения, см²; а E_L — интенсивность транспирации с единицы площади листа, рассчитываемая по формуле (1.18).

Биологические кривые водопотребления. Исследованиями А. М. Алпатьева установлено, что режим потребления воды растениями определяется биологическими потребностями растений в зависимости от фазы их развития и экологическими условиями, обеспечивающими развитие растений. Поэтому общая потребность растений во влаге определяется двумя составляющими: биологиче-

ской и экологической. Биологическая составляющая выражает влияние ритмов развития на режим потребления воды растениями, в том числе на создание биомассы. Экологическая составляющая характеризует влияние климатических условий на режим потребления воды, которое должно рассматриваться на фоне оптимальной влагообеспеченности и питания растений.

Биологические кривые водопотребления выражаются коэффициентами K , изменяющимися в течение вегетационного периода от декады к декаде или от фазы к фазе развития растений. Значения K рассчитываются путем деления валового (общего) расхода воды q (транспирация растений плюс испарение с поверхности почвы при ее оптимальной влажности) за декадный или межфазный период на сумму дефицитов влажности воздуха Σd за те же периоды:

$$K = q / \Sigma d. \quad (1.20)$$

Средние значения переменных коэффициентов биологической кривой водопотребления, полученные на многолетних опытах в Ленинградской области, приведены в табл. 1.12.

Таблица 1.12

Средние коэффициенты (безразмерные) биологических кривых водопотребления (по А. М. Алпатьеву, 1969)

Культура	Порядковый номер декады вегетации									Среднее
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Ячмень	0,4...0,6	0,54	0,60	0,66	0,71	0,77	0,73	0,66	0,58	0,64
Картофель	0,3...0,6	0,4...0,6	0,56	0,64	0,70	0,76	0,73	0,65	0,54	0,60

Для расчета расходов влаги на испарение в условиях достаточной влагообеспеченности следует сумму средних суточных дефицитов влажности воздуха за декаду вегетации умножить на коэффициент биологической кривой водопотребления, соответствующий той же декаде:

$$q = K \Sigma d. \quad (1.21)$$

Дефицит влажности воздуха при расчетах удобнее выражать не в гектопаскалях, а в миллиметрах; это дает возможность вести расчеты водного баланса и водного режима в тех же единицах, что и атмосферные осадки.

В процессе своего развития (от фазы к фазе) растения неодинаково реагируют на уровень влагообеспеченности. Если прохождение отдельных фаз развития совпадает с условиями недостаточной влагообеспеченности, то растения значительно снижают уровень своей

конечной продуктивности. Впервые это явление было замечено Н. И. Броуновым (1912), который назвал такие периоды в жизни растений *критическими*. Так, для большой группы яровых и зерновых культур *критическим периодом* является межфазный период „выход в трубку — колошение”, для кукурузы — „выметывание — молочная спелость”, подсолнечника — „образование корзинки — цветение”, хлопчатника — „цветение — образование коробочек”, картофеля — „цветение — формирование клубней”, томатов — „образование — созревание плодов” и т. п. В целом для многих сельскохозяйственных культур недостаток влагообеспеченности в период закладки и образования репродуктивных органов является *критическим*.

Конденсация водяного пара. *Переход водяного пара в жидкое состояние называется конденсацией.* При конденсации образуются мельчайшие капли воды, размеры которых составляют несколько микрометров. При их слиянии образуются более крупные капли. В атмосфере с понижением температуры воздуха до точки росы водяной пар достигает состояния насыщения. При дальнейшем понижении температуры избыток водяного пара (сверх уровня насыщения) переходит в жидкое состояние. Воздух, не насыщенный водяными парами, при подъеме вверх охлаждается адиабатически вследствие его расширения (без отдачи тепла в окружающую среду) в среднем на 1 °C на каждые 100 м подъема. При подъеме воздуха на 1...2 тыс. м начинается процесс конденсации. Росту зародышевых капель способствует наличие в воздухе продуктов неполного сгорания топлива, пыли и других подобных частиц, называемых *ядрами конденсации*.

Превращение водяного пара в твердое состояние, минуя жидкую фазу, называется сублимацией. Конденсация и сублимация происходят как в атмосфере, так и на земной поверхности. В зависимости от условий охлаждения образуются различные продукты конденсации. В свободной атмосфере в результате конденсации образуются различные формы облаков, у земной поверхности — туманы; на поверхности земли и предметах — роса, жидкий налет, иней, твердый налет, изморозь, гололед.

Роса — это мельчайшие капли воды, образовавшиеся на поверхности земли, растительного покрова, поверхностях предметов в ночные безветренные часы в теплое время года при отсутствии туманов. Образование росы происходит в результате радиационного охлаждения, когда температура деятельной поверхности и прилегающего к ней воздуха опускается до точки росы выше 0 °C, и сконденсировавшийся пар выделяется на поверхностях в виде мелких капель воды. Роса имеет немалое значение для жизнедеятельности растений, особенно в засушливых регионах, где за

теплый период ее суммарное выделение из воздуха достигает 10...30 мм (100...300 м³/га). В средней полосе России суммарное выделение росы незначительно, оно достигает всего нескольких миллиметров; в отдельные ночи может образоваться 0,1...0,5 мм (0,1...0,5 л/м²). В теплых и влажных тропических регионах, характеризующихся высоким содержанием влаги в воздухе, росы прибавляют к осадкам около 40 мм в год.

В заморозкоопасных районах ночные росы оказывают полезное влияние, поскольку их образование связано с выделением скрытой теплоты парообразования, замедляющей процесс выхолаживания, благодаря которому возможно предотвращение слабого заморозка или снижение его интенсивности. Однако в период уборки зерновых культур росы затрудняют работу комбайнов, так как солома и зерно вследствие высокой гигроскопичности становятся влажными, зерно плохо вымолачивается из колосьев, а солома забивает барабан молотилки комбайна. Поэтому рабочие часы комбайнов начинаются после просыхания стеблей и скошенных валков и продолжают за частую до глубокой ночи, когда вновь происходит выделение (обычно неправильно говорят — выпадение) росы.

Туманы — это скопление непосредственно над поверхностью земли продуктов конденсации или сублимации (или и тех и других вместе), взвешенных в воздухе (рис. 1.20). Вследствие гигроскопичности ядер конденсации, всегда присутствующих в воздухе, образование тумана начинается при относительной влажности воздуха около 90...95 %, т. е. еще до достижения точки росы. Роль туманов в жизни растений различна. Так, в периоды поздневесенних и раннеосенних заморозков туманы сдерживают процесс выхолаживания подстилающей поверхности; при выделении теплоты конденсации (при образовании туманов) предотвращаются или несколько снижаются возможности возникновения *радиационных заморозков* (см. раздел 2.1). В другие периоды вегетации растений туманы оказывают неблагоприятное влияние. Например, в период цветения высокая относительная влажность туманов задерживает вызревание пыльцы, препятствует лету насекомых, что снижает эффективность опыления и образования завязей у растений. В период формирования нижнего междоузлия озимых и яровых зерновых культур туманы обуславливают формирование крупноклеточного строения их тканей, вследствие чего снижается устойчивость растений к полеганию в летние предуборочные декады.

Туманы, образующиеся в период формирования и созревания плодов, ухудшают их сохранность (лежкость) и снижают качество. Туманы, так же как и роса, могут вызвать *истечение зерна* (см. раздел 2.4). Они также способствуют развитию грибковых заболеваний сельскохозяйственных растений. Чем продолжительнее туман, тем интенсивнее степень поражения растений грибковыми болезнями.

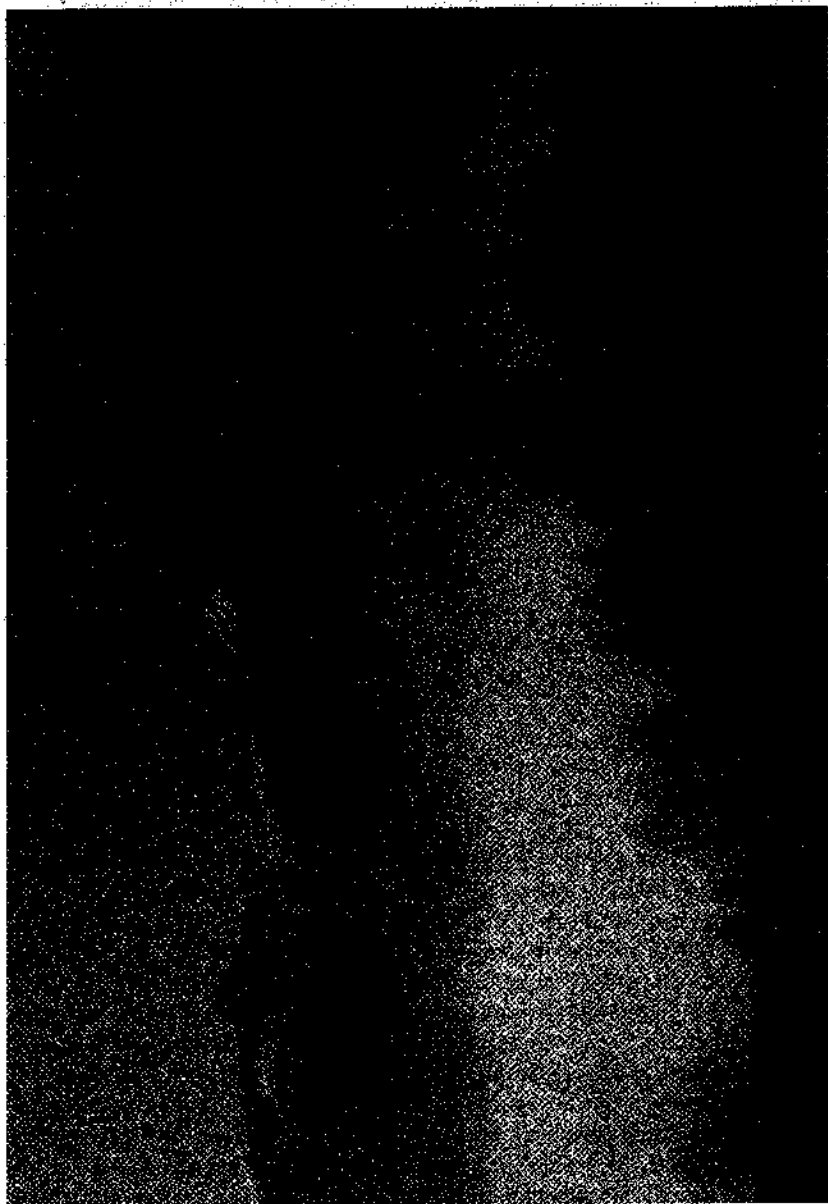


Рис. 1.20. Туман, образовавшийся в утренние часы в долине реки Ала-Арча, Киргизский хребет (фото И. Г. Грингофа)

Изморозь — это рыхлые снегообразные, ледяные кристаллы, образующиеся в любое время суток обычно на выступах и краях предметов, растений с наветренной стороны при морозе ниже минус 15 °С, при тумане и слабом ветре в результате сублимации водяного пара, содержащегося в воздухе. Это так называемая кристаллическая изморозь, которая легко осыпается при порывах ветра, после восхода солнца или при встряхивании. Такой вид изморози практически не опасен для растений, так как не бывает большой интенсивности, но является небольшим дополнительным источником увлажнения поверхности почвы.

Изморозь, образующаяся с наветренной стороны предметов за счет намерзания капель переохлажденного тумана, называется **зернистой изморозью**. Ее отложения в виде плотного льда могут достигать в толщину многих сантиметров; масса нарастающего льда часто ломает скелетные ветви и даже целиком взрослые деревья, наносит значительный ущерб плодовым насаждениям (сады), лесопосадкам в парках, защитным полосам и т. п.

1.4. Ветер и его роль в жизни растений

Ветром называется движение воздуха относительно земной поверхности. Причиной возникновения ветра является неравномерное распределение давления воздуха на поверхности Земли, связанное с неодинаковым нагревом участков суши и водных пространств. В зависимости от географической широты и долготы, рельефа, высоты над уровнем моря, от характера подстилающей поверхности одни участки суши нагреваются больше, чем другие. Возникающая при этом разность температур приводит к различиям в давлении воздуха.

Ветер численно характеризуется **скоростью** (м/с, км/ч, баллы), а также направлением, выражаемым в градусах или румбах. За направление ветра принимают ту часть горизонта, откуда дует ветер. Обычно и скорость и направление ветра варьируют в большей или меньшей степени вследствие турбулентности воздушного потока. Повторяемость различных направлений ветра за выбранный промежуток времени (месяц, сезон, год) анализируется с помощью специальных графиков, называемых **розой ветров** (рис. 1.21).

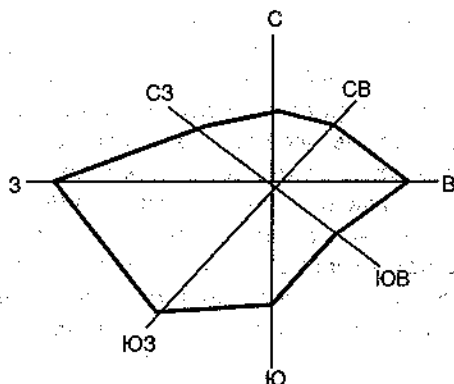
Значение ветра в сельскохозяйственном производстве велико и разнообразно. Например, слабые ветры способствуют переносу пылицы, оплодотворению и образованию семян (плодов) ветроопыляемых растений, подсыханию переувлажненных верхних слоев почвы, скошенным валков зерновых культур и т. п. Степень влияния ветра на растения и животных, на состояние почвенного покрова зависит от скорости и продолжительности ветра, особенно при

Рис. 1.21. Роза ветров

сочетании с другими метеорологическими факторами: температурой, осадками, солнечной радиацией. Высокие скорости ветра вызывают усиление транспирации растений, интенсивную потерю влаги из верхних горизонтов почвы, ее механическое разрушение (ветровая эрозия), полегание посевов, обрыв цветков и пло-

дов; препятствуют лету насекомых-опылителей растений, проведению сеноуборочных работ (см. главу 2). В зимнее время сильные ветры способствуют перераспределению снежного покрова на полях, незащищенных специальными заградительными средствами типа полевых лесных полос и кулис. Снег сдувается в овраги и балки, под воздействием ветра обнажаются корни зимующих культур и растения вымерзают (см. раздел 3.2).

В южных регионах сильные снегопады в сочетании с ветром и низкими температурами воздуха затрудняют и даже полностью исключают возможность выпаса скота на пастбищах, используемых круглогодично, препятствуют своевременному подвозу кормов и т. д. (см. раздел 3.4).



1.5. Почвенная влага и ее влияние на сельскохозяйственное производство

Почва — это природное образование, состоящее из генетически связанных почвенных горизонтов, формирующихся в результате преобразования поверхностных слоев горных пород и рельефа под воздействием воды, воздуха и живых организмов.

Почва состоит из твердой, жидкой, газообразной и живой частей, соотношение которых в различных почвах неодинаково. Твердая часть почвы — это совокупность почвенных частиц различного размера: камни, гравий, песок, суглинок, глина, ил, коллоиды. Относительное содержание в почве неагрегированных частиц различного размера характеризует механический, или гранулометрический, состав почвы. От этого состава зависят такие физические характеристики почвы, как водопроницаемость, влагоемкость, теплопроводность и др. Эта важнейшая генетическая и агрономическая характеристика почвы обуславливает ее техноло-

гические свойства: твердость, липкость, связность пласта и, следовательно, качество вспашки, сопротивление почвы при ее механической обработке. При описании почвы в полевых условиях всегда дается характеристика механического состава почвы: в лабораторных условиях твердая часть делится на фракции по размеру почвенных частиц, самые мелкие из которых — почвенные коллоиды — имеют диаметр менее 0,0001 мм.

Почва обладает особым свойством — плодородием, отличающим ее качественно от любых других видов природных субстратов. *Плодородие — это совокупность свойств почвы удовлетворять потребность растений в питательных веществах, влаге, воздухе, микробиологической и физико-химической среде, которые обеспечивают формирование органического вещества растений, в том числе сельскохозяйственных культур.*

Почвенной влагой называется вода, содержащаяся в почве в жидком, твердом и газообразном (парообразном) состоянии. Влага, находящаяся в корнеобитаемых горизонтах почвы, является основным источником водоснабжения растений. Поглощенная корнями вода с растворенными в ней питательными веществами поступает в ткани растения, участвует в физиологических процессах фотосинтеза, транспирации, в построении органических соединений, в поддержании тургора листьев, стеблей, обеспечивает терморегуляцию растительного организма. Почвенная влага является одним из незаменимых факторов жизни растений.

Запасы почвенной влаги формируются и пополняются в основном за счет атмосферных осадков или орошения, широко применяемого в засушливых регионах. Поглощение воды почвой, просачивание осадков в нижележащие горизонты почвы, испарение влаги с поверхности почвы и транспирация растений в конкретных условиях определяют особенности водного режима почвы.

Водный режим почвы — это совокупность процессов, обуславливающих приход, передвижение, расход и использование растениями почвенной влаги в определенный промежуток времени (год, сезон, месяц, декада). Водный режим почвы является одним из факторов плодородия почвы. Этот режим определяется водно-физическими свойствами почвы, климатическими и погодными условиями, особенностями рельефа местности, применяемой агротехникой и биологическими свойствами возделываемых сельскохозяйственных культур. Взаимодействие воды с почвой, механизмы передвижения почвенной влаги и ее усвоение растениями в почвах, различных по механическому составу, структуре, порозности, происходит неодинаково. Почва представляет собой дисперсное тело, состоящее из большого числа частичек различных размеров и формы. В природных условиях элементарные частицы почвы обычно

коагулируют и образуют агрегаты — структурные отдельности (зернистые, ореховидные, пластинчатые и др.), которые, в свою очередь соединяясь друг с другом, образуют более крупные и сложные агрегаты. Между почвенными частицами внутри агрегатов существует система пор, которые заполняются воздухом и водой. Почвенная влага, находящаяся в порах различных размеров и формы, имеет огромную поверхность раздела, содержит как положительные, так и отрицательные ионы. Это обуславливает неоднородность физических и химических свойств содержащейся в почве влаги. Свойства почвенной влаги значительно отличаются от свойств жидкой свободной воды.

Агрогидрологические свойства почвы. В основу установления водно-физических свойств почвы положен принцип разделения почвенной влаги по степени связности, подвижности и ее доступности для растений. Выделяют три различные по физическим и химическим свойствам категории почвенной влаги: *связанную, капиллярную и гравитационную.*

Связанная влага — часть почвенной влаги, которая находится под влиянием сорбционных сил. Известно, что абсолютно сухая почва, высушенная, например, в термостате до постоянной массы, обладает способностью поглощать водяной пар из воздуха (с относительной влажностью не выше 98 %), т. е. сорбировать парообразную влагу, находящуюся в воздухе (атмосфере). Это свойство почвы называют *гигроскопичностью*. *Количество влаги, которое способна удерживать обезвоженная почва, называется гигроскопической влажностью. Наибольшее количество воды, которое почва может поглотить из атмосферного воздуха, насыщенного парами воды, называется максимальной гигроскопической влажностью, или максимальной гигроскопичностью (МГ).* Значение МГ зависит от механического состава почвы: чем меньше размеры частиц почвы, тем больше площадь их общей поверхности и тем больше сорбируется на ней парообразной влаги. В почвах она варьирует обычно в пределах 2...15% и превышает гигроскопическую влажность не более чем в 2 раза.

С увеличением относительной влажности воздуха содержание гигроскопической влаги возрастает. На поверхности почвенных частиц эта влага образует слой, состоящий из многих слоев молекул воды и удерживаемый силами молекулярного сцепления, которые очень велики и создают повышенную плотность воды у поверхности почвенных частиц. Вода, содержащаяся в этом слое, по терминологии А. А. Роде, называется *прочносвязанной влагой*. Максимальные значения плотности внутренних слоев связанной воды достигают 1,4...1,7 г/см³. Прочносвязанная влага недоступна для корневых систем растений, поскольку между молекулами адсорби-

рованной воды и поверхностью почвенных частиц существует мощное силовое поле — от 50 до десятков тысяч атмосфер*. Такая влага не обладает электропроводностью, не растворяет электролиты и другие вещества, растворяющиеся в обычной воде, она перемещается только в парообразной фазе.

По мере нарастания новых слоев молекул воды (при относительной влажности воздуха 100 %) и удаления от адсорбирующей поверхности почвенных частиц свойства связанной воды меняются: ее внешние слои удерживаются уже меньшей силой. Этот вид почвенной влаги называется *рыхлосвязанной*; она покрывает частицы почвы слоем, лежащим над слоем прочносвязанной воды. По своим свойствам она приближается к свойствам обыкновенной воды; в почвенных порах она постепенно переходит в свободную воду. Рыхлосвязанная вода обладает пониженной растворяющей способностью и подвижностью. В почве она перемещается под действием молекулярных сил от частиц с водяной пленкой большей толщины к частицам с пленкой меньшей толщины, поэтому рыхлосвязанную воду иногда называют *пленочной почвенной влагой*.

Капиллярной влагой называется свободная вода, удерживаемая или передвигающаяся в почве под влиянием капиллярных (менисковых) сил. Капиллярные силы определяются главным образом размерами и формой почвенных пор, а также свойствами почвенного раствора. Капиллярная влага находится поверх пленочной и удерживается в почве силой около 500 гПа. Температура ее замерзания около 0 °С. Это подвижная форма воды, способная растворять вещества, содержащиеся в частичках почвы. Она доступна для всасывания корнями волосками растений. Поступающая на поверхность почвы вода (дождевая, талая, оросительная) просачивается внутрь; поры и капилляры почвы, вытесняя воздух, постепенно заполняются водой. По мере увеличения массы поступающей воды мощность промоченного слоя почвы увеличивается. *Свободная и связанная влага, длительно удерживающаяся в почве сорбционными и менисковыми силами в малоподвижном состоянии и не соединенная с грунтовыми водами (водоносным горизонтом), называется капиллярно-подвешенной влагой.*

Влага, поступающая по почвенным капиллярам снизу вверх, от водоносных горизонтов, которые как бы подпирают ее, называется *капиллярно-подпертой влагой*. Слой почвы, насыщенный капиллярно-подпертой влагой, над зеркалом (уровнем) грунтовых вод, называют *капиллярной каймой*. В условиях, когда слои капиллярно-подвешенной и капиллярно-подпертой влаги смыкаются (между ними не остается прослойки сухой почвы), грунтовая вода

* 1 атмосфера равна приблизительно 1000 гПа.

поднимается по капиллярам к поверхности почвы и испаряется. Минерализованные грунтовые воды обогащают почву солями, что в условиях высоких температур воздуха и поверхности почвы способствует засолению и осолонцеванию почв.

Влага, свободная от влияния сорбционных и капиллярных сил, заполняющая некапиллярные промежутки между агрегатами почвы, передвигающаяся или способная к нисходящему передвижению под действием силы тяжести, называется свободной гравитационной влагой. Эта влага, свободно перемещающаяся под влиянием силы тяжести (гравитации), способна растворять и переносить соли, коллоиды, суспензии по почвенным горизонтам, она легко доступна для корневых систем растений. Однако при заполнении практически всех пор и полостей между почвенными агрегатами вода вытесняет почвенный воздух и создает анаэробные (т. е. безвоздушные) условия, губительные для большинства сельскохозяйственных культур (кроме риса и некоторых др.). При этом могут начаться процессы заболачивания почвы. Если на пути просачивающейся гравитационной воды встречается водоупорный слой, вода накапливается над ним, заполняя свободные почвенные поры вышележащего слоя почвы. Такая влага называется *гравитационной подпертой влагой*. *Условный уровень грунтовых вод в почвенной толще называется зеркалом грунтовых вод.*

Физические и химические свойства гравитационной воды и свободной воды аналогичны.

Корневая система растений обладает способностью нагнетать влагу в ткани растения благодаря внутриклеточному давлению клеточного сока. Это так называемое *осмотическое давление*. В природных условиях осмотическим силам противодействуют силы, удерживающие влагу в почве. Когда осмотическое давление клеточного сока превышает давление в почвенной среде, почвенная влага, соприкасаясь с корневыми волосками, начинает поступать в растение. Возможность использовать ту часть почвенной влаги, которая не соприкасается с корнями растений, зависит от возможностей поступления влаги к корневым волоскам. А взаимодействие влаги с почвой и ее передвижение в различной по механическому составу, структуре и порозности почве происходит, как было отмечено, неодинаково и зависит от водно-физических свойств почвы.

Водно-физические свойства почвы, характеризующие влагообеспеченность сельскохозяйственных культур и естественной растительности, в агрометеорологии называются агрогидрологическими свойствами почвы. Используя данные об агрогидрологических свойствах почвы, в общем количестве содержащейся в почве влаги определяют ту ее часть, которая участвует в жизнедеятельности растений и формировании продуктивности растений.

Для этого на агрометеорологических и отдельных метеорологических станциях, на наблюдательных участках проводятся полевые (затем лабораторные) определения нескольких видов агрогидрологических свойств почвы: плотность (объемная масса) почвы, капиллярная или наименьшая влагоемкость почвы, влажность устойчивого завядания, максимальная гигроскопичность, механический состав, плотность твердой фазы (удельная масса) почвы, — а затем вычисляются значения непродуктивной влаги, общей скважности и полной влагоемкости почвы. В основу их количественного определения положены принципы разделения почвенной влаги по степени ее связности, подвижности и доступности растениям. Агрогидрологические свойства почвы зависят от типа почвы, глубины слоя (почвенного горизонта), способов обработки почвы.

Плотность почвы (ПП), ранее называвшаяся объемной массой почвы, — это масса единицы объема абсолютно сухой почвы ненарушенного сложения. Она вычисляется путем деления массы почвы, высушенной при температуре 105°C (в граммах), на объем в кубических сантиметрах (г/см^3). Плотность почвы пахотных горизонтов зависит также от способа и времени обработки почвы и колеблется в пределах $0,8...1,5 \text{ г/см}^3$. Значение ПП подпахотных горизонтов минерализованных почв в зависимости от степени оструктуренности почв и количества органических веществ варьирует от $1,0$ до $1,8 \text{ г/см}^3$. Торфяные почвы имеют значительно меньшую плотность, которая в зависимости от степени минерализации изменяется от $0,1$ до $0,6 \text{ г/см}^3$.

Капиллярная влагоемкость почвы (КВП) — это наибольшее количество капиллярно-подпертой влаги, которую почва может удерживать в слое над зеркалом грунтовых вод (в пределах слоя капиллярной воды). Она зависит от скважности почвы, материнской породы и глубины залегания грунтовых вод. Определяется капиллярная влагоемкость обычно в районах с близким залеганием уровня грунтовых вод. Определение проводится путем насыщения влагой монолита почвы, установленного на поверхности воды. Капиллярная влагоемкость выражается в процентах массы абсолютно сухой почвы. Капиллярная влага легко доступна растениям. Почва находится в липком состоянии, что затрудняет ее обработку.

Наименьшая влагоемкость почвы (НВП) — это максимальное количество подвешенной влаги, которое может удерживаться в однородной почвенно-грунтовой толще после ее избыточного увлажнения и стекания гравитационной влаги под действием силы тяжести при условии глубокого залегания уровня грунтовых вод (не менее 5 м). Значение НВП зависит от механического (гранулометрического) состава почвы, структуры и глубины слоя почвы; выражается в процентах массы абсолютно сухой почвы или

в миллиметрах (мм) водного слоя (табл. 1.13). При влажности, близкой к НВП, создаются условия с хорошей обеспеченностью растений влагой. Почва при этом находится в мягкопластичном состоянии, наиболее благоприятном для ее механической обработки.

Таблица 1.13

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

Полная влагоемкость почвы (ПВП) — это наибольшее количество воды, которое может содержаться в почве в условиях полного заполнения всех пустот и пор, когда уровень грунтовых вод достигает поверхности почвы и весь почвенный воздух вытеснен водой. ПВП наблюдается обычно весной, во время интенсивного таяния снега, когда верхние горизонты почвы оказываются перенасыщенными талыми водами, а нижележащие слои почвы еще не оттаяли. ПВП еще называют полной полевой влагоемкостью или наибольшей (предельной) влагоемкостью почвы. При полной влагоемкости почва находится в текучем состоянии, когда проведение полевых работ практически невозможно.

Влажность устойчивого завядания (ВУЗ) — это количество воды в почве, при котором появляются необратимые признаки завядания растений с нормально развитой корневой системой; тургор растений не восстанавливается в течение 12 ч в воздухе, насыщенном водяными парами, прекращаются рост и развитие растений. Значение ВУЗ зависит от гранулометрического состава почвы (размеров почвенных частиц) и количества гумуса в почве: чем мелкозернистее и богаче гумусом почва, тем выше ВУЗ. Зависимость значения ВУЗ от вида растений меньше, чем от типа почвы. В опытах П. А. Костычева и Д. В. Федоровского установлено, что разности значений ВУЗ для разных видов растений варьируют в пределах 2...4 %. Обычно значение ВУЗ определяется лабораторно-вегетационным методом, в качестве растений-индикаторов в специальных сосудах выращивают: овес, ячмень, хлопчатник, люцерну, клевер. Измеряется ВУЗ в процентах массы абсолютно сухой почвы или в миллиметрах. С целью упрощения использования данных о влажности устойчивого завядания условно принято считать ее постоянной для конкретного типа почвы (табл. 1.14).

Таблица 1.14

Влажность устойчивого завядания для почв различного гранулометрического состава (по С. А. Вериге, Л. А. Разумовой, 1973)

Гранулометрический состав почвы	Влажность устойчивого завядания (%)
Песок	0,5...1,5
Супесь	1,5...4,0
Суглинок	
легкий	3,5...7,0
средний	5,0...7,0
тяжелый	8,0...12,0
Глина	12,0...20,0
Торф низинного болота	40,0...50,0

Влажность устойчивого завядания примерно соответствует сумме влаги, содержащейся в прочно- и рыхлосвязанной воде данного типа почвы. Чаще всего значение ВУЗ превосходит максимальную гигроскопичность почвы в 1,1...2,2 раза. В тех случаях, когда ВУЗ не может быть определена лабораторно-вегетационным методом, она рассчитывается путем умножения значения максимальной гигроскопичности на осредненный коэффициент, равный 1,34. При запасах влаги в почве ниже влажности устойчивого завядания почва находится в твердопластичном состоянии, что затрудняет ее механическую обработку.

Влажность разрыва капилляров (ВРК) — это влажность почвы, при которой подвешенная влага, заполняющая капилляры, в процессе транспирации растений и испарения с поверхности почвы теряет способность передвигаться по капиллярам к испаряющей поверхности вследствие их разрыва. По значению ВРК находится в интервале между капиллярной влагоемкостью и влажностью устойчивого завядания; выражается в процентах от массы или объема почвы.

Плотность твердой фазы (ПТФ) — это масса почвенных частиц (органических и минеральных) в единице объема без воды и воздуха при сплошном заполнении этого объема или: отношение массы твердой фазы почвы к массе воды в том же объеме при температуре 4 °С; выражается обычно в граммах на кубический сантиметр (г/см³). Величина ПТФ используется при вычислении полной влагоемкости, скважности и при определении механического состава почвы.

Общая скважность почвы (ОСП) — это суммарный объем всех пор, выраженный в процентах от общего объема почвы с ненарушенной структурой. Иногда ОСП называют пористостью почвы.

Непродуктивная влага (НВ) или недоступная (для растений) влага, или неусвояемая (растениями) влага — это количество воды, содержащееся в почве, влажность которой меньше влажности устойчивого завядания; т. е. то количество почвенной влаги, которое удерживается сорбционными силами почвы, превышающими осмотическое давление клеточного сока корневых волосков растений. Это — часть почвенной влаги, которая не может быть поглощена (усвоена) растениями даже в состоянии их увядания, когда осмотическое давление клеточного сока наиболее высоко. Наибольшее содержание в почве НВ близко к уровню максимальной гигроскопичности, когда в почве находится только прочносвязанная вода. Значение НВ зависит от вида растений и условий их произрастания.

Продуктивная влага (ПВ) — это часть почвенной влаги, которая используется растениями в процессе их жизнедеятельности при синтезе органического вещества и формировании урожая. Нижним пределом ПВ является значение влажности устойчивого завядания. Значение ПВ находится в пределах от наименьшей влагоемкости почвы до влажности разрыва капилляров. Количество продуктивной влаги или ее запасы принято выражать в миллиметрах высоты (толщины) водяного слоя. В таком виде они сопоставимы с данными о количестве осадков и расходах воды на испарение. Запасы продуктивной влаги ($W_{пр}$) вычисляются по формуле, предложенной С. А. Вериги и Л. А. Разумовой (1973):

$$W_{пр} = 0,1dh(W - k), \quad (1.22)$$

где d — плотность почвы, г/см³; h — мощность (толщина) слоя почвы, см; W — влажность почвы (процент от массы абсолютно сухой почвы) в слое, для которого проводится расчет; k — влажность устойчивого завядания (процент от массы абсолютно сухой почвы); 0,1 — коэффициент для перевода запасов влаги в миллиметры водного слоя.

Запасы продуктивной влаги обычно рассчитывают по 10-сантиметровым слоям почвы (до глубины 50, 100, 150 см).

Экологический оптимум влажности почвы в агрономической и агрометеорологической практике иногда выражают в процентах наименьшей влагоемкости почвы. Значение этого оптимума у разных сельскохозяйственных культур существенно различается (табл. 1.15).

Потребность большинства растений во влаге зависит от многих условий: от биологических особенностей растения, его возраста, мощности корневой системы, фазы развития, от складывающихся погодных условий, продолжительности периода вегетации и т. п.

Таблица 1.15

Экологический оптимум влажности почвы для различных культур

Сельскохозяйственные культуры	Влажность почвы, % НВ
Рис	≥ 100
Огурец, мята перечная, луговые травы	80...100
Кукуруза, овес, картофель, горох, гречиха, капуста	70...80
Сахарная свекла, подсолнечник, виноград, люцерна, корнеплоды	60...70
Зернобобовые культуры	50...60
Зерновые культуры (озимые и яровые)	30...40

Например, на европейской части России яровая пшеница в условиях оптимальных запасов почвенной влаги расходует на транспирацию 300...400 мм влаги, при этом урожайность составляет 25...40 ц/га, а сахарная свекла в той же зоне в условиях орошения расходует на транспирацию 600...700 мм влаги, урожайность — более 550 ц/га. На транспирацию растения расходуют в среднем около 95 % всего количества влаги, поглощаемой ими. Многочисленными опытами было показано, что общий (валовой) расход воды растениями для производства единицы продукции не находится в прямой зависимости от площади их испаряющей листовой поверхности (табл. 1.16).

В различные периоды своего развития растения расходуют на транспирацию разное количество воды даже при одинаковых условиях погоды и запасах продуктивной влаги в корнеобитаемых горизонтах почвы. Мерой потребности растений в воде считается ее количество, расходуемое путем транспирации на создание единицы сухого вещества. Эта мера получила название транспирационный коэффициент (см. раздел 1.3).

Таблица 1.16

Листовая поверхность и валовой расход воды растениями за вегетационный период (по А. М. Алпатьеву, 1954)

Элементы учета	Ячмень	Гречиха	Горох
Листовая поверхность на 1 м ² поля, м ²	2,7	3,9	9,4
Число растений на 1 м ²	260	168	122
Расход воды, мм	189	159	154
Общая абсолютно сухая масса, ц/га	102,6	46,7	61,8

Критические периоды в жизни растений. Впервые на изменение потребности растений во влаге с возрастом и развитием и на существование в жизни растений критических периодов указал профессор П. И. Броунов. Под „критическими“ он понимал такие периоды в жизни растений, когда они особенно чувствительны к условиям внешней среды, влияющим на формирование будущего урожая. Позднее был сформулирован закон критических периодов в жизни растений: в отдельные периоды жизни растения особо чувствительны к определенным количественным значениям факторов среды, особенно к влаге, теплу, солнечной радиации. В основе этого закона лежат экспериментально установленные количественные параметры потребности растений в факторах окружающей среды (продолжительности светового дня, доступной влаге, температуре воздуха и др.) в различные фазы развития растений.

У разных растений критическими являются различные периоды их развития: у озимых и яровых зерновых культур это период от выхода в трубку до колошения, у кукурузы — от цветения до молочной спелости, у бобовых и гречихи — период цветения, у подсолнечника — от начала образования корзинки до цветения, у хлопчатника — от цветения до начала образования коробочек, у бахчевых культур — от цветения до созревания, у картофеля — период цветения и формирования клубней и т. п.

Недостаток влаги в почве оказывает наиболее сильное влияние на формирование урожая сельскохозяйственных культур в период образования их репродуктивных органов. Рядом ученых разработаны косвенные методы расчета потребности растений в воде. Так, А. М. Алпатев (1954) предложил формулу для расчета потребности растений во влаге:

$$E = 0,65 \Sigma D, \quad (1.23)$$

где E — потребность культуры в воде (мм); ΣD — сумма средних суточных дефицитов влажности воздуха (мм) за вегетационный период; 0,65 — осредненный коэффициент (изменяется в пределах 0,6...0,7).

По А. В. Процерову, показателем полной влагообеспеченности яровой пшеницы в период всходы—цветение является сумма средних суточных дефицитов воздуха, взятая с коэффициентом 0,6 (см. формулу (1.23)); а в период цветения — восковая спелость — с коэффициентом 0,4.

Потребность сельскохозяйственной культуры в воде за весь вегетационный период находится в зависимости от условий среды и от продолжительности вегетационного периода (табл. 1.17).

Таблица 1.17

Влияние продолжительности вегетационного периода растений на валовой расход воды (по А. М. Алпатьеву, 1954)

Культура	Продолжительность вегетационного периода, сут	Расход воды, мм	
		за весь период	за сутки
Вика — овес	67	182 (92)	2,7
Гречиха	93	264 (184)	2,8
Ячмень	97	264 (187)	2,7
Яровая пшеница	101	271 (187)	2,7
Кукуруза	131	317 (265)	2,4
Сахарная свекла	154	407 (303)	2,6

Примечание. В скобках — количество осадков, включенное в расход воды за весь период.

Различные подходы к расчету потребности растений или фитоценозов во влаге предложены многими исследователями. Например, Х. Л. Пенман (1948) рекомендует рассчитывать суммарную потребность в воде фитоценоза (E_ϕ) по формуле

$$E_\phi = fE_0, \quad (1.24)$$

где E_0 — испарение с водной поверхности, f — коэффициент, равный в среднем за год 0,7.

Значение E_0 автор вычисляет из установленной им зависимости испарения от радиационного баланса, скорости ветра, температуры и влажности воздуха.

Влагообеспеченность растений. Состояние посевов сельскохозяйственных культур и их урожайность в значительной мере определяются количеством продуктивной влаги в почве. *Степень соответствия потребности растений в почвенной влаге для формирования высоких урожаев имеющимся запасам продуктивной влаги в почве называется влагообеспеченностью растений.* Она характеризуется влажностью почвы, выраженной в процентах от полевой влагоемкости, или запасами продуктивной влаги (обычно в слое почвы 100 или 150 см).

Влагообеспеченность растений определяют также в виде процентного отношения фактического суммарного испарения за период вегетации сельскохозяйственной культуры к оптимальному суммарному испарению. Значение влагообеспеченности растений рассчитывают для проведения оценки условий развития и формирования биомассы сельскохозяйственных культур за вегетационный период, отдельные межфазные периоды или календарные промежутки времени.

Методы количественной оценки влагообеспеченности различных сельскохозяйственных культур начали разрабатываться в 1950-х годах в системе гидрометеорологической службы страны С. А. Вериги и Л. А. Разумовой. Их исследованиями, а также многочисленными работами в последующие годы были установлены количественные зависимости между запасами продуктивной влаги, состоянием растений и уровнем их продуктивности. Так, например, при средних за декаду запасах продуктивной влаги в слое почвы 0...20 см менее 5 мм всходы зерновых культур, как правило, не появляются; на оподзоленных супесчаных почвах всходы появляются при запасах влаги 12 мм, на черноземных почвах — около 15 мм. В период от кущения до выхода в трубку запасы продуктивной влаги меньше 10 мм в слое 0...20 см вызывают резкое ухудшение состояния посевов за счет слабого развития корневых систем. В результате уменьшается число продуктивных (колосконосных) стеблей и число колосков в колосе. Частичное ухудшение состояния посевов наблюдается при средних за декаду запасах продуктивной влаги меньше 20 мм. При запасах 30...40 мм отмечается хорошее состояние растений. В фазу выход в трубку — цветение ухудшение состояния посевов наблюдается при запасах продуктивной влаги в метровом слое почвы менее 80 мм. Хорошее состояние посевов озимых зерновых культур и высокие урожаи формируются в условиях, когда запасы продуктивной влаги весной в черноземной зоне составляют 140...180 мм (табл. 1.18).

Таблица 1.18

Запасы продуктивной влаги (мм) в слое 100 см в основные периоды весенне-летней вегетации озимой пшеницы (по Е. С. Улановой, 1975)

Фаза развития растений	Градация оценки запасов			
	Хорошие	Удовлетворительные	Недостаточные	Плохие
Возобновление вегетации	150...200	120...150	100...120	< 100
Выход в трубку	140...180	100...140	80...100	< 80
Колошение	80...140	60...80	40...60	< 40
Налив зерна	80...100	40...80	30...40	< 25

Наиболее тесная связь урожаев зерновых культур с запасами влаги в слое почвы 1 м наблюдается в период формирования элементов продуктивности колоса (выход в трубку — цветение). Максимальные урожаи отмечаются при запасах продуктивной влаги 100...125 мм (табл. 1.19). При больших запасах влаги создаются условия переувлажнения почвы, способствующие полеганию посевов и поражению растений грибковыми заболеваниями (см. разделы 2.4, 4.10).

Таблица 1.19

Зависимость урожая зерновых культур от условий влагообеспеченности растений за период колошение—цветение (по Ю. И. Чиркову, 1986)

Средние запасы влаги (мм) в слое 0...100 см	Урожай (% от оптимального)
1...25	18
26...50	46
51... 75	70
76...100	86
101... 125	100
126... 150	74
> 150	68

Согласно исследованиям Ю. И. Чиркова, наиболее высокие урожаи зерна кукурузы формируются при запасах продуктивной влаги в полуметровом слое почвы 70...80 мм в фазу выметывания метелки. Высокие урожаи зеленой массы кукурузы отмечаются в условиях, когда запасы влаги в течение всего вегетационного периода не опускаются ниже 60 мм. Наиболее благоприятными условиями для формирования клубней картофеля (после фазы цветения) являются запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...50 см, равные 60...70 мм, особенно если температура воздуха в этот период не выше 16...18 °С. Снижение запасов влаги в этом слое почвы после цветения до 30...35 мм резко снижает процесс нарастания клубней. Слабое развитие ботвы картофеля за период до его цветения ограничивает прирост клубней даже при благоприятных условиях.

Для значительной группы сельскохозяйственных культур с неглубокой корневой системой большое значение имеет постоянное увлажнение верхнего слоя почвы (0...20 см), запасы влаги в котором наиболее изменчивы под влиянием условий погоды. Даже непродолжительный бездождный период может резко ухудшить состояние посевов и существенно снизить урожай. Запасы влаги ниже 20 мм уже неблагоприятны для растений.

У сахарной свеклы, по материалам исследования О. М. Конторщиковой, потребность во влаге в первые две декады вегетации составляет 22...26 % испаряемости. Наибольшая потребность во влаге наступает в 8...10-ю декаду (около 80 %), в последующие декады она несколько снижается. В среднем за вегетационный период потребность этой культуры во влаге составляет около 50 % испаряемости.

По данным А. П. Лосева, ослабление интенсивности роста плодов яблони и частичное засыхание листьев на деревьях наступает при снижении запасов продуктивной влаги в слое 0...120 см до 60...80 мм.

Л. А. Разумова и С. А. Вериго установили основные закономерности формирования влажности почвы и годовой динамики запасов продуктивной влаги в различных почвенно-климатических зонах бывшего СССР. Они выделили четыре основные агрогидрологические зоны:

1. Зона обводнения охватывает северные районы европейской части России и таежные районы Западной Сибири. Зона характеризуется большим количеством легкодоступной для растений влаги в корнеобитаемых горизонтах почвы в течение вегетационного периода. В зимний период в промерзающем слое происходит накопление влаги за счет ее подтягивания из неглубоко лежащих грунтовых вод. Максимум запасов влаги отмечается в конце зимы — 300 мм в метровом слое. Весной избыток влаги регулируется поверхностным стоком. Наименьшие запасы наблюдаются в середине лета (около 150 мм), но уже к периоду уборки зерновых колосовых культур почвы нередко переувлажнены.

2. Зона капиллярного увлажнения расположена к югу от зоны обводнения и проходит по линии Калининград — Ливны — Тольск — Кемерово. Зона характеризуется тем, что грунтовые воды достигают корнеобитаемого слоя почвы лишь в периоды наивысшего стояния. В течение большей части года наблюдается капиллярный подток воды снизу. Максимальные запасы влаги формируются в конце зимы — начале весны и достигают в среднем на суглинистых почвах 200 мм и более, на супесчаных — 150 мм. Самые низкие запасы влаги в метровом слое отмечаются летом — около 100 мм. В засушливые годы урожайность сельскохозяйственных культур обычно значительно снижается из-за недостаточной влагообеспеченности.

3. Зона полного весеннего промачивания располагается южнее предыдущей зоны; с юга ее граница проходит по линии Оренбург — Ишим — Мариинск. Эта зона отличается от двух предыдущих, расположенных севернее, глубоким залеганием грунтовых вод. Легкоподвижная почвенная влага наблюдается только в весенний период, когда вследствие снеготаяния отмечаются ее максимальные запасы. Весной почва промокает до глубины 100 см и несколько более; запасы влаги составляют 170...200 мм. Минимальные запасы влаги отмечаются в конце вегетационного периода — 50...100 мм; в засушливые годы они могут быть израсходованы полностью.

4. Зона слабого весеннего промачивания охватывает степную часть Северного Кавказа, юг Среднего и Нижнего Поволжья, Южный Урал и юг Западной Сибири. Эта зона характеризуется глубоким залеганием грунтовых вод в течение всего года. Только в ранневесенний период снеготаяния в верхних горизонтах почвы наблюдается легкоподвижная влага. Глубина промачивания почвы

весной, как правило, около 50 см и лишь во влажные годы несколько больше. Весна — период максимальных запасов продуктивной влаги, составляющих всего 50...70 мм. Даже в периоды выпадения летних и раннеосенних осадков отмечается минимум запасов почвенной влаги за счет высоких дневных температур воздуха и высокого испарения (см. рис. 1.17). Схематическая карта основных агрогидрологических зон представлена на рис. 1.22.

Влияние влажности почвы на работу почвообрабатывающих машин. Производительность и качество работы почвообрабатывающих машин и орудий зависят от мощности агрегатов, механического состава почвы и силы сопротивления почвы орудиям обработки. Сопротивление почвы во влажном состоянии определяется давлением водяной пленки, а в сухом состоянии — силами трения рабочих органов агрегатов о частицы почвы. Известно, что при изменении влажности меняются физико-механические свойства почвы и, следовательно, силы сцепления между частицами почвы и лезвиями агрегатов в почве.

В избыточно увлажненной почве все капилляры заполнены водой, капиллярное натяжение почвенной влаги остается близким к нулю и сцепление почвенных частиц друг с другом практически отсутствует; такой почве присуще свойство *текучести*. При подсыхании почвы возникает капиллярное натяжение, начинают проявляться силы сцепления почвенных частиц друг с другом. В таком состоянии почва теряет текучесть и легко принимает любую придаваемую ей форму. Однако силы сцепления почвенных частиц еще невелики, они меньше сил сцепления почвенной влаги с металлическими частями почвообрабатывающих машин и орудий и почва легко налипает на них. Такое состояние почвы называется *липким*.

При дальнейшем подсыхании почвы в капиллярных порах появляются свободные от влаги просветы (полости), сцепление почвенных частиц друг с другом возрастает и становится больше сил сцепления почвенной влаги с металлом. Влага сплошной пленкой окутывает почвенные частицы, и почва уже не прилипает к металлу. Почва сравнительно легко раскатывается руками в тонкие нити. Такое состояние почвы называется *мягкопластичным*, она легко режется и крошится. В сельскохозяйственной практике *мягкопластичное состояние называют спелостью почвы*.

С уменьшением влажности почвы, когда влага остается только в самых тонких капиллярах и в стыках почвенных частиц, благодаря большой вогнутости менисков сцепление почвенных частиц друг с другом заметно возрастает. Почва уже не раскатывается в тонкие нити, а распадается на небольшие куски, но при сильном сдавливании рукой все же образует сравнительно связный комок. Такое состояние почвы называется *твердопластичным*.

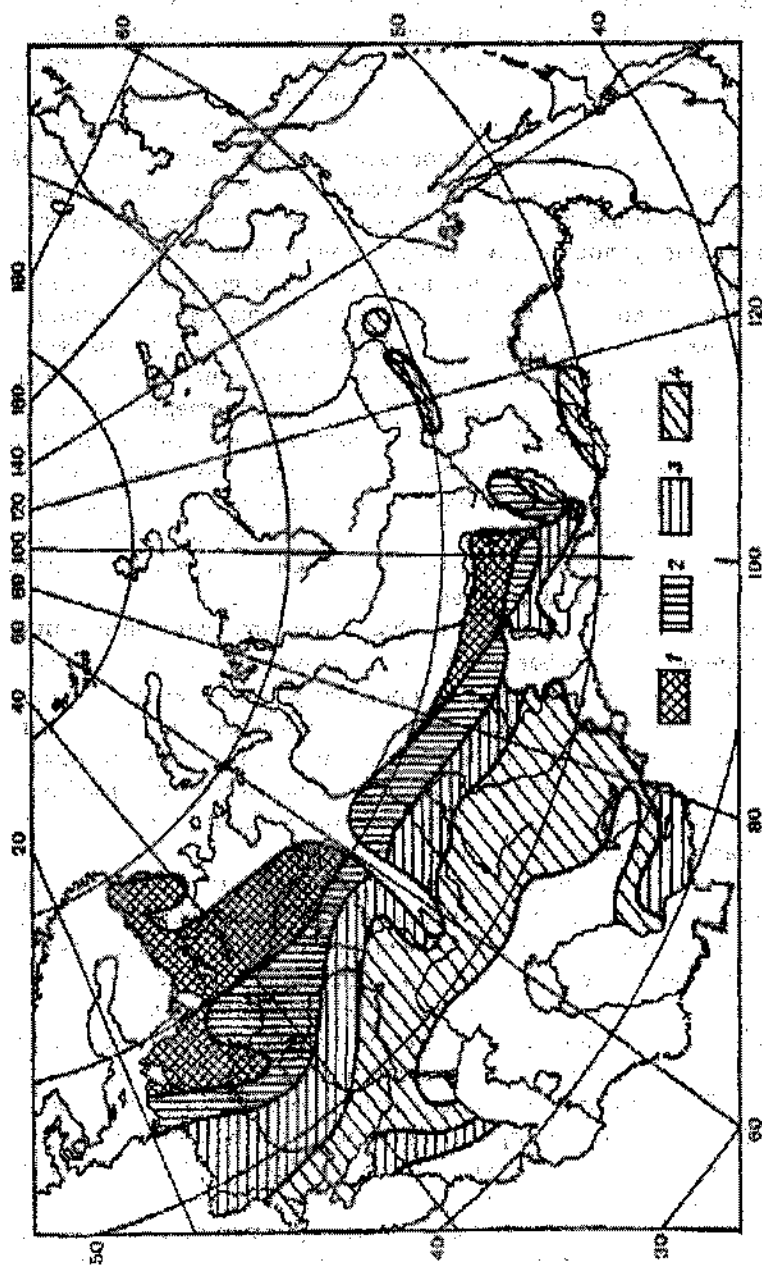


Рис. 1.22. Агроклиматические зоны Российской Федерации и сопредельных государств (по С. А. Вериге и Л. А. Разумовой)
 1 — обводнения; 2 — капиллярного увлажнения; 3 — полного весеннего промачивания; 4 — слабого весеннего промачивания

Когда в почве остается лишь адсорбированная влага и небольшое количество влаги в стыках почвенных частиц, почва переходит в *твердое* или *сыпучее состояние*. Сцепление частиц глинистых почв при таком уровне увлажнения становится очень большим, тогда как песчаные почвы теряют связность и переходят в сыпучее состояние. В этих случаях соприкосновение металлических частей обрабатывающих агрегатов с почвой вызывает сильное трение, преодоление которого требует дополнительных энергетических затрат.

Оптимальные условия для работы почвообрабатывающих машин и орудий создаются при мягкопластичном состоянии почвы, когда тяговое усилие машин наименьшее; в этом случае качество обработки почвы — наилучшее. При липком состоянии почвы тяговые усилия больше, и качество обработки почвы снижается. Самое низкое качество обработки почвы наблюдается при твердом и сыпучем состояниях почвы, требующих наибольших тяговых усилий и затрат. Для примера: у суглинистых почв твердое состояние наступает при отсутствии запасов продуктивной влаги в пахотном горизонте, твердопластичное — при запасах ниже 20 мм, мягкопластичное — при запасах 20...50 мм, липкое или текучее состояния соответствуют запасам влаги более 50 мм.

Влияние почвенной влаги на эффективность действия минеральных удобрений. Эффективность действия внесенных в почву удобрений зависит от многих факторов: от условий погоды, предшествующих внесению, от сроков и норм внесения, от состояния почвы, в частности от запасов почвенной влаги в корнеобитаемых горизонтах почвы и др. Многие ученые посвятили этой проблеме свои исследования: М. С. Кулик и профессор А. П. Федосеев внесли, пожалуй, наибольший вклад.

Установлено, что доступность для растений питательных веществ, внесенных в почву, в значительной мере определяется количеством почвенной влаги, находящейся в почве. При недостаточном увлажнении почвы удобрения не дают положительного эффекта и даже могут отрицательно повлиять на формирование урожаев. Известно, что на европейской части России многолетняя средняя годовая сумма осадков уменьшается в направлении с северо-запада на юго-восток. Подсчитано, что уменьшение количества осадков на каждые 100 мм (в этом направлении) вызывает снижение эффективности умеренных доз минеральных удобрений (по критерию прибавки урожайности) в среднем на 0,1 т/га зерна для зерновых культур в целом и на 0,2 т/га для озимых культур. Уменьшение запасов продуктивной влаги за период вегетации зерновых культур на 10 мм вызывает снижение эффективности удобрений в среднем на 10...20 кг/га.

Эффективность удобрений заметно возрастает с увеличением влажности до 90 % наименьшей влагоемкости на почвах с плотностью сложения 1,2...1,3 г/см³ и до 80 % наименьшей влагоемкости на более плотных почвах — 1,5...1,6 г/см³. Дальнейшее повышение влажности почвы вызывает небольшое снижение эффективности минеральных удобрений, особенно заметное на плотных подзолистых почвах. По данным А. П. Федосеева (1979, 1985), наибольшая эффективность комплексных удобрений (азот, фосфор, калий) отмечается при влагозапасах, составляющих в среднем 80...90 % наименьшей влагоемкости (рис. 1.23). Как видно из этого рисунка, влияние минеральных удобрений на прибавку урожайности зерновых культур (по сравнению с контролем) выражается параболической связью значения прибавки с запасами влаги в метровом слое почвы (в процентах наименьшей влагоемкости).

Отзывчивость других сельскохозяйственных культур на минеральные удобрения при разной влажности почвы различна, но имеет аналогичный характер. Избыточное увлажнение нарушает водно-воздушный режим почвы, подавляет процесс *нитрификации* — биологического превращения соединений азота в окисленные неорганические нитраты, хорошо усваиваемые растениями. Нитрификация хорошо протекает во влажных, достаточно аэрируемых почвах с кислотностью pH, равной 5...9. За счет этого уменьшается поступление в растения азота из почвы и из внесенных удобрений. Кроме того, избыточная влага интенсивно вымывает из пахотного горизонта азотные удобрения, и растения не получают дополнительного минерального питания (на производство которого истрачены материальные ресурсы), а реки и другие водоемы загрязняются соединениями азота, что наносит экологический ущерб окружающей среде. В этом отношении вредны ранние весенние подкормки озимых посевов, особенно в условиях нечерноземной зоны, на дерново-подзолистых почвах.

По данным М. С. Кулика, при запасах влаги в пахотном горизонте на 20...30 мм больше наименьшей влагоемкости почвы происходит интенсивный сброс воды, с которым теряется значительная часть минеральных удобрений. Это лишь отдельные примеры, подчеркивающие необходимость грамотного учета влияния погодных условий на эффек-

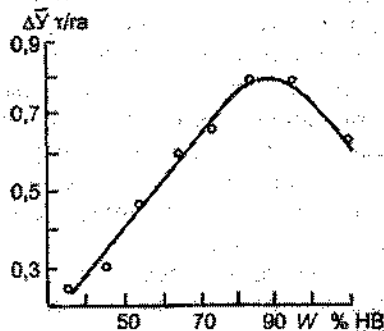


Рис. 1.23. Зависимость эффективности действия минеральных удобрений (прибавка урожайности ΔU т/га) от влажности почвы (W % НВ) в метровом слое почвы за период вегетации зерновых культур (по А. П. Федосееву, 1985)

тивность действия вносимых удобрений. Эта эффективность, как было показано, всегда имеет экономический и экологический аспекты.

Водный баланс сельскохозяйственного поля. Количество и состояние воды в почве формируется под влиянием многих факторов, обуславливающих ее приход, перемещение, перераспределение и расход. Динамика почвенной влаги в корнеобитаемых горизонтах почвы определяется водным балансом почвы. *Водным балансом называется соотношение между приходом, расходом и изменением запасов воды в почве за выбранный промежуток времени (год, месяц, декада) для определенного слоя почвы (например, 0...100 см) сельскохозяйственного угодья, отдельного поля и т. п.* Приходную часть водного баланса сельскохозяйственного поля составляют атмосферные осадки, поверхностный приток, конденсация влаги в почве, приток влаги при орошении или за счет близко расположенных грунтовых вод. Расходная часть складывается потерями воды при испарении с поверхности почвы (или снежного покрова), при транспирации влаги растениями, за счет поверхностного стока, оттока подземных вод за пределы изучаемого участка. Таким образом, водный баланс поля — это алгебраическая сумма прихода и расхода воды в почве. В практике обычно пользуются упрощенным уравнением водного баланса

$$W_k - W_n = R - E_n - E_t, \quad (1.25)$$

где W_k — конечный запас влаги, мм; W_n — начальный запас влаги, мм; R — сумма осадков, достигших поверхности почвы за период, мм; E_n — испарение влаги с поверхности почвы, мм; E_t — транспирация, мм. Или:

$$W_k - W_n = R - E, \quad (1.26)$$

где E — суммарное испарение ($E = E_n + E_t$).

Например, начальные запасы влаги составили 108 мм в слое почвы 0...50 см, конечные запасы влаги оказались равными 74 мм; за исследуемый период выпало 36 мм осадков. Подставляя эти значения в формулу (1.26), получим значение суммарного испарения на данном поле за исследуемый период: $E = 70$ мм. При делении этого значения на число дней периода (например, 2 декады) получим, что суммарное испарение за сутки равно 3,5 мм.

Смена холодного и теплого сезонов года является одним из основных факторов, определяющих динамику водного режима и условия формирования запасов влаги в почве.

В холодный период года влага не расходуется на транспирацию; при наличии снежного покрова основные изменения запасов влаги происходят за счет испарения с поверхности снега и внутрипочвен-

ного перемещения под влиянием кристаллизации в процессе промерзания почвы, а также путем пополнения запасов влаги талой водой в периоды оттепелей. Выделяются три типа изменения запасов влаги в почве зимой: с интенсивным влагонакоплением, незначительным влагонакоплением и переходный тип. В районах с высокой влажностью почвы осенью и неглубоким залеганием грунтовых вод в промерзающем слое покрытой снегом почвы накапливается избыток влаги, поскольку она подтягивается из нижележащих слоев. В отдельные годы в промерзшем верхнем 10-сантиметровом слое почвы может накопиться влаги вдвое больше значения полной влагоемкости. Такая ситуация вызывает „пучение” почвы. По многолетним наблюдениям на станции Белогорка (Ленинградская область), в 20-сантиметровом слое почвы запасы влаги за зиму в среднем увеличиваются на 55 мм.

В районах с глубоким залеганием грунтовых вод и запасами продуктивной влаги ниже наименьшей влагоемкости накопление влаги происходит за счет передвижения воды в парообразном состоянии по вертикальному профилю почвы. Доля такой воды невелика — 10...15 мм.

Переходный тип влагонакопления зимой наблюдается в районах с глубоким залеганием грунтовых вод и неустойчивым характером погоды, характеризующимся продолжительными оттепелями. Увеличение запасов влаги здесь может происходить за счет проникновения талых вод в почву и достигать 40...90 мм. Однако такое значительное накопление влаги в почве наблюдается не во все годы.

С наступлением весны процессы перемещения воды по поверхности почвы (снега) и в почвенных горизонтах активизируются, особенно за счет талых вод. Степень этой активизации зависит от уровня насыщения почвы влагой, глубины ее зимнего промерзания, наличия ледяных корок и прослоек льда в почвенных горизонтах и интенсивности процесса снеготаяния.

Потери талых вод за счет стока в свою очередь зависят от рельефа местности и состояния поверхности почвы. Сильно и умеренно промерзшая почва мало проницаема для воды, а по поверхности ледяной корки вода стекает, не проникая в почву. При слабом промерзании почвы и большом дефиците влаги в ней большая часть талой воды просачивается в почву, создавая весенний запас влаги. Верхний слой почвы (до глубины мерзлого слоя) насыщается талой водой до капиллярно-подпертого состояния. В таких условиях испарение определяется разностью парциальных давлений водяного пара в прилегающем слое воздуха и у поверхности почвы. Испарение с темной и шероховатой поверхности почвы значительно превышает испарение с водной поверхности. Потери на испарение с поверхности почвы компенсируются капиллярным поднятием влаги.

При полном оттаивании почвы избыточная влага может просачиваться (в зависимости от влагоемкости почвы) до грунтовых вод. Одновременно с повышением температуры воздуха и пополнением запасов почвенной влаги увеличивается испарение с прогреваемых солнечными лучами поверхностей.

В районах с ненасыщенными влагой почвами по мере их оттаивания избыток влаги расходуется на насыщение нижележащих слабо увлажненных слоев, при слабом капиллярном поднятии влаги верхние слои почвы начинают подсыхать.

С началом вегетации растений запасы влаги в корнеобитаемых горизонтах почвы изменяются в результате совокупного влияния комплекса метеорологических условий, жизнедеятельности растений и уровня залегания грунтовых вод.

С повышением температуры воздуха и почвы усиливаются процессы транспирации и испарения с поверхности почвы. При одинаковых метеорологических условиях скорость испарения с поверхности разных участков почвы различна, она определяется увлажненностью почвы. В насыщенных влагой почвах испаряющаяся влага пополняется влагой, поступающей по капиллярам; количество поступающей влаги может достигать 10...15 мм в сутки. При снижении запасов влаги капиллярный подток воды замедляется; в этих условиях испарение воды с поверхности почвы определяется не только погодными условиями, но и скоростью поднятия влаги к испаряющей поверхности. В ненасыщенных почвах легкоподвижная влага практически отсутствует, поэтому скорость испарения зависит от скорости диффузии пара через вышележащие сухие слои почвы. По данным А. П. Федосеева, при одинаковом дефиците насыщения воздуха испарение с поверхности влажной почвы (влажность 32 %) составляет 1,3 мм, а с поверхности сухой почвы (8 %) только 0,3 мм (рис. 1.24).

В общем виде зависимость изменения запасов влаги в почве от метеорологических условий выражается уравнением

$$\Delta W = at + bR + cW + L, \quad (1.27)$$

где ΔW — изменение запасов продуктивной влаги за декаду, мм; t — средняя за декаду температура воздуха, °C; R — сумма осадков за декаду, мм; a, b, c, L — коэффициенты.

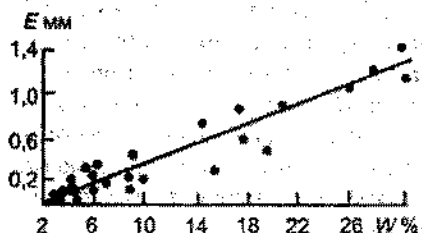
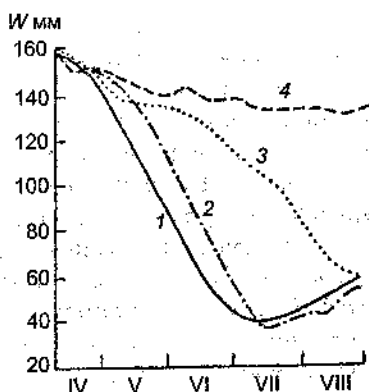


Рис. 1.24. Зависимость испарения (E мм) от влажности (W %) поверхностного слоя почвы (черный пар).

Испарение вычислено на 1 мм дефицита насыщения (по А. П. Федосееву, 1979)

Рис. 1.25. Средние многолетние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы под различными культурами в зоне полного весеннего промачивания и глубокого залегания грунтовых вод

1 — озимая пшеница; 2 — яровая пшеница; 3 — кукуруза; 4 — черный пар



В районах с глубоким залеганием уровня грунтовых вод наибольшее количество влаги расходуется на транспирацию. На рис. 1.25 показано, что в начале вегетационного периода, до начала транспирации, запасы влаги под всеми культурами и на черном пару одинаковы и составляют 160...165 мм. В дальнейшем, с началом роста и развития растений, с повышением интенсивности транспирации и испарения с поверхности почвы, влагозапасы под этими культурами заметно различаются. В начале июля, в период созревания озимой пшеницы, расходы на транспирацию резко уменьшаются и запасы продуктивной влаги на озимом поле начинают медленно увеличиваться. То же происходит и на полях с другими культурами.

Расходы влаги на испарение с поверхности почвы в летний период на полях, занятых сельскохозяйственными культурами, после смыкания растительного покрова заметно снижаются. Под зерновыми культурами в зависимости от метеорологических условий и состояния растений они составляют 40...70 % суммарного испарения, под пропашными культурами — 70...80 %, а под хорошо развитыми сеянными травами — 10...25 %. На паровых полях после образования сухого поверхностного слоя испарение также резко снижается. В теплый период парообразная влага из верхних слоев почвы передвигается в более глубокие слои в связи с равенством температур, а следовательно, и градиентов парциального давления водяного пара.

При отсутствии атмосферных осадков (на полях без орошения) происходит иссушение пахотных и нижележащих почвенных горизонтов, опасное для жизнедеятельности растений (см. раздел 2.2).

В осенний период расходы влаги на транспирацию после уборки культур прекращаются, интенсивность испарения с поверхности почвы зависит от условий погоды и запасов влаги в почве. С понижением температуры верхних слоев почвы парообразная влага передвигается вверх. Осенние осадки не только компенсируют расходы влаги на испарение с поверхности почвы, но и повсеместно

пополняют запасы влаги в верхних горизонтах почвы. Таким образом, влияние метеорологических условий на изменение запасов продуктивной влаги различно в течение года, оно в значительной степени также определяется особенностями почвенно-климатических зон, наличием и состоянием сельскохозяйственных культур.

Методы регулирования водного режима почвы. К основным методам регулирования водного режима почвы относятся: орошение, осушение, применение чистых паров, агротехнические приемы обработки почвы, полесанитные лесные полосы, снежная мелиорация. Все методы направлены на уменьшение потерь влаги, ее сохранение в корнеобитаемых горизонтах почвы, а в условиях переувлажнения — на сброс излишков влаги для улучшения аэрации почвы.

В засушливых регионах наиболее эффективным способом создания оптимальной влагообеспеченности посевов является **орошение**. Это вид мелиорации, заключающийся в искусственном пополнении запасов влаги в почве для создания оптимальных водного, воздушного, теплого и пищевого режимов, необходимых для получения высоких урожаев независимо от атмосферных осадков. Существуют различные способы: поверхностное орошение (подача воды по бороздам, чекам, дождевание и т. п.), внутрипочвенное, в том числе капальное, и др. Орошение проводится в различные сроки. Например, осенью или весной осуществляются так называемые влагозарядковые поливы; летом — увлажнительное орошение — пополнение летних запасов влаги до определенного оптимального значения; весной — лиманное орошение — пополнение почвенных влагозапасов талыми водами местного стока. Количество поливов, сроки и нормы подачи воды на поля регулируются так, чтобы создать оптимальные условия для роста, развития и формирования урожая сельскохозяйственных культур. При этом важен грамотный агрометеорологический учет сложившихся и ожидаемых условий погоды. Он позволяет эффективно расходовать дорогостоящую воду, ресурсы которой часто весьма ограничены, а также не ухудшать мелиоративное состояние земель.

Как правило, на орошаемых полях выращивают высокопродуктивные сорта хлопчатника, риса, кукурузы, кормовых трав и многих других культур. Под влиянием орошения урожайность сельскохозяйственных культур увеличивается в 1,5...2,5 раза по сравнению с урожайностью на неорошаемых полях.

Значительный экономический и экологический эффект достигается в результате осушительной мелиорации в районах избыточного увлажнения и на заболоченных территориях. **Осушение** — это комплекс гидротехнических мероприятий, проводимых с целью удале-

ния излишков воды из почвы, понижения уровня грунтовых вод и введения осушенных земель в сельскохозяйственный оборот, повышения плодородия почвы. В результате осушения коренным образом улучшаются водный, воздушный и тепловой режимы почвы, ее агрогидрологические свойства и микроклимат, что в конечном счете благоприятствует улучшению условий для жизнедеятельности растений. При внесении удобрений и известковании почвы улучшаются ее физические и химические свойства, способствующие повышению продуктивности сельскохозяйственных культур. В засушливые годы на осушенных почвах влагообеспеченность посевов может резко ухудшаться. Поэтому наиболее эффективными являются системы двустороннего регулирования водного режима почв, так называемые осушительно-оросительные системы.

В зоне недостаточного увлажнения влагонакоплению способствует применение системы чистых паров. *Чистый пар* — это поле севооборота, не занимаемое посевами в течение всего вегетационного периода или части периода. Поле содержится в рыхлом, очищенном от сорняков состоянии, что способствует накоплению почвенной влаги, повышению плодородия земли. В зависимости от времени вспашки различают пары ранние (или весенние) и осенние. В сухостепных районах на чистых парах ко времени сева озимых продуктивной влаги накапливается на 50...60 мм больше, чем на непаровых полях (табл. 1.20).

Таблица 1.20

Средние многолетние запасы продуктивной влаги (мм) в почве на чистых парах (числитель) и на непаровых полях (знаменатель) ко времени уборки ранних яровых культур (по А. М. Шульгину)

Слой почвы, см	Полтава	Синельниково	Одесса
0...20	35/11	30/9	24/10
0...100	145/59	121/37	106/49

Важным средством улучшения влагообеспеченности сельскохозяйственных растений в засушливых районах являются *полезашитные лесные полосы*. Посадки древесно-кустарниковых полос (лейт) среди крупных массивов сельскохозяйственных полей осуществляются с целью улучшения гидрометеорологических и агрометеорологических условий для возделываемых растений.

Такие лесные полосы снижают скорость ветра, задерживают на полях снег, обеспечивают его более равномерное таяние весной и повышение запасов почвенной влаги, препятствуют развитию процессов ветровой и водной эрозии, улучшают микроклимат (см. раздел 5.6). Они предохраняют посевы от засухи и губительного

влияния *суховея* (см. раздел 2.2), способствуют гнездованию птиц, поедающих *вредителей* сельскохозяйственных культур (см. раздел 4.10). Полезащитные лесные полосы обеспечивают стабильное повышение урожайности сельскохозяйственных культур на 10...25 % по сравнению с урожайностью на полях, не защищенных такими полосами.

Одним из наиболее распространенных способов накопления влаги в почве являются *кулисы* — *высокостебельные однолетние растения* (*подсолнечник, сорго, кукуруза и др.*), *сохраняемые на полях после уборки урожая*. Зимой высокие, сухие, прочные стебли задерживают снег на полях, за счет чего запасы продуктивной влаги в почве возрастают к весне в засушливых регионах более чем на 40 мм (или 400 т воды на 1 га).

Важным средством накопления и сохранения почвенной влаги считаются различные *агротехнические приемы обработки почвы* — *технологические мероприятия, направленные на сохранение почвенного плодородия, защиту почв от эрозии и в конечном счете на обеспечение высокой урожайности сельскохозяйственных культур*.

Так, ранняя зяблевая пахота, ранневесеннее боронование зяби, рыхление междурядий пропашных культур уменьшают непродуктивное испарение с поверхности почвы. Рыхлый верхний слой почвы в 2...7 раз снижает потери влаги на испарение, хорошо аккумулирует выпадающие осадки и весенние талые воды. В засушливых районах, подверженных ветровой эрозии (Северный Казахстан, юг Западной Сибири), существенный эффект дает осенняя глубокая безотвальная вспашка с сохранением на поверхности почвы стерни, задерживающей снег на полях в зимний период. Обработка почвы поперек склона сокращает поверхностный сток воды в 2...10 раз по сравнению со вспашкой вдоль склона и способствует увеличению запасов влаги на 30...95 %.

В нечерноземной зоне прикатывание (уплотнение) неперелуженной почвы при посеве способствует повышению ее температуры и увеличению содержания влаги в пахотном горизонте на 4...10 мм, а после вспашки под озимые культуры в лесостепной зоне — на 10...15 мм. Разрушение почвенной корки на полях сохраняет 8...10 мм продуктивной влаги в пахотном слое. Наконец, значительно уменьшается непродуктивное испарение почвенной влаги путем поверхностного *мульчирования* — *сплошного или междурядного покрытия почвы различными сыпучими материалами* (мульчей — торфом, опилками, соломой, опавшей листвой и т. п.) *или пленкой*. Велика роль в улучшении влагообеспеченности посевов снежного покрова и снежных мелиораций (см. раздел 1.3).

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что называется спектром излучения? Из каких частей состоит солнечный спектр у поверхности земли?
2. Назовите спектральный состав солнечной радиации.
3. От чего зависит мощность светового потока?
4. Как вы понимаете термин „освещенность“?
5. Что называется фотопериодизмом растений? На какие группы условно делят растения по отношению к освещению?
6. Что такое фотосинтетически активная радиация (ФАР)? Назовите интервал волн солнечного спектра, в котором находится ФАР.
7. Как рассчитать интенсивность ФАР?
8. Как определяется степень использования ФАР растительным покровом?
9. Нарисуйте световую кривую фотосинтеза, объясните ее особенности.
10. Какие средние значения $KPP_{ФАР}$ характеризуют различные состояния посевов?
11. Что такое „листовой индекс“?
12. Перечислите пути повышения эффективности использования ФАР в растениеводстве.
13. Расскажите о температурном режиме почвы. Опишите суточный и годовой ход температуры почвы.
14. Расскажите о теплофизических свойствах почвы. Что такое „теплопроводность почвы“?
15. Как влияет температура почвы на растения?
16. Какие методы применяются для улучшения температурного режима почвы?
17. Расскажите о температурном режиме воздуха.
18. Как рассчитать вертикальный градиент температуры?
19. В чем заключаются особенности температурного режима растительного покрова?
20. Дайте определения активных и эффективных температур. Как рассчитать суммы активных и эффективных температур?
21. Расскажите о большом и малом круговоротах воды на земле.
22. Как рассчитать интенсивность осадков?
23. Какова роль снежного покрова в жизни растений? Как вы понимаете термин „снежная мелиорация“?
24. Какими величинами характеризуется влажность воздуха? Какова роль влажности воздуха в жизни растений?
25. Что такое „испарение“, „испаряемость“, в каких единицах они измеряются?
26. Как рассчитывается значение суммарного испарения?
27. Расскажите о транспирации. Что такое „коэффициент транспирации“?
28. Как вы понимаете термин „биологические кривые водопотребления“?
29. Расскажите о конденсации водяного пара и ее значении в жизни растений.

30. Каково влияние ветра на растения и на производительность сельскохозяйственных работ?
31. Назовите основные свойства почвенной влаги. Расскажите о категориях почвенной влаги: связанной, капиллярной, гравитационной.
32. Какими величинами характеризуются агрогидрологические свойства почвы? Дайте их определения. В каких единицах они измеряются?
33. Расскажите о значении продуктивной влаги в жизни растений.
34. Расскажите о законе критических периодов в жизни растений.
35. Расскажите об основных методах определения влажности почвы.
36. Дайте краткую характеристику основных агрогидрологических зон.
37. Как влияет влажность почвы на работу почвообрабатывающих машин?
38. Расскажите о влиянии влажности почвы на эффективность внесения минеральных удобрений.
39. Дайте определение понятия „водный баланс сельскохозяйственного поля“. Как рассчитывается этот баланс?
40. Какие вы знаете методы регулирования водного режима почвы?
41. Расскажите об экологическом значении ползащитных лесных полос.

Глава 2

ОПАСНЫЕ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА И МЕРЫ БОРЬБЫ С НИМИ

Общеизвестно, что продуктивность сельскохозяйственных культур и качество продукции широко варьируют от года к году под влиянием складывающихся агрометеорологических условий, зависят от степени их благоприятности для возделываемых культур, особенно в критические периоды жизни растений. Неблагоприятные для сельского хозяйства гидрометеорологические явления приводят к неурожайным годам. Когда такие явления наносят серьезный ущерб растениеводству и животноводству, их относят к опасным метеорологическим явлениям. В системе гидрометеорологической службы России их называют теперь *опасными природными (гидрометеорологическими, геологофизическими) явлениями*. Ранее они назывались опасными явлениями (ОЯ), затем — особо опасными явлениями (ООЯ), потом стихийными гидрометеорологическими явлениями (СГЯ).

Опасные для сельскохозяйственного производства явления погоды (а в более широком понимании и климата) — понятия биоклиматические, поскольку они рассматриваются по реакции растений и сельскохозяйственных животных на погоду и характеризуются сопряженными агрометеорологическими (агроклиматическими, зоометеорологическими) и биологическими показателями.

В агрометеорологии *особо опасными явлениями* считаются такие, которые по своей интенсивности, продолжительности воздействия, площади распространения или времени возникновения (например, в критический период жизни растений) могут нанести или наносят значительный ущерб сельскохозяйственным посевам и животным. В зоометеорологии к опасным явлениям относят обычно совокупность метеорологических условий, наносящих вред сельскохозяйственным животным (см. раздел 3.4). К агрометеорологическим явлениям, опасным для сельскохозяйственного производства в теплый период года, относят: заморозки, засухи, суховеи, пыльные бури, град, сильные ливни.

2.1. Заморозки

Заморозком называется кратковременное понижение температуры воздуха или поверхности почвы (травостоя) до 0 °C и ниже, наблюдаемое ночью (вечером, утром) в вегетационный период на фоне положительных средних суточных температур воздуха. Заморозки обычно наблюдаются весной и осенью (в северных регионах и в высокогорьях даже летом) при антициклонической погоде, на гребнях повышенного атмосферного давления, при высоком эффективном излучении подстилающей поверхности и при слабом ветре. Различные по интенсивности заморозки наблюдаются во всех районах сельскохозяйственной зоны страны. В зависимости от времени появления и степени интенсивности заморозки могут частично или существенно повредить сельскохозяйственные культуры, полностью уничтожить или снизить их урожай.

Особенно опасны поздневесенние и раннеосенние заморозки, совпадающие с периодом активной вегетации растений. Они ограничивают использование агроклиматических ресурсов вегетационного периода конкретной территории. Поэтому информация об интенсивности заморозков, о сроках их прекращения весной и возникновения осенью чрезвычайно важна. Эта информация используется также для оценки заморозкоопасности территории, для принятия решений о размещении теплолюбивых культур, выбора сроков сева и уборки сельскохозяйственных культур, для выбора способов защиты с целью снижения возможного ущерба от этого опасного явления природы.

По интенсивности заморозки делят на слабые, средние и сильные. Слабыми заморозками считаются понижения температуры деятельной поверхности не ниже -2 °C, когда температура воздуха при этом составляет 0 °C и более. При средних заморозках температура поверхности земли опускается до -3...-4 °C и заморозок охватывает самые нижние, примыкающие к поверхности, слои воздуха. При сильных заморозках температура снижается до -5 °C и охватывает приземный слой воздуха до высоты 1,5...2 м. Именно в этом слое находится большинство возделываемых полевых культур.

По длительности действия различают заморозки: продолжительные (> 12 ч), средней продолжительности (5...12 ч), кратковременные (< 5 ч).

По характеру процессов, вызывающих заморозки, выделены три типа заморозков: адвективные, радиационные и смешанные.

Адвективные заморозки возникают вследствие затoka, вторжения (адвекции) холодных арктических масс воздуха обыч-

но в результате перестройки сезонной циркуляции атмосферы. При этом низкие температуры (ниже 0°C) отмечаются не только в приземном слое воздуха, но и на больших высотах. Такие заморозки могут охватывать большие территории, их продолжительность часто составляет несколько суток, в течение которых за счет дневных температур происходит постепенное прогревание холодных масс воздуха. Поэтому амплитуда суточного хода в такие дни, как правило, невелика, а разность температур воздуха на уровне метеорологической будки и у поверхности почвы незначительна.

Этот тип заморозков, характерный обычно для ранней весны или поздней осени, наименее опасен, поскольку озимые культуры еще не потеряли закалку холодного периода года или уже приобрели ее. Однако в отдельные годы осенью адвективные заморозки могут нанести непоправимый урон плодовым деревьям, у которых еще не завершилось сокодвижение в проводящих сосудах. Разрыв сосудов вследствие образования ледяных кристаллов замерзшего сока приводит к гибели части или всей кроны дерева. Плодовые деревья любого возраста в таких случаях подлежат выкорчевыванию.

При адвективных заморозках влияние рельефа местности, состояния почвы, наличия растительности, близости водоемов проявляется слабее, чем при других типах заморозков, поскольку происходит заток больших холодных воздушных масс, проникающих повсеместно. Однако более заморозкоопасными становятся наветренные склоны и участки, открытые холодным ветрам. Наименее заморозкоопасными являются вершины и верхние части склонов, с которых охлажденный (и более тяжелый) воздух стекает вниз и заменяется более теплым. Средние части склонов в холмистой местности занимают по степени заморозкоопасности промежуточное положение, поскольку приток холодного воздуха уравнивается его стоком. Такие же условия заморозкоопасности создаются на равнинах, на обширных выровненных плато или в широкой ровной долине.

В вогнутых формах рельефа (низины, котловины), а также на крупных лесных полянах продолжительность беззаморозкового периода заметно сокращается, а интенсивность заморозков увеличивается. На берегах крупных водоемов продолжительность беззаморозкового периода на 25...35 дней больше, чем на континентальных территориях.

Радиационные заморозки возникают в тихие, ясные ночи при относительно низких средних суточных температурах воздуха вследствие интенсивного излучения земной поверхности и охлаждения ее и прилегающего слоя воздуха до отрицательных температур. Следствием сильного ночного охлаждения воздуха у земной поверхности является формирование приземной инверсии темпе-

ратуры, когда с высотой температура в некотором слое воздуха повышается. При этом на поверхности почвы или сомкнутого травостоя холоднее, чем на высоте 2 м, в среднем на 2,5...3 °С; в условиях резко континентального климата (Сибирь, Казахстан, Средняя Азия) эта разность может достигать 4,0...4,5 °С. Наиболее низкая температура воздуха в безветренные и ясные ночи в большинстве случаев отмечается на высоте 2...5 см над поверхностью почвы. В сомкнутом травостое минимальные температуры наблюдаются на уровне верхнего яруса листьев, которые повреждаются заморозками в первую очередь. Сухие и разрыхленные почвы и особенно осушенные торфяники, обладающие пониженной теплоемкостью и теплопроводностью, быстро охлаждаются, что создает благоприятные условия для возникновения заморозков на поверхности почвы.

Ориентация склонов возвышенностей оказывает косвенное влияние на заморозкоопасность: на восточных и юго-восточных склонах растения сильнее повреждаются заморозками. Это объясняется более резкой сменой температуры замерзших тканей: после восхода солнца они быстро нагреваются солнечными лучами, из клеток, поврежденных кристаллами льда, влага попадает в межклеточное пространство и испаряется; из-за дефицита влаги ткани растения сморщиваются, высыхают, что усиливает степень повреждения всего растения.

Интенсивность и продолжительность радиационных заморозков зависят от рельефа и характера подстилающей поверхности, влажности почвы и воздуха и других местных условий. Продолжительность обычно ограничивается темным временем суток. При ясной, безоблачной погоде заморозки могут наблюдаться каждую ночь в течение длительного периода. Появление облачности среднего и даже верхнего яруса снижает излучение земной поверхности, а следовательно, и процесс выхолаживания приземного слоя воздуха, благодаря чему заморозка может не быть. Холодный, более тяжелый воздух застаивается в понижениях рельефа и, если там размещены посевы сельскохозяйственных культур, плодовые насаждения, виноградники, заморозок поражает их. Размеры ущерба зависят от интенсивности и продолжительности заморозка. В то же время на возвышенностях и на склонах снижение температуры до уровня заморозка обычно не наблюдается. Радиационные заморозки чрезвычайно опасны для сельскохозяйственных культур.

Адвективно-радиационные (смешанные) заморозки возникают в результате вторжения холодных масс воздуха на конкретную территорию и последующего ночного выхолаживания приземного слоя воздуха до отрицательных температур вследствие излучения подстилающей поверхности. Таким образом, адвекция холода и радиационное выхолаживание проявляются в этом

типе заморозков в комплексе. Заморозки подобного типа наблюдаются обычно в конце весны и даже в начале лета, а также ранней осенью в результате вторжений холодного арктического воздуха. В эти периоды почва и растительный покров достаточно прогреты. Заморозок обычно возникает в ночные часы, главным образом перед восходом солнца, его продолжительность чаще всего не превышает 3...4 ч, а интенсивность, как правило, около $-2...-3^{\circ}\text{C}$. Отмечаются они обычно на поверхности почвы или травостоя, но могут наблюдаться только в приземном слое воздуха. Это так называемые скрытые заморозки, при которых температура на поверхности почвы и в метеорологической будке положительна, а теплолюбивые растения повреждаются заморозком. Такое явление объясняется тем, что лежащий на поверхности почвы резервуар минимального термометра, наполовину присыпанный почвой, получает „дополнительное тепло” из ее нижележащих слоев, поэтому температура поверхности почвы оказывается более высокой, чем фактическая.

Заморозки на поверхности почвы весной заканчиваются позже, осенью начинаются раньше, чем в воздухе на уровне метеорологической будки, вследствие чего беззаморозковый период на почве оказывается на 20...30 дней короче, чем в воздухе на высоте 2 м.

Географическое распространение заморозков и их вероятность. На территории России и сопредельных стран время прекращения заморозков весной и наступления их осенью от года к году весьма изменчиво. Отметим, что *беззаморозковым периодом называется время (в днях), ограниченное средними многолетними датами последнего весеннего и первого осеннего заморозков* (рис. 2.1).

На севере России нет четко выделенного беззаморозкового периода, так как заморозки возможны здесь даже в летние месяцы. В основной зоне земледелия продолжительность беззаморозкового периода изменяется от 90 дней на севере до 270 дней на юге. Знание продолжительности беззаморозкового периода необходимо при определении возможности выращивания теплолюбивых культур на конкретной территории. В пределах конкретного календарного года продолжительность беззаморозкового периода может отличаться от его среднего многолетнего значения.

Заморозки различаются по длительности, интенсивности, повторяемости, по степени опасности для различных сельскохозяйственных культур. Детальные исследования природы заморозков на территории СССР были выполнены профессором И. А. Гольцберг.

Географическое распределение средних дат окончания весенних заморозков на территории России и сопредельных стран представлено на рис. 2.2, средних дат начала осенних заморозков — на рис. 2.3. *Изохроны* — линии, соединяющие на карте точки с датами одновременного наступления явления (в данном случае —

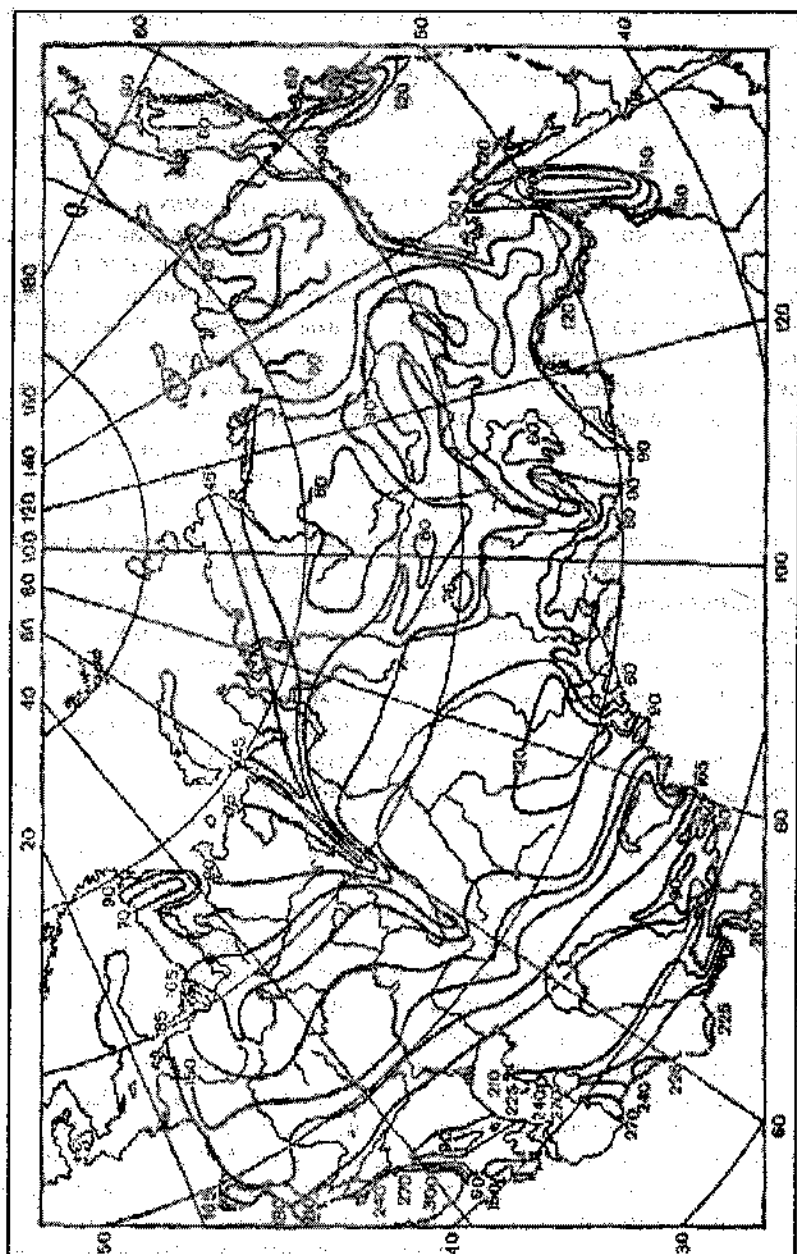


Рис. 2.1. Средняя многолетняя продолжительность безморозного периода на равном открытом месте на территории Российской Федерации и сопредельных государств

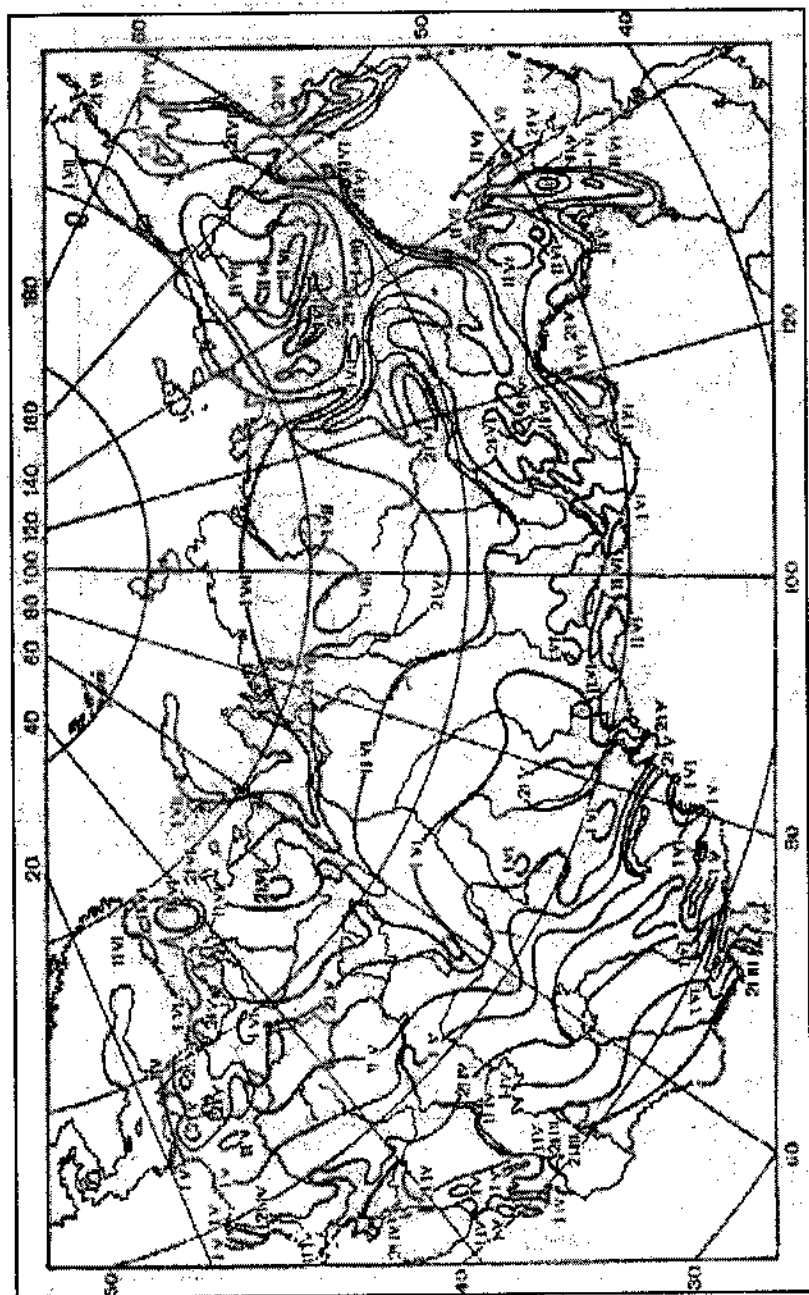
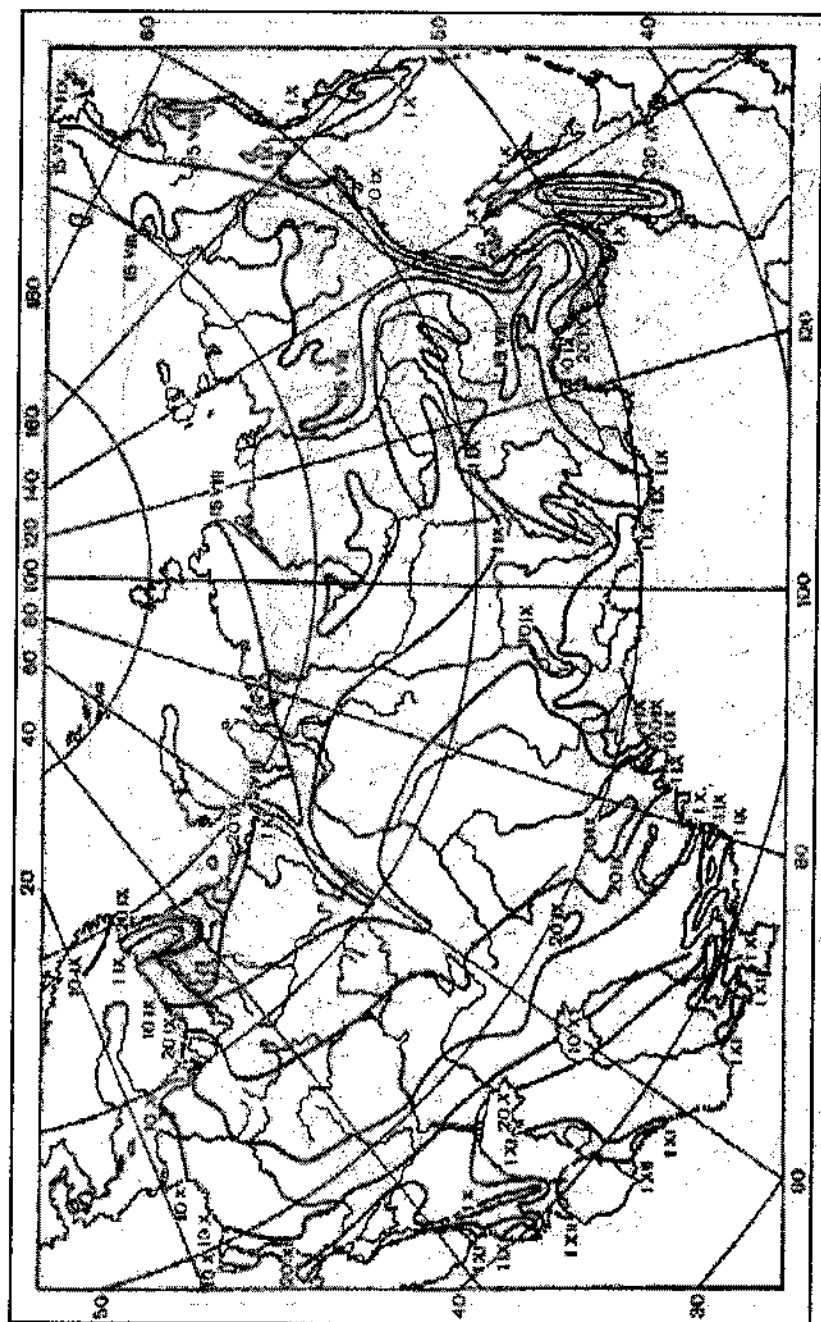


Рис. 2.2. Средние многолетние даты окончания весенних заморозков в воздухе на ровном открытом месте на территории Российской Федерации и сопредельных государств



заморозка), характеризуют средние условия в основном равнинных территориях.

На европейской части России средняя дата прекращения заморозков весной почти равномерно перемещается с юга на север от начала апреля до середины июня. Раньше всего заканчиваются заморозки на Черноморском побережье Кавказа — в конце февраля, беззаморозковый период превышает здесь 300 дней. В северных областях Казахстана, в Восточной Сибири, в средней полосе России и в ее северо-западном регионе весенние заморозки прекращаются во второй половине мая — начале июня, а беззаморозковый период составляет 90...120 дней.

В мае, в период массовых всходов яровых зерновых и цветения плодовых культур, вероятность заморозков интенсивностью -3°C и ниже сохраняется на территории Российской Федерации повсеместно (рис. 2.4).

Осенние заморозки на юге страны начинаются в начале ноября (на Черноморском побережье Кавказа — в начале декабря), в северных сельскохозяйственных районах европейской территории России и в Восточной Сибири — в конце августа. Почти широтное направление изохрон средних дат прекращения и начала заморозков нарушается на западе европейской части страны и в районах, прилегающих к Балтийскому морю, где заморозки весной прекращаются раньше, а осенью начинаются позже под влиянием более теплых воздушных масс, поступающих с запада и юго-запада.

Нарушение принципа широтности изолиний наблюдается также на Северном Кавказе, Урале, в азиатских республиках бывшего СССР и в Восточной Сибири за счет влияния на даты начала и окончания заморозков горных систем (сложность рельефа, высота над уровнем моря, экспозиция склонов и т. п.). В горных районах конфигурация изохрон дат заморозков в значительной мере повторяет конфигурацию изогипс — *линий, соединяющих на карте точки с одинаковой абсолютной высотой над уровнем моря и в совокупности отражающих рельеф местности*. В горах весенние заморозки оканчиваются в среднем на 2...4 дня позднее, а осенние наступают на 2...3 дня раньше на каждые 100 м относительной высоты подъема.

Заморозки заканчиваются и начинаются в различных районах сельскохозяйственной зоны при разных уровнях средней суточной температуры воздуха. Так, весной в западных районах России заморозки обычно прекращаются до устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 10°C , поэтому их опасность для плодовых и теплолюбивых культур незначительна. В континентальных районах заморозки отмечаются после установления сред-

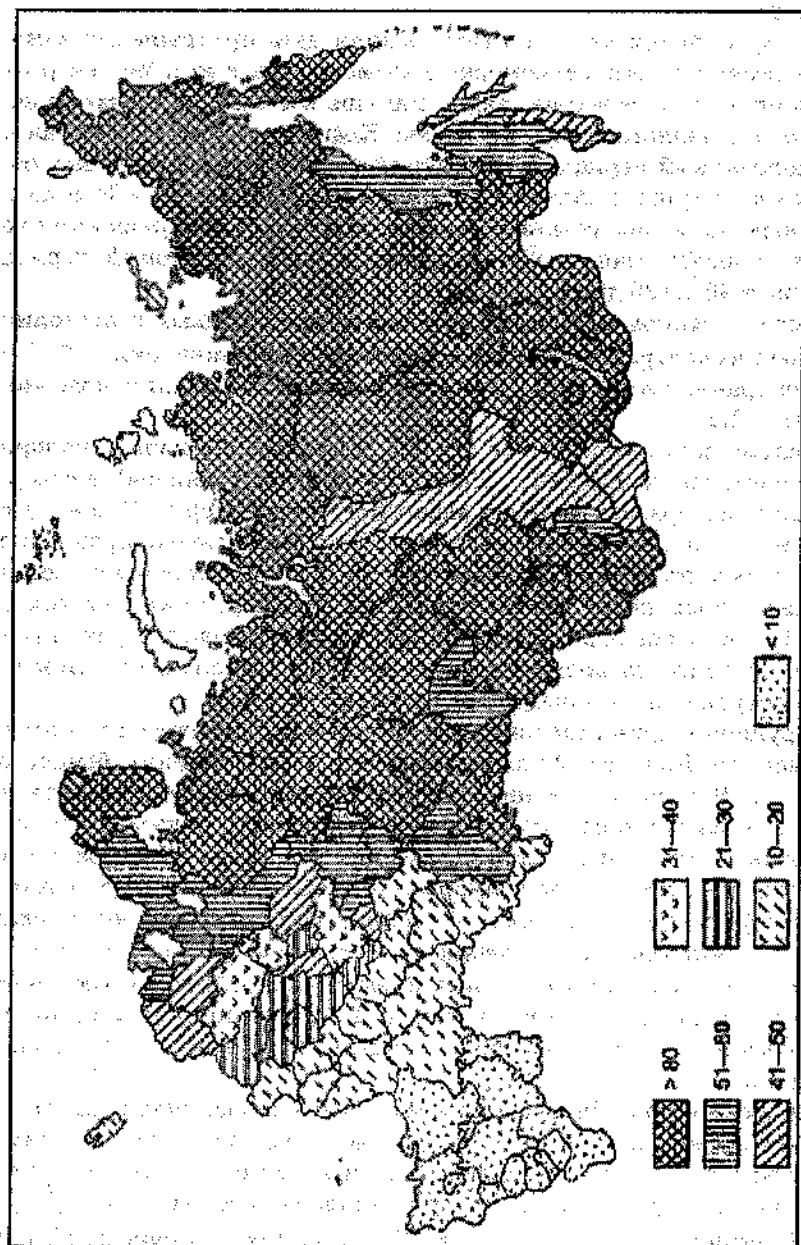


Рис. 2.4. Карта вероятности лет с заморозками (%) на поверхности почвы интенсивностью -3°C и ниже в мае на территории субъектов Российской Федерации (по Е. К. Золдае, Л. И. Овчаренко, 2000)

ней суточной температуры воздуха выше 10 °С, т. е. в период активной вегетации растений, потери их зимней закалки, в связи с чем заморозки там чрезвычайно опасны для плодовых культур и сельскохозяйственных посевов. Особенно заморозкоопасны земельные районы Северного Кавказа и Восточной Сибири, где в отдельные годы могут повреждаться поздние посевы зерновых культур в период их молочной спелости.

В различные годы заморозки прекращаются или начинаются раньше или позже их средней многолетней даты. Для оценки степени заморозкоопасности территории пользуются специальными таблицами, с помощью которых рассчитываются вероятности их прекращения и начала (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Даты последнего заморозка в воздухе весной с различной вероятностью

Средняя дата	Вероятность окончания заморозков в указанные даты и более поздние, %							Самая поздняя дата
	95	90	75	50	25	10	5	
Закарпатская область, станция Ужгород								
18 IV	26 III	31 III	08 IV	18 IV	30 IV	09 V	18 V	29 V
Горьковская область, станция Ветлуга								
21 V	01 V	05 V	13 V	21 V	29 V	06 VI	10 VI	18 VI
Читинская область, станция Чара								
16 VI	06 VI	08 VI	12 VI	16 VI	20 VI	24 VI	26 VI	30 VI

В справочниках по агроклиматическим ресурсам характеристика средних дат заморозков дополнена сведениями о самых поздних весной и самых ранних осенью датах, о наименьшей длительности беззаморозкового периода, данными о вероятности окончания или начала заморозка раньше или позднее заданной даты. Используя эти данные, в каждом районе можно определить оптимальные сроки сева теплолюбивых культур, высадки рассады овощных, а также сроки уборки сельскохозяйственных культур. По специальным графикам обычно рассчитывают вероятность прекращения или начала заморозков различной интенсивности (рис. 2.5).

Влияние заморозков на сельскохозяйственные культуры. Устойчивость растений к заморозкам и степень их повреждения зависят от многих факторов: времени наступления, интенсивности и продолжительности заморозка, вида, сорта и фазы развития растений, условий выращивания, скорости оттаивания тканей растений, поврежденных заморозком, и т. п. Все биологическое разнообразие основных сельскохозяйственных культур условно разделено на пять групп по степени их устойчивости к заморозкам в различные

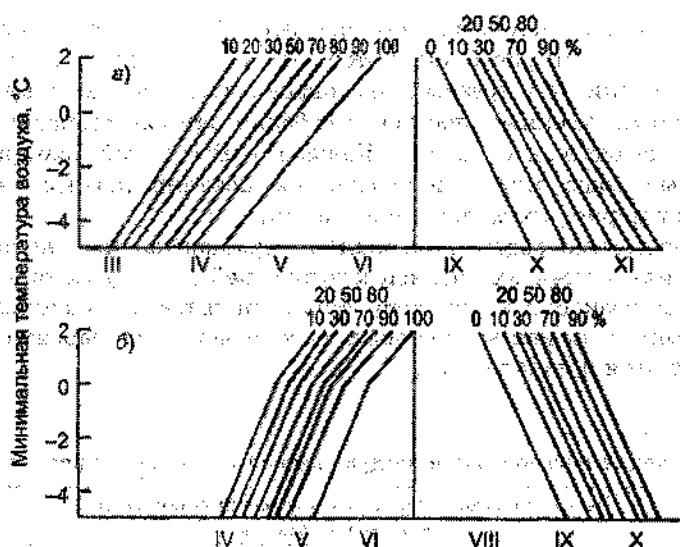


Рис. 2.5. График для расчета вероятности прекращения весенних и начала осенних заморозков различной интенсивности в воздухе
а — Полесье; б — Западная Сибирь

фазы развития при средней продолжительности заморозков 5...6 ч (табл. 2.2).

Заморозкоустойчивостью называется *устойчивость растений к отрицательным температурам*. В теплое время года (позднелесенный, летний, раннеосенний период вегетации) в процессе роста и развития растения утрачивают приобретенную в холодные месяцы устойчивость к низким температурам. В начальный период роста растения наиболее устойчивы к заморозкам, поскольку еще сохраняется их „закалка”. **Закаливанием растений** называется *процесс повышения их морозоустойчивости (холодоустойчивости) в условиях постепенного снижения температуры окружающей среды, сокращения продолжительности светового дня, когда остаются нависающими ростовые процессы в тканях растений*.

Слабые заморозки в этот период мало сказываются на уровне и качестве будущего урожая. Позднелесенные заморозки, когда заморозкоустойчивость растений снижена или полностью потеряна, замедляют их развитие, что снижает конечный урожай на 10...15 %. Наиболее опасны заморозки в период цветения и созревания, поскольку генеративные органы растений наименее устойчивы к заморозкам — их повреждение наступает при температурах несколько ниже 0 °С. Кратковременные заморозки растения переносят с меньшими повреждениями, чем длительные.

Таблица 2.2

Устойчивость сельскохозяйственных культур к заморозкам в разные фазы развития (по В. Н. Степанову, 1948)

Культура	Начало повреждения и частичная гибель, °С		
	всходы	цветение	созревание (молочная спелость)
Наиболее устойчивые			
Яровая пшеница	-9... -10	-1... -2	-2... -4
Овес	-8... -9	-1... -2	-2... -4
Ячмень, чечевица, горох	-7... -8	-1 (-2)... -2 (-3)	-2 (-3)... -4
Устойчивые			
Люпин многолетний	-6... -8	-3	-3
Вика яровая	-6... -7	-3	-2... -4
Люпин узколистный, бобы, подсолнечник	-5... -6	-2... -3	-2... -3
Лен, конопля	-5... -7	-1... -2	-2... -4
Сахарная свекла, мор- ковь, брюква, турнепс	-6... -7	-2... -3	—
Среднеустойчивые			
Люпин желтый	-4... -5	-2... -3	—
Соя	-3... -4	-2	-2... -3
Редис	-4... -5	—	—
Могар	-3... -4	-1... -2	—
Малоустойчивые			
Кукуруза	-2... -3	-1... -2	-2... -3
Просо, сорго, картофель	-2... -3	-1... -2	-1... -2
Неустойчивые			
Огурцы, томаты	-0... -1	-0... -1	-0... -1
Гречиха	-1... -2	-1	-1,5... -2
Хлопчатник	-0,5... -1	-0,5... -1	-1
Фасоль	-1... -1,5	-0,5... -1	-2
Рис	-0,5... -1	-0,5	—
Бахчевые	-0,5... -1	-0,5... -1	-0,5... -1

Критическая температура растений — это пороговое значение температуры окружающей среды, ниже которого наступает гибель растения. Например, для большинства сортов озимой пшеницы критическая температура почвы зимой на глубине узла кущения колеблется от -14 до -20 °С в зависимости от условий „за-

калки", для озимой ржи — от -20 до -30 °С, для клевера — от -10 до -20 °С. После интенсивных оттепелей критическая температура озимых культур повышается, а в случаях возврата холодов растения погибают при менее низких температурах, чем те, при которых проходила „закалка”.

Отдельные части растений имеют различную морозоустойчивость, поэтому характер повреждения растения определяется интенсивностью заморозка (табл. 2.3). Специалистами-плодоводами замечено, что степень морозоустойчивости культур в определенной степени зависит и от условий погоды. Например, цветки растений, раскрывающиеся в прохладную погоду, становятся более стойкими в случае наступления заморозков, поскольку их критическая температура оказывается на $1...3$ °С более низкой, чем у цветков, распустившихся при более высокой температуре воздуха. Этот эффект связан с закаливающим, адаптационным действием пониженных температур, а также с амплитудой суточных колебаний температуры в период до наступления заморозка: чем больше амплитуда, тем выше степень закаливания и тем меньше ущерб для будущего урожая. На степень повреждения растений заморозками оказывает влияние и вид минерального удобрения. Так, азотные удобрения снижают устойчивость к заморозкам большинства сельскохозяйственных культур, но повышают устойчивость бобовых. Обильное калийное питание повышает устойчивость гречихи и картофеля, но снижает устойчивость кукурузы, сои и др.

Таблица 2.3

Критическая температура повреждения различных частей растений некоторых плодово-ягодных культур

Культура	Часть растения, повреждаемая заморозком	Критическая температура, °С
Виноград	Распустившиеся почки	-1
	Цветки	0
Яблоня, груша, вишня, слива	Закрытые бутоны	-4
	Цветки	-2
	Плодовые завязи	-1
Черешня	Бутоны и цветки	-2
	Плодовые завязи	-1
Абрикос, персик	Закрытые бутоны	-3
	Цветки	-2
	Плодовые завязи	-1
Малина, земляника	Цветки и завязи	-2

Прогноз заморозков. Известно, что заморозки наносят значительный ущерб сельскохозяйственному производству. Однако своевременное предупреждение о сроках наступления заморозков способствует снижению ущерба, а в отдельных случаях позволяет избежать их тяжелых последствий для растениеводства. Для предупреждения наступления заморозков разработаны методы их прогноза.

Вторжение холодных масс воздуха, обуславливающих адвективные и адвективно-радиационные заморозки на больших территориях, достаточно надежно прогнозируются синоптиками с заблаговременностью 1—3 сут. Так как в зависимости от местных условий интенсивность заморозков может быть различной (рельеф, крупные водные объекты, лесные массивы и т. п.), агрометеоролог, знающий местные условия, должен уточнить синоптический прогноз для своей территории. Например, Михалевский предложил следующие формулы:

$$T_{\min(s)} = t' - (t - t') C \pm A, \quad (2.1)$$

$$T_{\min(n)} = t' - (t - t') 2C \pm A, \quad (2.2)$$

где $T_{\min(s)}$ и $T_{\min(n)}$ — минимальная температура воздуха и почвы соответственно; t и t' — температура по сухому и смоченному термометрам в 13 ч соответственно, °C; C — коэффициент, зависящий от относительной влажности воздуха f в 13 ч, находится по данным (табл. 2.4); A — поправка на облачность, которую вводят после наблюдений в 19 ч: при незначительной облачности (0...3 балла) $A = -2$ °C; при средней облачности (4...7 баллов) $A = 0$, т. е. поправка не вносится; при облачности 8...10 баллов $A = 2$ °C.

Таким образом, если рассчитанная минимальная температура оказывается ниже -2 °C, то заморозок возможен; при температурах от -2 до 2 °C заморозок вероятен, а если температура выше 2 °C, то заморозок маловероятен.

Таблица 2.4

Зависимость коэффициента C от относительной влажности воздуха f в 13 ч

f	100	95	90	85	80	75	70	65	60	50	40	30	25	15
C	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,8	1,5	1,2	0,9	0,7	0,5	0,3

Простой и весьма надежный графический способ расчета вероятности заморозка в ближайшую ночь предложил П. И. Вронов (рис. 2.6). Для этого используют результаты наблюдений за температурой воздуха в метеорологической будке в 13 и 21 ч. На горизонтальной оси графика откладывают разность температур за эти

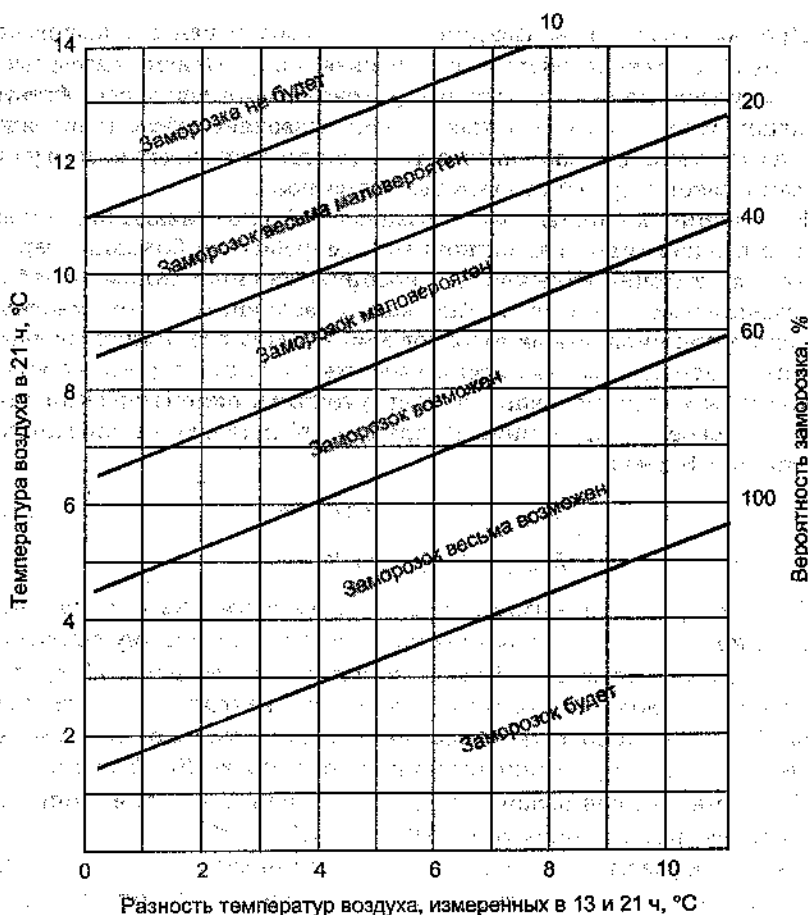


Рис. 2.6. График для прогноза вероятности заморозков по методу П. И. Броунова

сроки, на вертикальной оси — температуру за 21 ч. Точка пересечения наблюдаемых значений температуры воздуха в поле графика укажет вероятность заморозка.

В оперативной практике синоптиков используются методы прогноза, более полно учитывающие физические причины возникновения заморозков (методы М. Е. Берлянда, А. Ф. Чудновского и др.).

Агрометеорологи, работающие на сети станций, должны знать и грамотно использовать местные признаки погоды, особенно в заморозкоопасные периоды.

Методы защиты сельскохозяйственных культур от заморозков. Для защиты сеяных сельскохозяйственных культур от заморозков применяют различные методы, объединяемые понятием *борьба с*

заморозками. Локальные агротехнические, технологические и технические мероприятия проводятся с целью уменьшения потерь тепла растениями за счет собственного излучения и искусственного повышения температуры нижнего слоя приземного воздуха.

Наиболее распространенным методом защиты растений от заморозков является *дымление* — создание *дымовой (аэрозольной) завесы*. Дымовая завеса образуется вследствие температурной инверсии в приземном слое воздуха. Дым, охлаждаясь в нижнем слое воздуха, быстро теряет подъемную силу, и внутри слоя инверсии растекается горизонтально на некоторой высоте над поверхностью посевов. Повышение температуры подстилающей поверхности и приземного слоя воздуха под дымовой завесой обусловлено комплексом факторов: обогревом воздуха теплым дымом при вялом горении дымообразующих куч (или специальных дымовых шапек, нефтяных горелок), конденсацией водяного пара в воздухе с выделением тепла, уменьшением эффективного излучения земли и растений.

В утренние часы дымовая завеса, закрывая растения от прямых солнечных лучей, способствует более медленному и равномерному оттаиванию тканей растений, если они подмерзли, и, следовательно, уменьшению степени повреждения. При штиле или слабом ветре на ровных участках, когда нет подтока холодного воздуха, т. е. при радиационных заморозках, с помощью дымления можно повысить температуру воздуха на 1...2 °С. При ветре, т. е. при адвективных заморозках, а также в условиях холмистой местности, эффект дымления резко снижается из-за быстрого рассеивания тепловых потоков дыма и разрушения слоя инверсии над защищаемыми растениями.

Для защиты растений от заморозков широко применяются также *полив* или *дождевание посевов (посадок)*, *увеличивающие теплопроводность почвы, приток тепла из более глубоких слоев к ее поверхности, что может повысить температуру в холодные ночи на 2 °С*. Кроме этого, повышаются влагосодержание приземного слоя воздуха и температура точки росы. *Дождевание* — это агротехнический способ подачи воды на поверхность почвы и растений в виде искусственного дождя с помощью специальных дождевальных машин или установок. Дождевание имеет ряд преимуществ перед методом поливов: возможность более частого увлажнения как до наступления заморозков (за несколько часов), так и непосредственно в часы с отрицательными температурами. Кроме того, расход нормы воды на единицу площади значительно меньше по сравнению с поливом, меньше и глубина промачивания почвы, что весьма важно в условиях близкого залегания грунтовых вод.

Предзаморозковое дождевание эффективно при заморозках до -2°C и ветре 1,5...2 м/с, а также при заморозках до -4°C и штиле. Эффективность этого способа, как и при орошении, обусловлена увеличением теплопроводности почвы и повышением температуры точки росы.

К числу агротехнических приемов относится размещение посевов сельскохозяйственных культур (в том числе садов и виноградников) на наименее „морозобойных” площадях, в том числе на возвышенностях и склонах, меньше подверженных заморозкам. Для этого в пределах конкретного хозяйства заблаговременно составляются микроклиматические карты распределения минимальных температур в период радиационных заморозков. Они дают представление о заморозкоопасности различных участков землепользования, позволяют заранее готовить средства защиты от заморозков, определять плантации для размещения наиболее теплолюбивых культур.

Известными приемами борьбы с заморозками являются также изменение времени посева на более поздние сроки, применение повышенных доз калийных удобрений, утепление растений. Для утепления применяют разнообразные светопрозрачные материалы — пленку, стеклянные „колпаки” (теплицы, парники, оранжереи и т. п.), а также тканые и подручные материалы. Эффективной считается присыпка землей молодых побегов картофеля, которые отрастают в дальнейшем с положительным эффектом для формирования урожая. Большая роль в снижении ущерба от заморозков принадлежит селекции по выведению заморозкоустойчивых культур, скороспелых сортов и др.

Для принятия оперативно-хозяйственных решений каждому землепользователю, независимо от форм собственности, необходимы данные о повторяемости и интенсивности заморозков на почве и в воздухе. Такие данные применительно к конкретным местным условиям используются для определения сроков посевов сельскохозяйственных культур, при разработке схем грамотного размещения посадок плодовых культур и виноградников на площадях, наименее подверженных радиационным и адвективно-радиационным заморозкам, для определения сроков уборки культур с целью снижения возможностей нанесения ущерба будущим урожаям.

В последние годы учеными предложены методы активного воздействия на заморозки с использованием специальных вентиляционных установок, стационарно установленных самолетных двигателей (выработавших свой летный ресурс), в заданное время подающих теплый воздух в среду растений. Во ВНИИСХМ (В. В. Вольвач и др.) разработан эффективный способ применения для борьбы с радиационными заморозками низко пролетающих над

посевами вертолетов. Работающие лопасти вертолетов типа МИ-2, МИ-4 создают мощные нисходящие потоки воздуха и перемешивают его более теплые верхние слои с охлажденными нижними слоями, разрушая при этом температурную инверсию. Эффект повышения температуры воздуха в приземном слое 0...50 см на 1,5...3,0 °С сохраняется в безветренную погоду в течение 25...35 мин. Недостатком метода являются ограничения для ночных полетов вертолетов даже в равнинных условиях.

К числу активных методов воздействия на заморозки относится и метод *нанесения тепловыделяющих* (экологически безопасных) *химических веществ* на поверхность почвы. Эти вещества — соли гидрида кальция — при взаимодействии с водяным паром воздуха и почвы выделяют тепло в течение нескольких часов. Скорость гидролиза небольшая, а время выделения тепла соизмеримо с продолжительностью радиационных и адвективно-радиационных заморозков. Опыты и расчеты, проведенные В. В. Вольвачем и Н. К. Диденко (ВНИИСХМ и НПО „Тайфун“), показали, что при расходе 200 г/м² температура у поверхности земли повышалась на 2,5...3 °С и сохранялась в течение нескольких часов, что обычно достаточно для предотвращения губительного действия заморозка.

Таким образом, для эффективной защиты сельскохозяйственных растений от заморозков необходимо использовать весь комплекс мероприятий, направленных на повышение продуктивности возделываемых культур, более полное использование сведений об *агроклиматических ресурсах территории* (см. главу 5) и снижение ущерба от этого опасного природного явления.

2.2. Засухи, суховеи и засушливые явления

К стихийным явлениям природы, наносящим значительный экономический, экологический и социальный ущерб сельскохозяйственному производству, относятся засухи и суховеи. Общая площадь территории с засушливым климатом составляет около 42 % суши, но эпизодические засухи наблюдаются на большей части суши.

Как метеорологическое явление засуха присуща тем областям России, которые характеризуются превышением испарения над естественным увлажнением. На территории стран СНГ более 70 % пахотных земель расположено в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения, на которых засухи различной интенсивности и продолжительности наблюдаются почти ежегодно. В России в отдельные годы засухи и суховеи охватывали большие площади зернопроизводства и порождали страшные бедствия: голод, нищету и смерть людей. В XVIII в. на территории России были 34 сильные засухи, в XIX в. — 40, в XX в. — более 35.

От сильных засух страдает не только сельскохозяйственное производство. В маловодные и засушливые годы мелеют реки, срабатываются запасы воды в водохранилищах, отчего серьезные убытки несут гидроэнергетика, судоходство. Значительный ущерб длительные засухи наносят состоянию лесов, водоснабжению населения, состоянию здоровья людей и т. п.

Засухам, суховеям, засушливым явлениям и мероприятиям по борьбе с их последствиями посвящено множество научных исследований. Известны десятки определений этих понятий, большинство из них предложены метеорологами, агроклиматологами, агрономами, физиологами растений.

Засуха — естественное, обусловленное циркуляционными процессами в атмосфере явление природы, характеризующееся длительным отсутствием осадков (или значительным их сокращением по сравнению со средними многолетними нормами), повышенными температурами воздуха, почвы и ветрами. В комплексе это приводит к резкому снижению влажности воздуха, истощению запасов почвенной влаги, нарушению водного баланса растений и животных, к недобору сельскохозяйственной продукции, а в экстремальных условиях — к гибели всего урожая сельскохозяйственных культур и даже людей. Длительные и интенсивные засухи создают благоприятные условия для возникновения пожаров и горимости лесов. Особую опасность засухи представляют при их сочетании с неблагоприятными условиями предшествующих периодов осени и зимы (сухая осень, малоснежная зима, глубокое промерзание почвы и т. п.). Общая схема образования засухи представлена на рис. 2.7.

В более узком понимании *засуха* — это агрометеорологическое явление, вызывающее резкое несоответствие между нормальной потребностью растений во влаге и ее поступлением из почвы. Следствием такого несоответствия становится снижение урожайности сельскохозяйственных культур. При длительных и интенсивных засухах урожайность культур оказывается очень низкой, а при экстремальных засухах гибель растений может наступить еще до формирования урожая.

Суховей — это ветер при высокой температуре и большом недостатке насыщения влагой воздуха, вызывающий угнетение или гибель растений. В отличие от засух суховеи, как правило, непродолжительны (от нескольких часов до нескольких суток). Высокая температура ($> 25^{\circ}\text{C}$), низкая влажность воздуха ($< 30\%$), дефицит влажности воздуха (20...22 гПа) и скорость ветра не менее 5 м/с при суховеях являются результатом локального прогревания воздушных масс (чаще всего арктического происхождения) над сильно прогретой земной поверхностью и нисходящего движения воздуха при антициклонах.

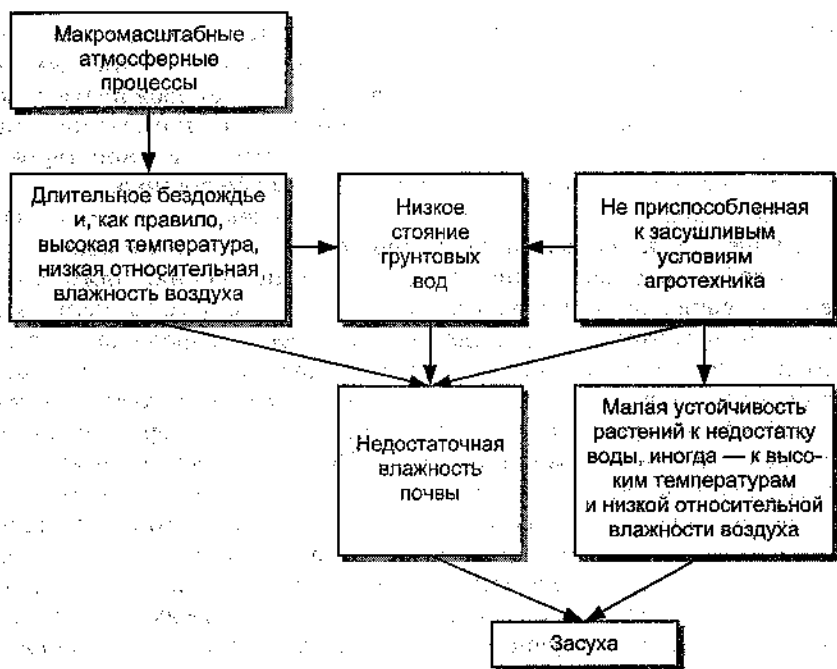


Рис. 2.7. Общая схема образования засухи (по Ф. Ф. Давитая, 1966)

Под воздействием суховея происходит интенсивное испарение с поверхности почвы, обезвоживание тканей растений в результате транспирации, вследствие чего нарушается водный баланс растений и весь комплекс физиологических процессов: фотосинтез, дыхание, углеводный и белковый обмен. Снижение фотосинтетической деятельности подавляет ростовые функции; нарушаются процессы органогенеза. *Органогенез — это процесс возникновения, формирования и развития органов растения (корня, побегов, листьев, цветков) в течение индивидуальной жизни растения (онтогенез) из участков недифференцированной ткани — меристемы.* Например, у зерновых культур в период формирования репродуктивных органов под воздействием суховея увеличивается число бесплодных цветков, уменьшается число колосков и зерен в колосе. В конечном счете суховеи приводят к снижению продуктивности сельскохозяйственных культур.

От засух и суховея необходимо отличать *засушливые явления* — отдельные гидрометеорологические (агрометеорологические) явления или их сочетания, которые обуславливают временное угнетение растений и животных от недостатка влаги. Например, отсутствие осадков при жаркой ветреной погоде, но при

достаточных запасах влаги в почве приводит к потере тургора, или гидростатического давления внутри клеток в тканях растений, в дневные часы. В ночные часы за счет запасов влаги в почве тургор восстанавливается. Иногда термин „засушливые явления” используется для характеристики климата той или иной территории, где они наблюдаются в течение какого-либо периода.

Многочисленные исследования происхождения засух и суховеев показали, что их образование на территории России связано с циркуляцией атмосферы, приводящей к установлению длительного периода антициклонической погоды. Примерно в 70 % случаев обширный антициклон, приходящий из Арктики, формируется над европейской частью России и Западной Сибирью. В антициклонах движение воздуха происходит по часовой стрелке, вследствие этого на южной периферии арктического антициклона ветры имеют восточное и юго-восточное направления. Поэтому на юге и юго-востоке европейской части страны суховеи имеют преимущественно юго-восточное, восточное и северо-восточное направления, в Западной Сибири — юго-западное, а в азиатских республиках СНГ — северное. Существовавшее длительное время мнение о распространении суховеев из азиатских пустынь оказалось ошибочным. Такие антициклоны, характеризующиеся низкой влажностью, малоподвижностью и высокой прозрачностью воздуха, формируют длительную ясную или малооблачную погоду над обширной территорией. Арктический воздух быстро прогревается, становится еще более сухим, усиливаются потери влаги за счет испарения и транспирации растений, наступает атмосферная, а затем и почвенная засуха. В дневные часы вследствие неравномерного нагрева земной поверхности усиливается ветер, создающий вихревые потоки (смерчи) на равнинах; возникают суховейные явления или суховеи.

Существуют три типа засух: атмосферная, почвенная и атмосферно-почвенная. Атмосферная засуха — это длительная (многодневная, многомесячная, многолетняя) аномально сухая погода обычно с повышенными (иногда очень высокими) температурами воздуха, с отсутствием или незначительным количеством атмосферных осадков, приводящая к истощению запасов влаги в почве и резкому снижению влажности воздуха; обычно предшествует почвенной засухе. В районах поливного земледелия обычным следствием атмосферной засухи является низкий приток воды с водосборной площади к водохранилищам, истощение запасов воды в водохранилищах и оросительных системах и нарушение водно-солевого баланса почвы.

Почвенная засуха — это иссушение почвы (в первую очередь ее корнеобитаемых горизонтов), уменьшающее влагообеспеченность растений, вызывающее их угнетение, задержку роста, снижение

продуктивности. В экстремальных условиях сильное, длительное иссушение почвы в сочетании с высокими температурами воздуха и почвы приводит к полной потере физиологически доступной растениям влаги (ниже влажности устойчивого завядания) и к гибели растений. Почвенная засуха является следствием атмосферной засухи, суховея при отсутствии орошения сельскохозяйственных угодий.

Атмосферно-почвенная засуха — это сочетание условий, характеризующих атмосферную и почвенную засуху. Такая засуха представляет наибольшую опасность для сельскохозяйственных культур. В случаях высокой интенсивности и продолжительности она считается опасным природным явлением.

По интенсивности различают засухи: слабые, средние, сильные и очень сильные. Их количественные характеристики отражают в основном локальные условия, поэтому могут использоваться в практической работе только в тех районах, для территории которых они получены.

По территориальному признаку засухи делят (по И. Е. Бучинскому) на локальные (до 10 % посевной площади), обширные (11...20 %), весьма обширные (21...30 %), чрезвычайные (31...50 %), катастрофические (более 50 %), называемые также в зарубежной научной литературе континентальными.

Засухи различают по времени наступления (по сезонам года).

Весенняя засуха характеризуется невысокими температурами и низкой влажностью воздуха, малыми запасами продуктивной влаги в почве, сухими ветрами, выносящими влагу с поверхности почвы с разреженным растительным покровом. Продолжительная засуха весной существенно снижает конечный урожай даже в условиях благоприятного по степени увлажнения лета.

Летняя засуха обычно отличается высокими температурами, горячими сухими ветрами (суховейми), вызывающими повышенное испарение влаги из почвенных горизонтов и интенсивную транспирацию растений. Засушливость летних месяцев, когда происходит закладка и формирование генеративных органов растений, значительно снижает урожайность сельскохозяйственных культур, вызывает щуплость зерна, иногда наблюдаются явления „запала растений” и „захвата зерна”. Запал растений — одна из форм повреждения чрезмерно высокими температурами воздуха и почвы, особенно в условиях суховея, в результате сильного перегрева всех органов растения, нарушения его водного баланса и частичного разрушения хлорофилла. Внешними признаками являются: изменение окраски листьев, нарушение налива зерна (щуплость, морщинистость зерновки), а также образование череззерницы или пустоколосья. Захват зерна — одна из форм повреждения зерна под влиянием суховея, она выражается в нарушении водного ба-

ланса растения, в быстром иссушении его надземных органов, в нарушении процессов опыления, в образовании череззерницы; при этом завязавшееся зерно обезвоживается, сморщивается, теряет массу и качество. Обычно эти два понятия употребляют как синонимы, поскольку в природных условиях обе формы повреждения проявляются одновременно.

Осенняя засуха характеризуется невысокими температурами воздуха и низкими запасами продуктивной влаги в корнеобитаемых горизонтах почвы. Такая засуха задерживает прорастание семян в почве, замедляет осенний цикл вегетации озимых культур, снижает их морозоустойчивость. Наиболее опасен этот вид засухи, если всходы не успевают укорениться и пройти фазу кущения; такие посевы обычно погибают в зимний период. В отдельные засушливые осени, когда пахотный горизонт не имеет необходимых запасов продуктивной влаги, посев озимых культур вообще нецелесообразен.

Зимняя засуха наступает в условиях отсутствия снежного покрова, при недостатке влаги в корнеобитаемых горизонтах замерзшей почвы, при повышенной температуре воздуха ($> 0^{\circ}\text{C}$), когда возобновляется транспирация озимых культур, усиливающаяся при солнечной и ветреной погоде. В таких условиях происходит обезвоживание и увядание надземных органов и даже их гибель от недостатка почвенной влаги.

Методы оценки засух, суховеев и засушливых явлений. Ученые различных специальностей предложили множество методов оценки засух, суховеев, засушливых явлений, исходя из своей профессиональной ориентации. Ряд методов предложен синоптиками, климатологами, метеорологами, агрометеорологами, физиологами растений, почвоведомы и др. Приведем несколько примеров.

П. И. Колосков (1947) предложил использовать для оценки степени засушливости территории показатель засушливости V , как отношение количества осадков P к разности давления насыщения E при данной температуре и фактического давления водяного пара e :

$$V = kP/E - e, \quad (2.3)$$

где k — коэффициент пропорциональности.

Для европейской территории России (по А. И. Руденко, 1958) *очень сильная засуха* возникает в условиях, когда за вегетационный период количество выпавших осадков составляет менее 40...50 % нормы, количество засушливых декад 4,5...5,4, а средняя температура воздуха превышает норму на 1,8...3,8 $^{\circ}\text{C}$. При осадках за вегетационный период 62...70 % нормы, при 3,5...4,2 засушливых декад и превышении температуры воздуха на 2,1...2,3 $^{\circ}\text{C}$ возникает *сильная засуха*. Если осадков выпадает 69...93 % нормы

при 2,8...3,2 засушливых декад и положительной аномалии средней температуры на 1,1...2,2 °C, то это считается *средней засухой*.

Весьма обобщенным критерием этих видов засухи считается уровень снижения урожайности. Так, слабые засухи характеризуются снижением урожайности на 10...15 %, средние — на 25 %, сильные — на 50 %, очень сильные — более чем на 50 % от среднего многолетнего значения.

Надежным критерием оценки засушливости периода является количество продуктивной влаги в корнеобитаемых горизонтах почвы. Например, по данным М. С. Кулика, снижение запасов влаги в слое 0...20 см до 19...10 мм характеризует засушливый период. При запасах менее 10 мм начинается почвенная засуха. Если в межфазный период кушение — молочная спелость зерновых культур в течение трех декад подряд запасы продуктивной влаги в слое 0...20 см составляют менее 10 мм, то наступает *засуха средней интенсивности*; при длительности 4...5 декад — *сильная засуха*. Снижение запасов влаги в слое 0...100 см до 60 мм означает *очень сильную засуху*.

Для оценки засух Н. В. Бова (1949) предложил показатель засушливости K , рассчитываемый по формуле

$$K = 10 (W_{\text{пр}} + R) / \sum t, \quad (2.4)$$

где $W_{\text{пр}}$ — запасы продуктивной влаги (мм) весной в слое почвы 0...100 см; R — количество осадков (мм), выпавших от начала весны до даты расчета; $\sum t$ — сумма средних суточных температур воздуха от даты перехода температуры через 0 °C до даты расчета. Началом засухи по этим расчетам считается $K = 1,5$, так как при этом значении коэффициента начинается повреждение засухой яровой пшеницы на юго-востоке европейской части России.

Весьма удобным показателем для оценки атмосферных засух за многолетний период на больших территориях является *гидротермический коэффициент (ГТК Селянинова)* (1958), представляющий собой *относительный (безразмерный) показатель увлажненности территории*. Он определяется отношением суммы осадков (R) в мм за период со средней суточной температурой воздуха выше 10 °C к сумме средних суточных температур ($\sum T$) за этот же период, уменьшенной в 10 раз (что весьма близко характеризует испаряемость):

$$\text{ГТК} = \sum R / 0,1 \sum T. \quad (2.5)$$

Показателем *очень сильных засух* может служить ГТК, равный 0,3 и менее, *сильных засух* — ГТК от 0,31 до 0,6; *средних засух* — ГТК от 0,61 до 0,8; *слабых* — ГТК от 0,81 до 1,0.

Для оценки атмосферно-почвенных засух профессор Е. С. Уланова (1975, 1988) наряду с осадками и температурой воздуха использует данные о запасах продуктивной влаги и коэффициент увлажнения K_1 , с помощью которого можно проводить оценку влияния этого типа засух на урожайность зерновых культур:

$$K_1 = W_{(0...100)} + \sum R_{(v-v_1)} / 0,01 \sum T_{(v-v_1)}, \quad (2.6)$$

где $W_{(0...100)}$ — запасы продуктивной влаги в метровом горизонте почвы во время устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 5°C весной (мм); $\sum R_{(v-v_1)}$ — сумма осадков за май—июнь (мм); $\sum T_{(v-v_1)}$ — сумма средних суточных температур воздуха за май—июнь.

Зависимость средней областной (краевой) урожайности озимой пшеницы (ц/га) от коэффициента K_1 на Северном Кавказе, юго-востоке Украины и в Поволжье (по данным Е. С. Улановой) представлена на рис. 2.8 и в табл. 2.5.

Показатель засухливости ($S_i(\tau)$) Д. А. Педя (1974) учитывает аномалии (отклонения от нормы) осадков (ΔR), аномалию температуры воздуха (ΔT) и влагозапасы в почве (ΔW):

$$S_i(\tau) = \Delta T / \sigma_T - \Delta R / \sigma_R - \Delta W / \sigma_W, \quad (2.7)$$

где $\sigma_T, \sigma_R, \sigma_W$ — средние квадратические величины; τ — время.

Эта зависимость отражает атмосферно-почвенную засуху, наиболее опасную для сельскохозяйственных растений. Если вести расчеты по первым двум членам правой части формулы (2.7), то оценивается атмосферная засуха, если только по третьему члену, то возможна оценка почвенной засухи. Анализ применения этой формулы показал, что целесообразнее использовать ее для оценки небольших по площади районов (в пределах административных областей).

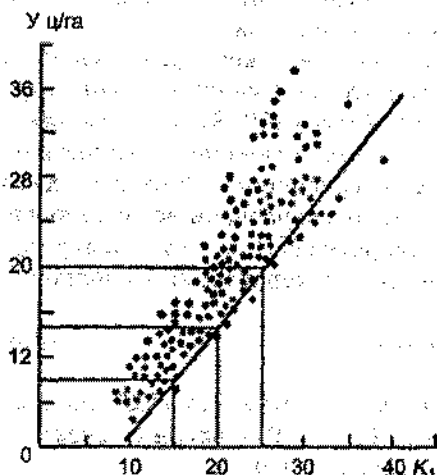


Рис. 2.8. Зависимость средней областной (краевой) урожайности озимой пшеницы (У ц/га) от коэффициента увлажнения (K_1) на Северном Кавказе, юго-востоке Украины и в Поволжье (по Е. С. Улановой, 1988)

Таблица 2.5

Значения коэффициента увлажнения (K_1) и соответствующая им урожайность озимой пшеницы (по Е. С. Улановой, 1988)

	Интенсивность засухи	Урожайность, ц/га
$K_1 < 15$	Очень сильная	8...10
$15 \leq K_1 < 20$	Сильная	10...15
$20 \leq K_1 < 25$	Средняя	15...20

Как видно из приведенных примеров и как показывает подавляющее большинство других известных нам критериев, засуху оценивают путем соотношения прихода и расхода влаги за определенные отрезки времени. Обычно это отношения поступившего количества влаги (осадки, запасы влаги в почве и др.) к их расходу (испаряемость, дефицит влажности воздуха и др.) с различными эмпирическими коэффициентами.

Агрометеорологическая сущность *суховеев* и степень повреждения ими растений были выявлены Е. А. Цубербиллер. Надежным показателем суховеев является дефицит влажности воздуха, а скорость ветра усиливает его воздействие на растения, поскольку непрерывное „продувание” в травостое повышает воздухообмен в среде растений и увеличивает их транспирацию и испарение с поверхности почвы. Как показывают наблюдения, скорость ветра при суховеях в большинстве случаев меньше 10 м/с, обычно в пределах 3...5 м/с. Высокая испаряемость при очень интенсивных суховеях обуславливает испарение более 8 мм в сутки (или 80 т воды с 1 га). Степень повреждения посевов суховеями в значительной мере зависит от интенсивности и продолжительности этого явления (обычно 1...2 недели), от запасов продуктивной влаги в корнеобитаемых горизонтах почвы. При достаточных запасах почвенной влаги растения, поврежденные дневным суховеем, успевают восстанавливать свой водный баланс за ночные часы. Причиной повреждения растений суховеями является несоответствие между фактическим расходом влаги и физиологической потребностью в ней растений, т. е. та же, что при засухах. В качестве показателя интенсивности суховеев и степени повреждения растений Е. А. Цубербиллер использовала также *эвапорометрический коэффициент* (K_2), выражающий отношение фактического испарения с естественной поверхности поля к испарению с водной поверхности (табл. 2.6).

При нормальном развитии зерновых культур значение K_2 в дневные часы сохраняется в пределах 0,8...1,5. Установлено также, что растения могут без повреждения переносить в течение пяти дней слабые суховеи и только 1...2 дня — очень сильные суховеи. Начало снижения тургора листьев у растений умеренного климата отмечают при дефиците насыщения влагой воздуха около 20 гПа.

Таблица 2.6

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

Суховей	Испаре- мость, мм/сут	Дефицит насыщения (гПа) в 13 ч при ско- рости ветра, м/с		Запасы продуктивной влаги (мм) в слоях поч- вы, см			Эвапо- метриче- ский коэф- фициент K_e	Характеристика степени поврежде- ния растений
		< 10	≥ 10	0...20	0...50	0...100		
Слабые	3...5	20...32	18...27	≤ 20	≤ 50	≤ 80	0,5...0,4	Легкое снижение тургора ли- стьев
Средней ин- тенсивности	5...6	33...39	28...32	≤ 10	≤ 30	≤ 50	0,3	Значительное снижение тургора листьев, их скручивание, по- желтение, подсыхание. Захват зерна через 3...5 сут
Интенсив- ные	6...8	40...52	33...45	≤ 10	—	≤ 30	0,2...0,1	Сильное увядание и усыхание вегетативной массы, захват зер- на через 2...3 сут
Очень ин- тенсивные	> 8	≥ 53	≥ 46	0	—	≤ 30	0,2...0,1	Быстрое и сильное повреждение вегетативной массы, захват зер- на через 1...2 сут

Детальные полевые и лабораторные исследования, выполненные Е. А. Цубербиллер, позволили выявить количественные значения показателей, при которых происходит повреждение зерновых культур в период засух и суховеев (табл. 2.7).

Таблица 2.7

Критические для зерновых культур значения дефицита насыщения, вызывающие повреждение растений при различных запасах влаги в почве (по Е. А. Цубербиллер, 1966)

Характер повреждений	Критические значения дефицита насыщения, г/га	Запасы продуктивной влаги (мм) в слоях почвы, см.	
		0...20	0...100
Легкое снижение тургора	20	< 20	< 100
Скручивание листьев	26	< 10	80...90
Значительное снижение тургора	33	10...15	70...80
Пожелтение листьев	33	< 10	< 50
Подсыхание листьев	40	0...5	< 50
Очень сильное снижение тургора	40	0...5	< 35
Побеление колосковых чешуй и захват зерна	40	< 10	< 35

Повторяемость и вероятность засух и суховеев в России и сопредельных странах СНГ. Вероятность засушливых лет широко варьирует по территории Российской Федерации. На европейской части страны вероятность засух увеличивается в направлении с северо-запада на юго-восток (рис. 2.9). В азиатской части России и сопредельных государствах такой четкой закономерности распределения вероятности засух не прослеживается (рис. 2.10). Это связано с влиянием горных систем и гидрологической сетью территорий.

В жарких и засушливых условиях равнинной части азиатских республик бывшего СССР повторяемость засух и суховеев наиболее высокая. Возникновение этих явлений охватывает период с апреля по сентябрь. Среднее число дней с засухой и суховеями за период май—сентябрь варьирует от 63 до 72 в различных районах этой территории, в зоне орошения оно значительно меньше — 16. Наибольшее число таких дней (до 25) отмечается в июле. Повторяемость этих явлений в южных республиках наблюдается в 90...100 % лет и только в предгорных районах и в орошаемой зоне лишь в 55...10 % лет; для этой территории Л. Н. Бабушкин предложил следующие градации оценки степени суховеистости летнего периода по дефициту насыщения в 13 ч (табл. 2.8).

При проведении анализа засух на территории бывшего СССР за 95 лет (1891...1985 гг.) Е. С. Уланова выделила *сильные засухи*,

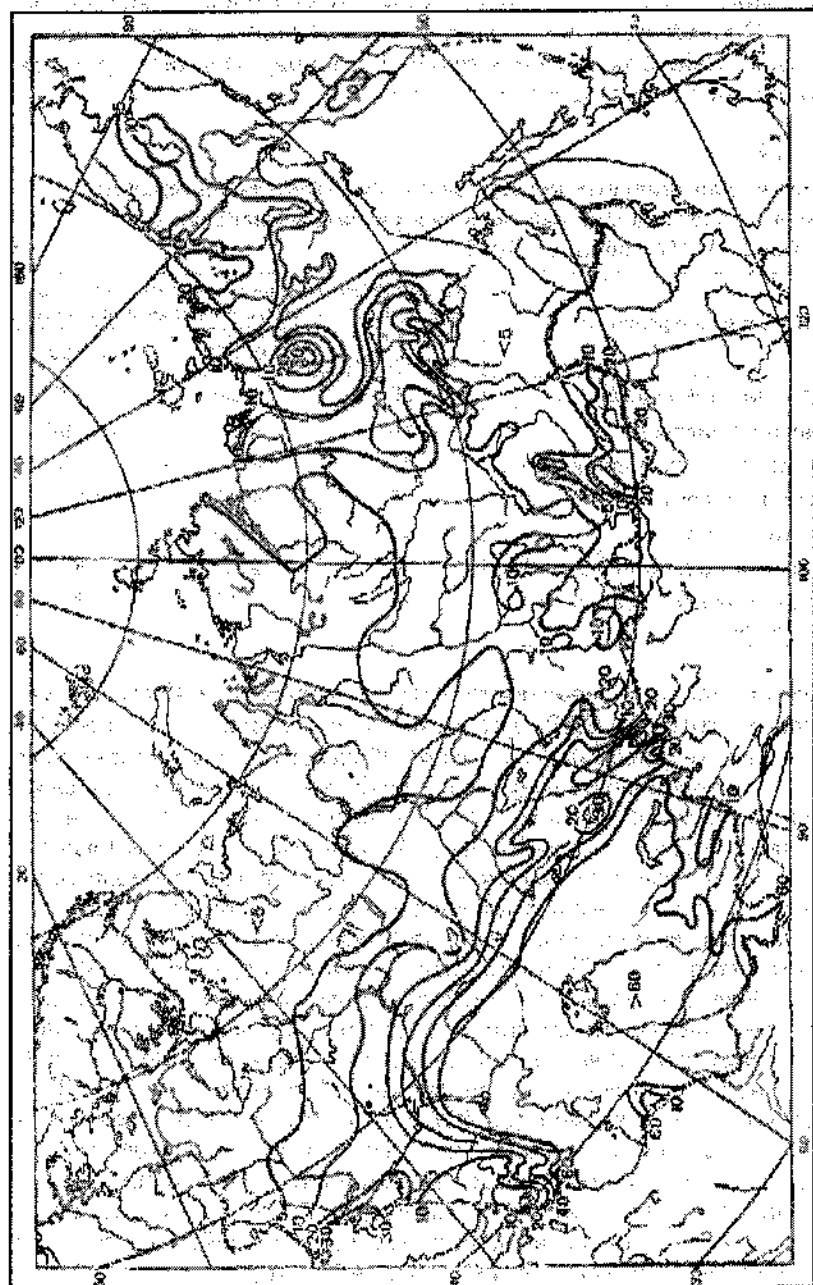


Рис. 2.9. Вероятность засух (%) на территории Российской Федерации и сопредельных государств

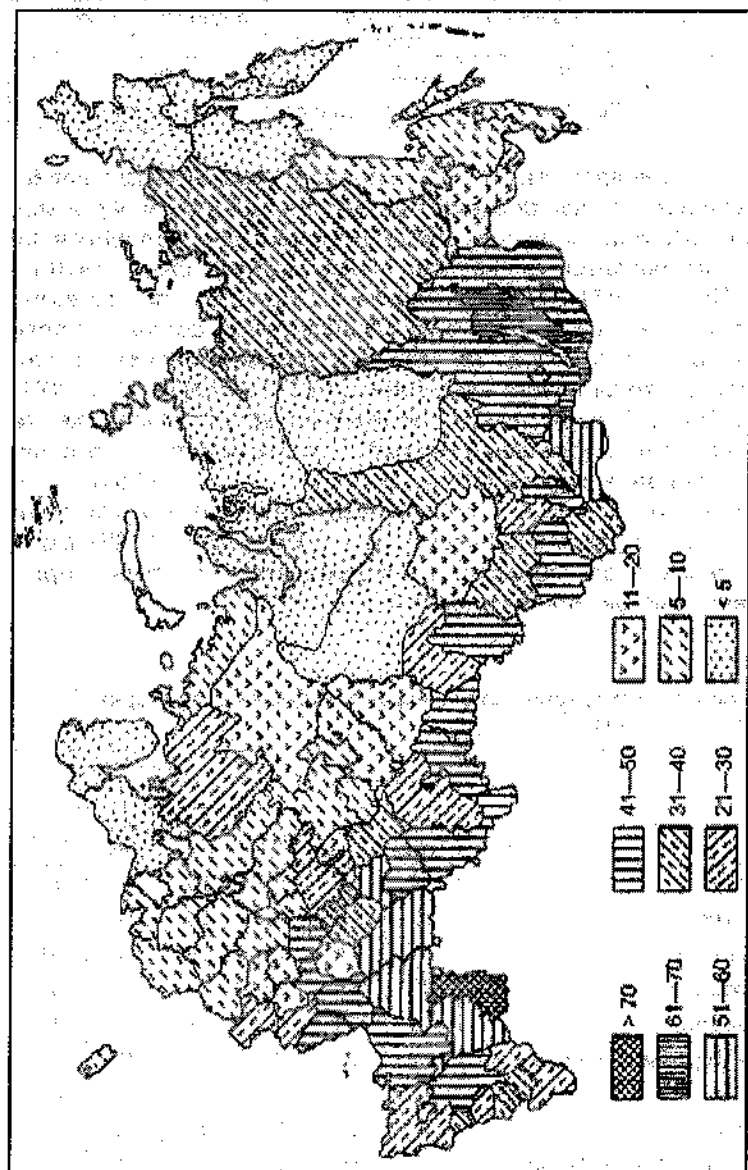


Рис. 2.10. Схематическая карта вероятности почвенной засухи (%) в пахотном слое почвы с запасами продуктивной влаги 20 мм и менее на дату сева основных сельскохозяйственных культур по субъектам Российской Федерации (по Е. К. Золдее, Л. И. Овчаренко, 2000)

Таблица 2.8

Градация оценки степени суховейности летнего периода

Степень суховейности	Дефицит насыщения, гПа	Степень суховейности	Дефицит насыщения, гПа
Слабая	50...60	Сильная	70...80
Средняя	60...70	Очень сильная	> 80

охватывающие одновременно 7...10 основных зерносеющих регионов, и *средние засухи*, наблюдаемые одновременно в 5...6 зерновых регионах. За эти годы наиболее неблагоприятными периодами по условиям формирования урожая зерновых культур были пятилетия: 1951...1955 и 1981...1985 гг., когда наблюдалось по две сильных и по одной средней засухе. Четко выраженной периодичности засух обнаружить не удалось, но зачастую сильные засухи приходились на первые годы нового десятилетия: 1891, 1901, 1911, 1921, 1931, 1951, 1981. В первые годы некоторых других десятилетий отмечались средние и локальные засухи, охватывающие 5...6 и менее зерновых районов страны (1941, 1961, 1971, 1991). Однако это не закономерность, так как в 2001 г. был собран очень высокий урожай зерновых культур в России. Е. С. Улановой (1988) была рассчитана вероятность сильных и средних засух на территории основных зерновых регионов (табл. 2.9).

Таблица 2.9

Вероятность сильных и средних атмосферных засух на территории СНГ за период с 1891 по 1985 г.

Территория	Число засух			Вероятность засух, %		
	сильных	средних	всего	сильных	средних	всего
Степь Украины	14	8	22	15	8	23
Лесостепь Украины	12	10	22	13	10	23
Северный Кавказ	14	14	28	15	15	30
Нижнее Поволжье	22	16	38	23	17	40
Среднее Поволжье	16	18	34	17	19	36
Центрально-Черноземные области	11	11	22	12	12	24
Южный Урал	22	18	40	23	19	42
Средний Урал	8	11	19	8	12	20
Волго-Вятский и Центральный районы (южная половина)	7	10	17	7	10	17
Западная Сибирь (степные районы)	9	16	25	9	17	26
Северный Казахстан	17	24	41	18	25	43

Как видно из этой таблицы, чаще всего сильные засухи наблюдаются в Нижнем Поволжье, на юге Урала и в северных областях Казахстана, где вероятность их составляет 18...23 %, вместе со средними засухами 40...43 %. В степных и лесостепных районах Украины, на Северном Кавказе и в Среднем Поволжье вероятность сильных засух снижается до 13...17 %, в Центрально-Черноземных областях, на Среднем Урале и в Западной Сибири — до 8...12 %. В большинстве этих районов высока вероятность средних засух, поэтому общая вероятность (сильных и средних засух) достигает 20...40 %. Повторяемость засух увеличивается с северо-запада на юго-восток на европейской части России и с севера на юг — на азиатской части.

На европейской части России интенсивные суховеи наблюдаются с апреля по сентябрь. Их повторяемость особенно высока в Поволжье и на территории Прикаспийской низменности — в эти месяцы отмечается до 40...80 суток с суховеями. В степной зоне интенсивные суховеи наблюдаются в 15...40 % лет, причем число суховейных дней в году варьирует от 1...3 до 15...25 в отдельные годы. В лесной зоне такие суховейные дни отмечаются весьма редко — 1...2 в 10 лет. Слабые суховеи в этой зоне отмечаются чаще: от 2...3 дней в году на северо-западе России до 10...15 дней на юге сибирской тайги. В лесостепной зоне среднее многолетнее число дней со слабыми суховеями колеблется от 14 на западе до 30 на востоке; в степной зоне соответственно от 30 до 60. Число дней с суховеями с 80-процентной вероятностью за теплый период (апрель—октябрь) в южных регионах России, Украины и Северного Казахстана представлено на рис. 2.11 и 2.12.

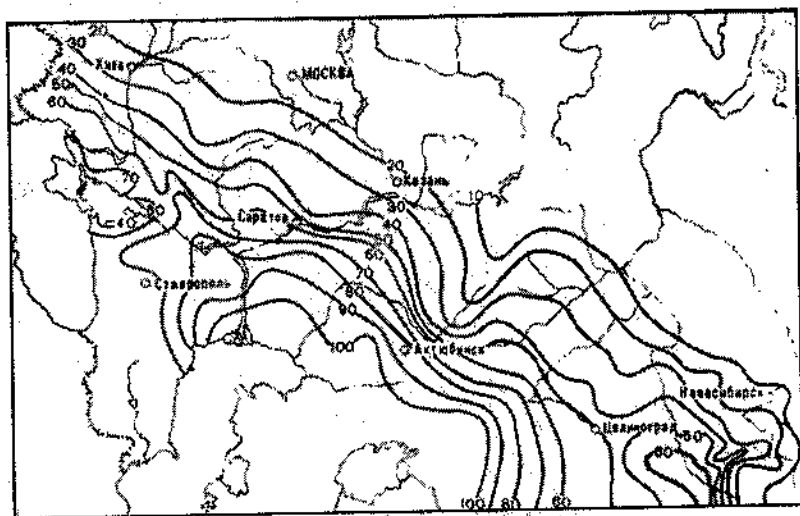


Рис. 2.11. Среднее многолетнее число дней с суховеями за апрель—октябрь в южных регионах Российской Федерации, на Украине (по Л. Е. Пасечнику, В. А. Сеникову, 1983)

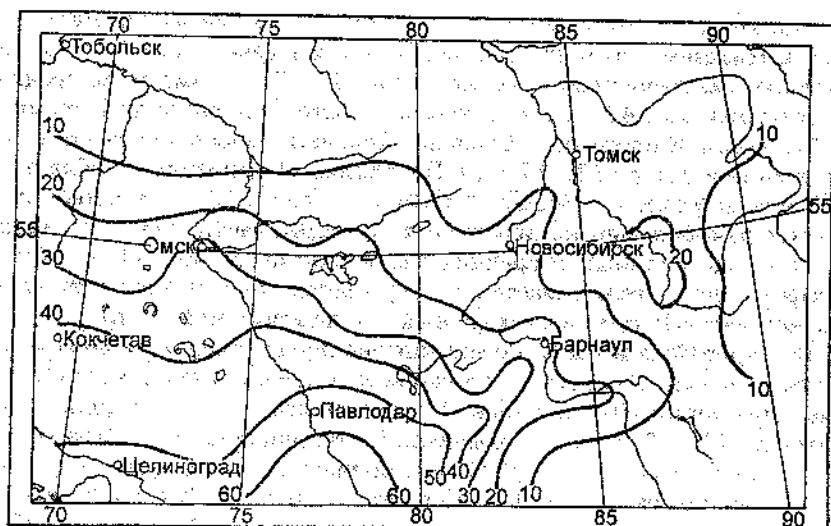


Рис. 2.12. Среднее многолетнее число дней с суховеями за апрель—октябрь в Северном Казахстане (по В. А. Сенникову, А. П. Слядневу, 1972)

Зная среднее многолетнее число дней с суховеем, вероятность возможного числа дней с суховеем в текущем году можно определить по номограмме (рис. 2.13). Продолжительные суховеи усили-

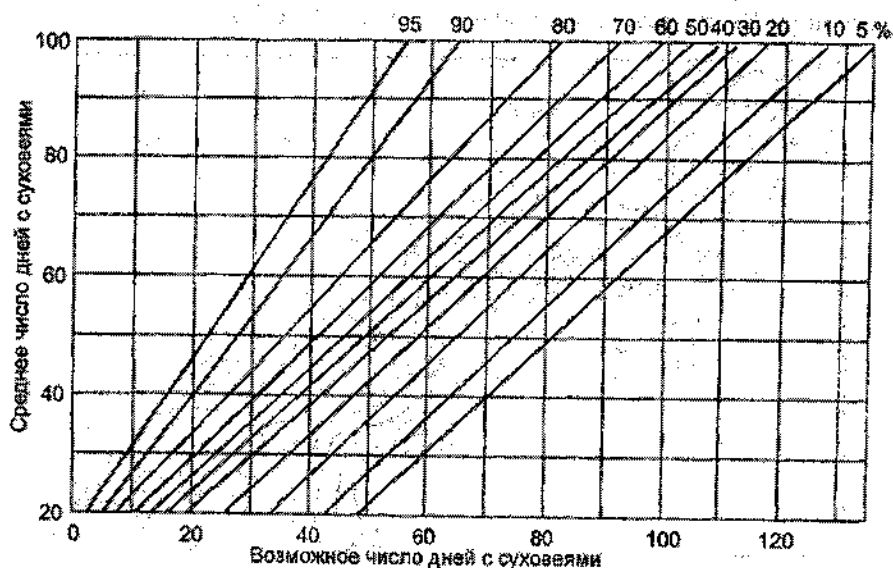


Рис. 2.13. Номограмма для расчета суммарной вероятности числа дней с суховеями в зависимости от средних многолетних значений за период апрель—октябрь (по Л. Е. Пасечник, В. А. Сенникову 1983)

вают степень повреждения растений. Вероятность многодневных засухов (более 5 дней) возрастает в летние месяцы. Например, на Украине вероятность таких засуховых периодов в мае составляет около 20 %, в июне — 25...28 %, в июле — 30 %.

Влияние засух и засухов в на урожайность зерновых культур. Из всех неблагоприятных гидрометеорологических явлений наибольший урон сельскохозяйственному производству наносят интенсивные и длительные засухи, охватывающие значительную часть зернового клина страны. В истории СССР хорошо известны годы, когда из-за обширных засух урожайность зерновых культур составляла в среднем 4,6 ц/га (1946 г.), 9,3 ц/га (1937 г.) и др. В жестокую засуху 1975 г. урожайность составила 10,9 ц/га, а валовой сбор — всего 140 млн. т. На следующий, благоприятный по увлажнению, год был собран самый высокий урожай за всю историю земледелия в стране — 223,7 млн. т. Разность валовых сборов между соседними годами составила 83,7 млн. т.

Для сравнительной оценки урожайности сельскохозяйственных культур в агрометеорологии принято пользоваться *методом трендов*, сущность которого заключается в построении и расчете динамики осредненной по определенной территории урожайности за длительный период (обычно десятки лет). На рис. 1 (см. введение) представлены динамика урожайности зерновых культур и тренд за длительный ряд лет по территории России и СССР, разработанные Е. С. Улановой. Как видно из этого рисунка, урожайность (ц/га) существенно варьирует по годам (влияние погодных условий), а в последние 50 лет XX в. наблюдается тенденция (тренд) роста урожайности, связанная с повышением культуры земледелия и интенсификацией сельскохозяйственного производства. Линия тренда представляет собой среднюю, возрастающую по годам урожайность; в то же время четко просматриваются резкие пики снижения урожайности, обусловленные жестокими засухами (см., например, годы 1963, 1965, 1975, 1981 и др.).

В исследованиях В. А. Жукова, С. А. Даниелова, О. А. Святкиной (ВНИИСХМ) было показано, что яровые зерновые культуры, высеваемые на территории Поволжья, Северного Кавказа, Центрально-Черноземных областей, могут подвергнуться засухе в любой период своего развития. Один раз в десятилетие на этой территории возможна жестокая, продолжительная засуха, следствием которой может быть гибель 50...85 % урожая. С вероятностью 25 % (4 раза в десятилетие) сильная засуха, охватывающая время развития двух межфазных периодов (около двух месяцев), возможна в Поволжье. Засуха приводит к потерям от 40 до 75 % урожая (табл. 2.10).

Таблица 2.10

Вероятность (числитель) и средние потери урожайности (знаменатель) зерновых яровых культур в некоторых регионах России (по В. А. Жукову и О. А. Святкиной, 2000)

Регион	Период развития зерновых					
	посев— куще- ние	куще- ние— колоше- ние	колоше- ние— восковая спелость	посев— коло- шение	куще- ние— восковая спелость	посев— восковая спелость
Поволжье	0,09 30	0,07 40	0,12 25	0,11 70	0,07 60	0,11 85
Центрально-Чер- ноземный район	0,11 35	0,12 35	0,13 20	0,09 60	0,07 50	0,08 50
Северный Кавказ	0,10 20	0,12 35	0,06 30	0,15 40	0,08 50	0,10 60

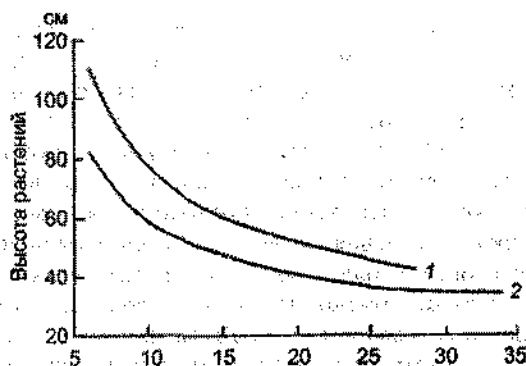
Примечание. Потери урожайности выражены в процентах от максимальной урожайности.

Оценка последствий засух осуществляется специалистами Росгидромета и других национальных гидрометеорологических служб стран Содружества Независимых Государств обычно совместно с представителями агропромышленного комплекса.

Стандартная метеорологическая, агрометеорологическая (включая спутниковые данные), гидрологическая и климатологическая информация, получаемая в подразделениях гидрометеорологических служб, является основой для мониторинга засухливых явлений и засух. Анализ такого комплекса информации обычно позволяет заблаговременно оценить вероятность развития этих опасных природных явлений. Информация о вероятности засухи регулярно передается специалистам сельского и водного хозяйства для принятия управленческих решений и хозяйственных мер по сокращению возможного ущерба от засухи.

Однако надежный долгосрочный прогноз засухи остается пока нерешенной проблемой. Известны различные подходы к прогнозированию засух: синоптические, синоптико-климатологические, физико-статистические и др. Оправдываемость этих подходов к прогнозу варьирует в среднем от 60 до 66 %. Так, климатологический подход к прогнозу засухи (О. А. Дроздов, 1980) показал, что в вековом ходе метеорологических условий возрастание вероятности и интенсивности засух обнаруживается в эпохи потепления климата. Это связано с развитием меридиональных форм атмосферной циркуляции, с ослаблением контрастов температуры в циклонах, с уменьшением переноса влаги с океанов на материки.

Рис. 2.14. Зависимость высоты яровой пшеницы от числа дней с суховеями на территории степных районов Поволжья (1) и Кулундинской степи (2) (по Л. Е. Пасечнику, В. А. Сенинскому, 1983)



Суховеи оказывают значительное влияние на продуктивность зерновых культур. Так, исследованиями М. Е. Пасечников и В. А. Сенникова (1983)

установлено влияние числа дней с суховеями на высоту растений яровой пшеницы (в фазы третий лист—цветение); высота измерялась в фазу цветения (рис. 2.14). Пример снижения урожайности яровой пшеницы под влиянием суховеев по данным этих же авторов приведен на рис. 2.15.

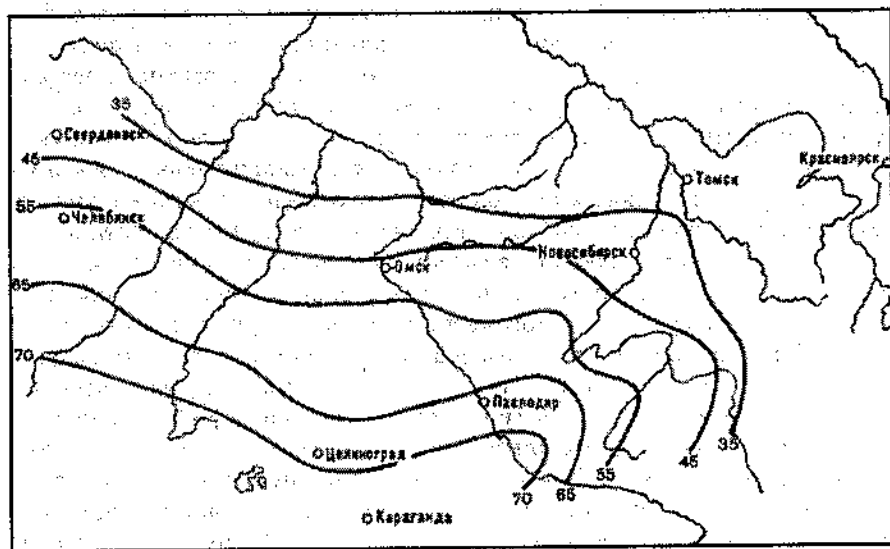


Рис. 2.15. Вероятность снижения урожайности яровой пшеницы (%) под влиянием суховеев (по Л. Е. Пасечнюк, В. А. Сееникову, 1983)

Меры борьбы с засухами и суховеями. Система борьбы с засухами и суховеями проводится по трем основным направлениям: селекционно-генетическому, агротехническому и мелиоративному.

Селекционно-генетическое направление связано с выведением новых засухоустойчивых сортов растений. При этом учитываются биологические особенности растительного организма, направленные на экономное расходование влаги. К ним относятся: способность регулировать интенсивность транспирации, сокращать площадь испарения за счет временного скручивания пластинки листа, развивать глубокую корневую систему, опушенность верхних покровов листьев (кутикула) и др. Селекционеры добиваются закрепления нужных качеств в наследственных свойствах растений путем опыления разнородных (родительских) форм, с помощью искусственного изменения свойств коллоидно-химического состояния клеток. Например, подсушивание предварительно намоченных семян зерновых культур перед посевом вызывает глубокие физиологические и биохимические изменения в клеточном соке. Такие изменения повышают засухоустойчивость всего растения и закрепляются в последующих поколениях.

Агротехническое направление работ связано с устранением или снижением несоответствия между потребностью растений во влаге и фактической влагообеспеченностью посевов в тот или иной период их развития. Этот широкий комплекс работ включает различные приемы накопления влаги в почве: снегозадержание на полях, сбор талых вод, кулисное травосеяние, полезащитное лесоразведение, внесение повышенных доз органических (и минеральных) удобрений, мульчирование поверхности почвы, введение в севообороты чистых паров, влагосберегающие технологии обработки почвы, выбор оптимальных сроков сева, размещение посевов с учетом микроклиматических особенностей местности и другие. Установлено, что перенесение сроков сева ранних яровых на одну декаду назад (т. е. на более ранний период) дает прибавку урожая в среднем от 15 до 50 % среднего многолетнего значения урожайности культуры. При задержке с посевом ранних яровых на две декады урожай снижается на 20...60 % достигнутого максимума исключительно из-за того, что критический период растений совпадает с неблагоприятными условиями. При переносе сроков сева на одну декаду позднее средней многолетней даты вероятность повреждения яровых засушливыми условиями в период купение—колошение возрастает до 60...65 %. В табл. 2.11 приведен пример влияния на конечный урожай различных агротехнических приемов, направленных на повышение запасов почвенной влаги.

Мелиоративное направление борьбы с засухами и суховеями является, пожалуй, наиболее эффективным, но и самым дорогостоящим. **Мелиорация** — это совокупность организационно-хозяйственных и технических мероприятий, направленных на коренное улучшение земель, с расчетом на длительный период.

Таблица 2.11

Урожайность зерна овса в зависимости от различных влагонакопительных мероприятий (по М. С. Кулику, 1966)

Влагонакопительные агротехнические мероприятия	Урожай зерна, т/га
Зяблевая вспашка поперек склона	1,65
Зяблевая вспашка и снегозадержание	1,98
Зяблевая вспашка, снегозадержание и задержание талых вод	2,45
Зяблевая вспашка, снегозадержание, задержание талых вод и минеральные удобрения	2,67

Как правило, мелиоративные мероприятия связаны с капитальным строительством ирригационных сооружений (плотины, водохранилища, каналы, водораспределительные и дренажные сооружения, гидрометрические посты и т. п.). Мелиоративные мероприятия дают возможность изменять комплекс почвенных, гидрологических (и др.) условий на территории обширных регионов и создавать благоприятные для сельскохозяйственных культур водный, воздушный, тепловой и питательный режимы. В широком смысле под термином „мелиорация” подразумеваются и многие другие мероприятия, перечисленные в агротехническом направлении борьбы с засухами: снегозадержание, сбор талых вод и т. п. Однако нарушение научно обоснованных режимов орошения приводит и к отрицательным последствиям, таким как вторичное засоление почвы, подъем грунтовых вод и заболачивание местности, заиливание водохранилищ, зарастание каналов, экологические изменения на больших площадях.

2.3. Сильные ветры.

Пыльные бури и ветровая эрозия почвы

Ветер — это движение воздуха относительно земной поверхности, возникающее из-за неравномерного горизонтального распределения атмосферного давления. Ветер характеризуется вектором скорости, т. е. скоростью в том или ином направлении; измеряется в м/с или км/ч. При незначительных скоростях ветер оказывает положительное влияние на жизнедеятельность растений, способствует лучшему опылению ветроопыляемых растений, просушиванию загущенных посевов и переувлажненной почвы.

Сильные ветры, наоборот, наносят ущерб растениям, посевам и лесопосадкам. Они вызывают полегание посевов, опадение зрелых семян, зерен и плодов; усиливают транспирацию растений и испа-

рение с поверхности почвы, что в условиях недостатка влаги приводит к увяданию и даже усыханию растений; осложняют проведение многих видов сельскохозяйственных работ (сев, внесение удобрений и ядохимикатов, уборка урожая и т. п.).

Ураганный ветер производит большие опустошения: на полях и в садах сносится верхний незащищенный растениями почвенный слой, ломаются ветви и стволы, особенно перегруженные плодами, а в лесах — лесоповал или бурелом. В зимнее время следствием урагана является сдувание снега с открытых участков полей, обнажение почвы и корней озимых культур и т. п.

Для оценки силы (скорости) ветра пользуются обычно следующими градациями, которые несколько варьируют в зависимости от конкретных природных условий: слабый — менее 4 м/с; умеренный — 5...8 м/с; средний — 9...13 м/с; сильный — 14...20 м/с; очень сильный — 21...25 м/с; буря, ураган — 26...30 м/с и более.

Пыльные бури, вызывающие эрозию почвы, считаются опасным природным метеорологическим явлением, наносящим значительный ущерб сельскохозяйственному производству. **Пыльные бури** — это перенос сильным ветром (10...20 м/с и более) большого количества пыли, песка, верхнего слоя почвы, почти или полностью лишенного растительного покрова. Количество перенесенных ветром иногда за тысячи километров от источника частиц почвы, песка, пыли исчисляется миллионами тонн. Эти массы часто оседают (выпадают из воздуха) на сельскохозяйственные посевы. Например, в 1960 г. пыль, поднятая бурей в районах Северного Кавказа и Украины, была перенесена в Румынию, Болгарию, Венгрию и Югославию; заметно ухудшилась видимость в Беларуси, на востоке Польши и в Прибалтике. Иссущенность верхнего горизонта почвы, отсутствие растительного покрова на полях, низкая относительная влажность воздуха (менее 50 %) — все это составляет комплекс факторов, увеличивающих вероятность возникновения пыльных бурь. Они возникают под влиянием природных и антропогенных факторов, нередко — из-за таких форм земледелия, которые не соответствуют климатическим условиям региона.

Эрозия почв — это процесс разрушения верхних, наиболее плодородных слоев почвы и подстилающих коренных пород ветром (ветровая эрозия) или талыми и дождевыми водами (водная эрозия), перемещения продуктов разрушения и их переотложения на других территориях.

Воздействию пыльных бурь подвержены многие районы степной, полупустынной и пустынной зон России и сопредельных стран СНГ. Северная граница распространения пыльных бурь в основном совпадает с границей степной зоны. На территории бывшего СССР пыльные бури отмечались неоднократно. Наиболее сильные были

отмечены на территории Северного Кавказа, Нижнего Дона, на востоке Украины и Нижнего Поволжья весной 1928, 1960 гг. и зимой 1969 г. Весной 1960 г. скорость ветра достигала 25...35 м/с, при этом нижние слои атмосферы настолько наполнились пылью, что видимость уменьшилась до 100...200 м. Сухой 6...7-сантиметровый слой почвы был снесен. Посевы озимой пшеницы, слабо развившиеся с осени (всходы — третий лист), в одних районах были уничтожены, в других занесены частицами переноса на больших площадях. В результате этого стихийного бедствия более 50 % озимых погибло и подлежало пересеву. В Ростовской области после описываемой пыльной бури было обнаружено, что лесные полосы задержали от 5 до 30 м³ мелкозема на 1 погонный метр полосы. Высота этих отложений варьировала от 0,5 до 3,0 м в зависимости от степени плотности насаждений и продуваемости полос. По подсчетам И. В. Свищука (1986), с каждого гектара сантиметрового слоя почвы ветром было унесено (вместе с почвой): около 30 кг азота, 20 кг фосфора, 300 кг калия и 2...3 т гумуса. Пыльные бури наносят труднооценимый ущерб, поскольку на восстановление 1 см почвы в естественных условиях требуется 250...300 лет.

Наибольшая повторяемость пыльных бурь отмечается весной и летом. Значительно реже они наблюдаются зимой. В 1893 г. В. В. Докучаев писал о такой пыльной буре: „Не только был совершенно сорван и снесен с полей тонкий снеговой покров, но и рыхлая почва, обнаженная от снега и сухая, как пепел, взметалась вихрями при 18 градусах мороза. Тучи темной земляной пыли наполняли морозный воздух, застилая дороги, затрудняя сообщение между деревнями, заносили сады — местами деревья были занесены на высоту 1,5 м, ложились валами и буграми на улицах деревень и сильно затрудняли движение по железным дорогам: приходилось даже отрывать железнодорожные полустанции от сугробов черной пыли, смешанной со снегом”. В черноземной зоне пыльные бури называют *черными бурями*, а в полупустынной и пустынной зонах — *песчаными бурями*.

Повторяемость пыльных бурь в разных регионах различна. На большей части степной зоны Украины и Северного Кавказа в среднем наблюдается 1...5 дней в году с пыльными бурями, на юге Украины и в Ростовской области — 6...10 дней, а в отдельных районах Ставропольского края — до 15...20 дней. В Казахстане повторяемость пыльных бурь варьирует от 10 дней в северных областях до 40 дней и более в прикаспийских районах. В южных районах Омской области, на юго-западе Новосибирской области и на западе Алтайского края число дней с пыльными бурями достигает 15...20, а местами 25. В азиатских пустынях число дней с пыльными бурями в году возрастает до 30...50 и более. На рис. 2.16 и 2.17 показано среднее многолетнее число дней с пыльными бурями в России и со-

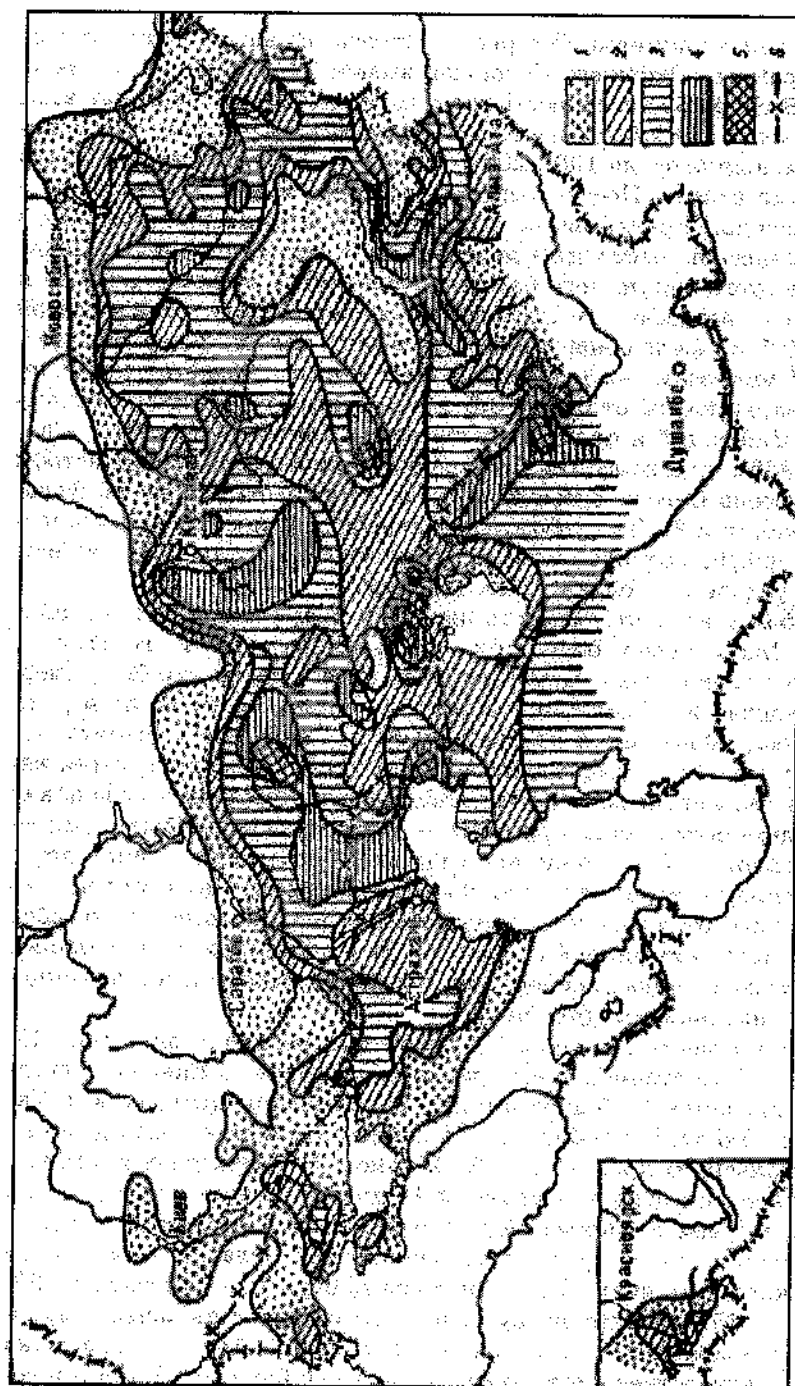


Рис. 2.16. Среднее многолетнее число дней с пыльными бурями на территории Российской Федерации и ряда сопредельных государств (по Ю. И. Чиркову, 1979)

1 — 1...5; 2 — 6...10; 3 — 11...20; 4 — 21...40; 5 — более 40; 6 — граница устойчивого снежного покрова

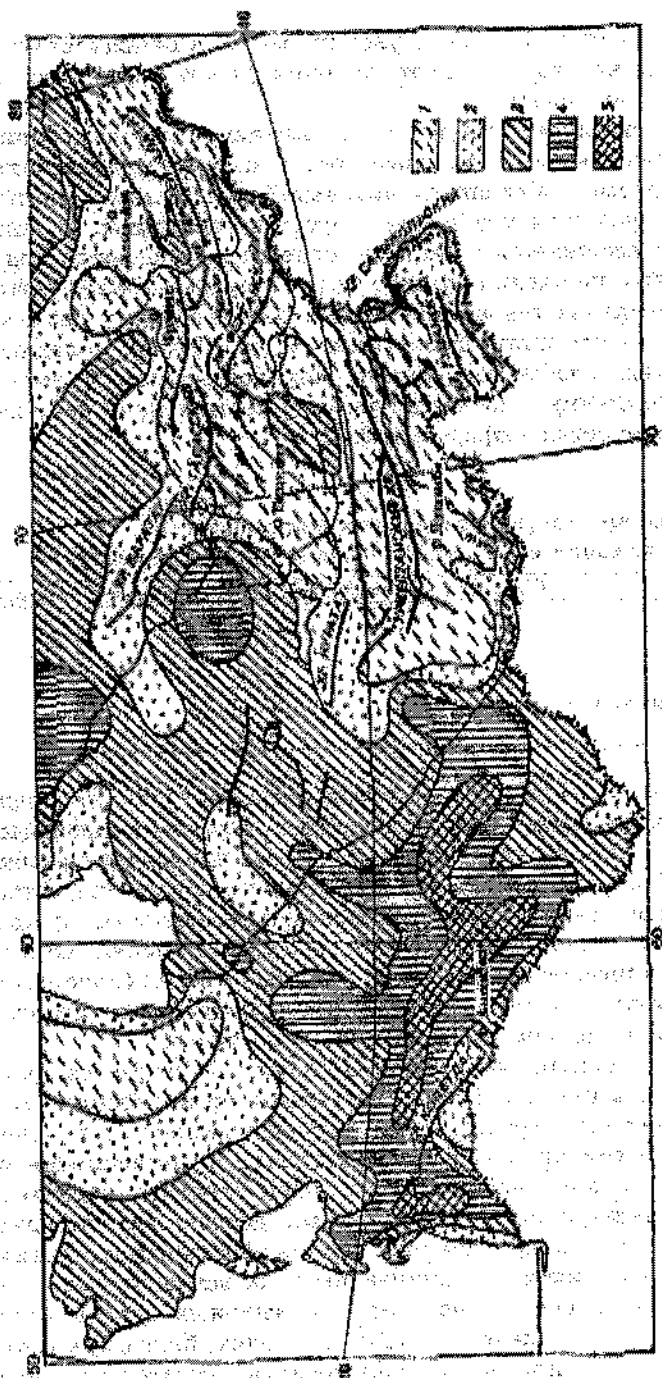


Рис. 2.17. Среднее многолетнее число дней с пыльными бурями на территории азиатских республик бывшего СССР (по Т. Л. Вереевой, С. Г. Чанышевой, 1977)

1 — менее 5; 2 — 5...10; 3 — 11...30; 4 — 31...50; 5 — более 50

предельных странах. Их число увеличивается в направлении с северо-запада на юго-восток, но эта закономерность нарушается комплексом местных условий.

Наиболее сильному выдуванию подвержены легкие по механическому составу, менее связанные почвы: песчаные, супесчаные и легкосуглинистые. Обладая значительной рыхлостью, эти почвы свободно пропускают влагу в более глубокие горизонты; их поверхность быстро иссушается и частицы почвы перемещаются под воздействием даже не очень сильного ветра. Крупные, более тяжелые частицы откладываются в понижениях рельефа или у различных препятствий — строений, лесопосадок и др. Почвы, обладающие структурностью, слабее подвержены ветровой эрозии. Поэтому отрыв частиц различных по механическому составу почв начинается при разных скоростях ветра (табл. 2.12).

Таблица 2.12

Скорости ветра, при которых начинается ветровая эрозия различных по механическому составу почв (по Л. Ф. Смирнову)

Почва	Скорость ветра на высоте 15 см от поверхности земли, м/с
Песчаная	2...3
Супесчаная	3...4
Легкосуглинистая	4...6
Тяжелосуглинистая	5...7
Глинистая	7...9

На степень эрозионных процессов оказывает влияние рельеф местности. Выдуванию больше подвержены верхние и наветренные части склонов, и чем они круче, тем сильнее происходит разрушение почвы. Над выровненной поверхностью поля скорость ветра на 30...40 % выше, чем над грубо взрыхленной поверхностью почвы.

Во время пыльной бури не только выдувается почва, но и происходит механическое повреждение листьев, стеблей (побегов) растений песчинками, быстро несущимися с воздушными потоками. Это явление получило название *забегания растений*.

Противоэрозионная устойчивость почвы достигается рациональными приемами обработки, внесением органических, минеральных удобрений, травосеянием, опрыскиванием поверхности почвы различными химическими составами, скрепляющими почвенные частицы. Уменьшение пылесборной площади, особенно на массивах, являющихся очагами эрозии, достигается посадками кустарников и трав, закрепляющих подвижный субстрат. Одним из важнейших мероприятий по защите почвы от ветровой эрозии считается создание к периоду наступления пыльных бурь возможно более мощного растительного покрова на полях, благодаря которому скорость ветра в приземном слое воздуха снизится за счет так

называемой *шероховатости* — *неровностей подстилающей поверхности, влияющих на движение воздуха в приземном слое*. Шероховатость выражается коэффициентом, который зависит от высоты неровностей поверхности, имеет размерность длины. Например, коэффициент шероховатости гладкой поверхности снега равен 0,001 см, плотной обнаженной почвы — 1,0 см, для посевов зерновых он составляет 3,0...7,0 см, причем значение коэффициента зависит от способа сева, густоты стояния растений на единице площади, фазы развития и биологических особенностей растений. Даже стерня, оставленная на поле, снижает скорость приземного ветра. На этом эффекте основана система безотвальной обработки почвы (без оборота пласта), позволяющая сократить потери плодородного слоя от ветровой эрозии.

В районах интенсивной ветровой эрозии, особенно на склонах, обращенных к преобладающим ветрам, или на легких по механическому составу почвах, посев культур размещают полосами. На паровых полях полосы чистого пара шириной 50...100 м чередуются с такими же полосами зерновых культур или многолетних трав. Полосы прокладываются перпендикулярно эрозионно опасным ветрам. Широкое применение получили кулисные пары, где рядки высокостебельных растений (кукуруза, просо, подсолнечник и др.) располагают также перпендикулярно преобладающим ветрам. Посев озимых культур в оптимальные сроки обеспечивает хорошее развитие и укоренение растений к моменту возможного возникновения пыльных бурь, что способствует их сохранению и предохраняет почву от ветровой эрозии. Применяется также бороздковый посев, при котором мелковолнистая поверхность почвы обуславливает накопление влаги в бороздах и повышает шероховатость почвы.

Для защиты почвы от ветровой эрозии широко используется посадка древесно-кустарниковой растительности в виде полевых защитных полос, которые располагаются поперек господствующих ветров. Такие посадки по мере их роста становятся надежной защитой посевов от сильных ветров, пыльных бурь, суховеев; они уменьшают скорость ветра, способствуют накоплению снега в зимний период, замедляют стаивание снега весной, улучшают условия влагообеспеченности посевов.

Для каждой почвенно-климатической зоны страны должны быть разработаны зональные системы земледелия, включающие почвозащитные мероприятия, с учетом особенностей климата и микроклимата, рельефа местности и типа почв, подбора возделываемых сельскохозяйственных культур и видов почвообрабатывающей техники. Проведение этих мероприятий способствует сохранению ценнейшего национального богатства страны — земельного фонда, его плодородия, предупреждают возможность развития процессов почвенной эрозии, снижают разрушительный эффект уже протекающей эрозии.

2.4. Сильные ливневые дожди и водная эрозия почвы

Сильные ливневые дожди. Сумма осадков и число дней с осадками за декаду, месяц, сезон, год являются климатическими показателями. Для роста, развития и формирования урожайности естественной растительности и неорошаемых сельскохозяйственных культур большое значение имеет не только количество осадков, но и их распределение по сезонам, месяцам, интенсивности выпадения. *Интенсивность осадков измеряется количеством осадков, выпадающих за единицу времени* (обычно за 1 мин). Средняя суточная интенсивность за какой-либо промежуток времени вычисляется как среднее количество осадков, выпавших в день с осадками. Как правило, наибольшую интенсивность имеют короткие ливневые дожди. Согласно данным С. П. Хромова и М. А. Петросянца (1994), в Европе при продолжительности дождя 1...5 мин наибольшая интенсивность составляет 3...4 мм/мин; при 2—3-часовом дожде — только 0,5 мм/мин. Рекордным в мировом масштабе считается ливень, прошедший в июле 1955 г. в штате Айова (США), когда за 1 мин 24 с интенсивность достигла 17,5 мм/мин. Суточные максимумы осадков могут достигать в Европе 350 мм, в Армении и на Черноморском побережье Кавказа 245...260 мм, на юго-западе Украины 210 мм, в центре России 120 мм. Наибольшие суточные максимумы в тропических регионах (Индия, Филиппины) превышают 1000 мм. Напомним, что 1 мм осадков равен 10 т воды на 1 га.

Ливневые дожди выпадают из кучево-дождевых облаков и охватывают, как правило, небольшие площади. Суточный максимум ливневых осадков в годовом ходе повсеместно приходится на теплый период года, поэтому они могут нанести значительный урон состоянию сельскохозяйственных культур. Интенсивные ливневые дожди на европейской части России нередко вызывают полегание зерновых культур на 20...30 % посевных площадей, а в отдельные годы — на 80 %.

Полегание посевов — это потеря стеблями травянистых растений нормального прямостоячего положения. В посевах зерновых культур различают стеблевое и корневое полегание. *Стеблевое полегание наблюдается при сильно загущенных посевах, чрезмерном азотном питании, обильном орошении, а также при грибковых заболеваниях и развитии вьющихся сорняков. Корневое полегание происходит при избытке влаги в почве вследствие разжижения почвы и потери растениями опоры.* Оба вида полегания связаны с воздействием интенсивных ливневых осадков, проходящих обычно с сильными порывами ветра, иногда с градом.

Согласно наблюдениям А. Д. Пасечнюка (1970, 1990), в полегших посевах максимум биомассы смещается к поверхности почвы, а колосья располагаются на всех уровнях посева. В результате плотность зеленой биомассы полегших посевов в несколько раз превышает плотность нормальных, что снижает турбулентный воздухообмен в посевах, ухудшает равномерность распределения солнечной радиации в травостое. Проникающая в нижние слои полегших посевов солнечная радиация в 2...4 раза меньше, чем в неполегших посевах зерновых культур. В совокупности эти факторы уменьшают продуктивность фотосинтеза и конечную урожайность посева.

В исследованиях А. Д. Пасечнюка на примере ячменя сорта „Винер“ установлено, что при максимальной высоте стебля менее 70 см в период колошения — восковая спелость посевы не полегают ни при каких агрометеорологических условиях. При большей высоте растений интенсивность полегания определяется сложившимися агрометеорологическими условиями этого периода. Если запасы влаги в слое почвы 0...50 см через декаду после наступления фазы выхода в трубку оказываются менее 60 мм, то вероятность полегания будет очень мала. При запасах влаги более 100...110 мм создается большая опасность полегания на значительных площадях (рис. 2.18).

У полегших зерновых культур налив зерна протекает с нарушением физиологических процессов, в результате чего зерно содержит меньше крахмала, имеет повышенную влажность и обладает низкой всхожестью. Ливневые дожди или длительные осадки могут вызвать истекание зерна — патологический процесс, происходящий под действием избытка воды в эндосперме колосовых, в результате которого замедляется или совсем прекращается отложение крахмала; а ранее образовавшиеся продукты фотосинтеза частично или полностью гидролизуются и через трещины истекают на поверхность в виде так называемой медвяной росы. На медвяной росе поселяются плесневые грибки, вызывающие потемнение зерен, колосковых пленок и значительное ухудшение пищевых качеств зерна.

Сильные ливни вымывают питательные вещества из верхних горизонтов почвы в нижележащие слои. Например, вымывание калия приводит к ослаблению процесса крахмалообразования в клубнях картофеля. В результате происходит снижение „лежкости“ картофеля — клубни при хранении быстро темнеют и портятся. Переувлажненная почва и полегшие растения значительно усложняют механизированную уборку зерновых (и технических) культур. При агрометеорологических наблюдениях визуальная оценка интенсивности полегания осуществляется в баллах, а степень полегания растений, определяемая также визуально, записывается в процентах площади полегших посевов от площади всего поля.

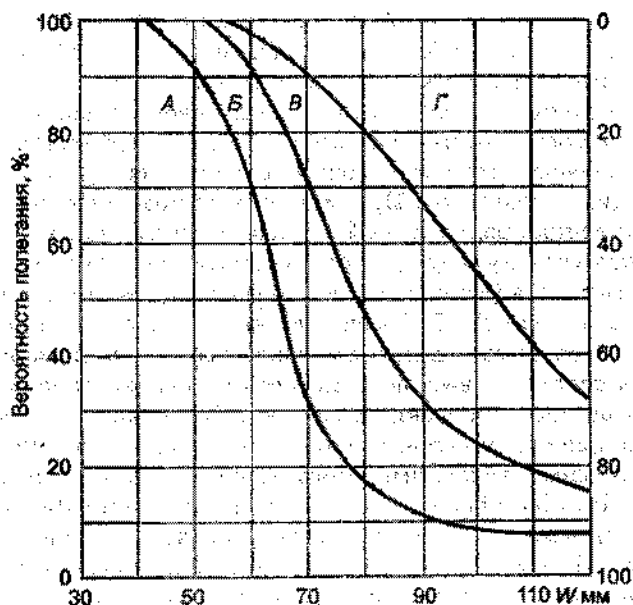


Рис. 2.18. Вероятность полегания посевов ячменя при различных запасах продуктивной влаги (W) в слое почвы 0...50 см через декаду после наступления фазы выхода в трубку
 А — отсутствие полегания; Б — слабое полегание; В — среднее полегание; Г — сильное полегание (по А. Д. Пасечнику, 1974)

Водная эрозия почвы. Процесс разрушения верхних, наиболее плодородных, слоев почвы и подстилающих пород дождевыми и талыми водами, перемещение продуктов разрушения и их перетолжение называется водной эрозией. Сильные ливневые осадки не успевают впитаться в почву, поэтому большая их часть стекает в понижения рельефа, размывает верхние слои почвы, обнажает корневые системы растений, выносит питательные вещества, а иногда вырывает растения целиком. Водная эрозия формирует так называемый овражный рельеф, практически непригодный для сельскохозяйственного производства.

Наиболее ярко водная эрозия проявляется в условиях сложного горного рельефа. Склоны крутых гор, не защищенные древесно-кустарниковой растительностью, особенно подвержены эрозионным процессам. При интенсивных осадках или таянии снега вода без задержки скатывается с водосборов в понижения рельефа (саи, овраги, котловины, ущелья). Быстро увеличивающиеся массы воды превращаются в грязекаменные потоки и с огромной скоростью устремляются вниз, производя огромные разрушения по пути движения. Это

явление называется *сель*. Селевые потоки не только смывают горные участки с посевами сельскохозяйственных культур, вырывают с корнями взрослые деревья, но и разрушают селения, производственные объекты, мосты, зачастую уносят пасущийся на склонах скот. Нередко в селевых потоках гибнут люди.

На интенсивность эрозионных процессов влияют: степень ровности полей, интенсивность и продолжительность осадков или таяния снега, рельеф местности, в частности крутизна горных склонов, степень их обсеменности или распахки, чрезмерное использование горных пастбищ для выпаса скота (перевыпас) и т. п.

На европейской части России водной эрозии подвержены территории Среднерусской и Ставропольской возвышенностей, Центрально-Черноземного района (Воронежской, Белгородской и Липецкой областей).

Для борьбы с водной эрозией проводят профилактические агротехнические и дорогостоящие инженерные работы. На эрозионно опасных полях высевают многолетние травы, разветвленная корневая система которых скрепляет верхние горизонты почвы, пожнивные, плодовые культуры; обработка почвы проводится не вдоль, а поперек склонов, т. е. перпендикулярно к стоку воды; высаживаются кустарники и деревья на склонах оврагов и холмов с целью закрепления склонов, ограничивается выпас сельскохозяйственных животных.

В горных районах проводится так называемое террасирование склонов — искусственное образование горизонтальных ступеней, на которых высаживаются древесно-кустарниковые формы плодовых культур, виноградники или, например, рис (в Индонезии, во Вьетнаме и других странах). В горах азиатских стран СНГ строятся капитальные, сложные гидротехнические сооружения — селеулавливающие плотины, например, Медео — для защиты г. Алматы от катастрофических селей.

2.5. Град и защита посевов от градобития

К числу стихийных природных гидрометеорологических явлений относится град — осадки, выпадающие в теплое время года из мощных кучево-дождевых облаков в виде частичек плотного льда различных размеров. Выпадение града на посевы сельскохозяйственных культур, плантации плодовых деревьев, виноградников, чайного листа, которое может нанести значительный и даже непоправимый урон, называется *градобитием*. Известны случаи, когда градобитием были уничтожены сотни тысяч гектаров сельскохозяйственных угодий на Северном Кавказе, в Молдавии, на Украине, в Грузии, в Ферганской долине в Узбекистане, в Гиссар-

ской долине в Таджикистане, в Крыму, в Прикарпатье и в других регионах.

Обычно размер градин варьирует от нескольких миллиметров до 2...5 см, редко — крупнее. Ущерб, наносимый сельскохозяйственным посевам и плантациям, зависит не только от размера градин, но и от плотности их выпадения на единицу площади и продолжительности града.

Особенно интенсивные и часто повторяющиеся выпадения града отмечаются в предгорных и горных районах. Там в летние жаркие дни возникают мощные восходящие (конвективные) потоки за счет большой неравномерности в нагревании разнo экспонированных склонов, а также из-за горно-долинной циркуляции воздуха. Другой причиной развития градовых процессов является смещение фронтальных холодных и теплых масс воздуха. Например, в мае 1974 г. в Гиссарской долине в результате мощного северо-западного вторжения влажного воздуха и его последующей конвекции выпал очень крупный град. Масса отдельных градин достигала 500...880 г. В течение нескольких минут градобития на больших площадях были уничтожены: хлопковые поля, виноградники и сады, сотни строений остались без шиферных крыш, значительно пострадали отары овец и даже люди.

Град образуется в средней части облака при сильных теплых восходящих потоках воздуха (конвекция) скоростью 15...20 м/с при развитых мощных внутримассовых или фронтальных кучево-дождевых облаках, высота которых достигает 12...16 км, а вертикальная протяженность составляет 3 км и более. В таких облаках возникает зона повышенной водности ($20...30 \text{ г/м}^3$). При температуре на верхней границе облака $-20...-25^\circ\text{C}$ крупные капли, поднятые восходящими потоками воздуха, замерзают и образуют зародыши градин. Зародыши быстро увеличиваются при слиянии с другими переохлажденными каплями, поступающими с восходящими потоками воздуха. *Зона облака, где происходит рост градин, называется градовым очагом.*

Рост градин продолжается до тех пор, пока скорость их падения не превысит максимальную скорость восходящего потока воздуха, после чего они падают. Процесс выпадения града развивается лавинообразно, продолжительность, как правило, составляет 5...10 мин, редко — более длительное время. Град выпадает обычно полосами: от сотен метров до 3...5 км шириной и 15...20 км длиной и только при мощном развитии градовых процессов зона градобития измеряется десятками километров.

Ежегодно градобития наносят сельскохозяйственному производству огромный ущерб, в суммарном исчислении достигающий, по данным ВМО, 2 млрд. долл. США. С целью уменьшения размеров ущерба от градобития применяются так называемые *активные*

воздействия на градовые облака. Их суть заключается в искусственном внесении в зону накопления переохлажденных капель в облаке большого количества мельчайших частиц (ядер кристаллизации) льдообразующих реагентов, обычно твердой углекислоты, иодистого серебра или иодистого свинца. При естественном процессе образования града в облаке формируется относительно небольшое количество крупных градин. Внесенный в облако реагент создает множество дополнительных ядер кристаллизации (из 1 г реагента получается около 10^{12} ядер), на которых происходит сублимация водяного пара. В результате содержащийся в облаке запас переохлажденной воды рассредоточивается среди всех ледяных зародышей градин. Такие градины не могут увеличиться до опасных размеров, а мелкие при выпадении из облака успевают растаять за время их движения через более теплые слои воздуха, лежащие ниже нулевой изотермы. В итоге осадки из градового облака выпадают в виде дождя или мелкого града, как правило, не опасного для сельскохозяйственных культур и животных.

Технология искусственного засева кристаллизующего реагента в градовые очаги в облаках заключается в следующем. С помощью радиолокационной техники в кучево-дождевых облаках определяются градовые очаги и их траектории движения. В эти очаги до начала активного естественного процесса образования града с помощью специальных ракет или снарядов (или аэрозольных генераторов) вносится реагент, засевающий облако множеством новых ядер кристаллизации. Иногда засев реагентом градоопасных облаков производится самолетами-зондировщиками.

Защиту сельскохозяйственных угодий осуществляют специализированные подразделения национальных гидрометеорологических служб (или министерств сельского хозяйства), оснащенные радиолокаторами, зенитными орудиями и противоградовыми комплексами (минометами). Опыт работы противоградовых подразделений показывает, что один радиолокатор обеспечивает управление 4...7 зенитными орудиями или 10...12 ракетными противоградовыми установками с охватом площади защиты до 2 тыс. га.

Однако ряд объективных причин не позволяет снизить ущерб от градобития в зоне защиты больше, чем на 50...70 %. Главной причиной является быстрота развития градового облака и образования градового очага — всего 30...40 мин, за которые нужно успеть определить его нахождение в облаке, подготовить орудия и внести реагент. Позднее внесение реагента не предотвращает естественного выпадения града, который может свести „к нулю” усилия земледельцев в растениеводстве и плодоводстве.

Кроме того, в целях безопасности людей запрещается производить обстрел облаков над населенными пунктами или в момент на-

хождения в воздухе летательных аппаратов (самолетов, вертолетов и др.). Тем не менее четко организованная профессиональная работа противорадиационных подразделений оказывается экономически целесообразной при защите на больших площадях ценных сельскохозяйственных культур, таких как виноград, хлопчатник, табак, кукуруза, плодовые деревья и др.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какие явления называются особо опасными явлениями для сельскохозяйственного производства? Перечислите основные их виды.
2. Дайте определение явлению „заморозок“. Назовите категории интенсивности заморозков. Как различаются заморозки по продолжительности?
3. Назовите и охарактеризуйте особенности различных типов заморозков.
4. Расскажите, в чем проявляется влияние заморозков на растения. Объясните термины: „заморозкоустойчивость“, „закаливание растений“, „критическая температура растений“.
5. Решите задачи по прогнозу наступления заморозков в воздухе и на поверхности почвы при ясном и пасмурном небе.
6. Расскажите о методах защиты сельскохозяйственных культур от заморозков.
7. Дайте определения засухи, суховея, засушливых явлений.
8. Какие типы засух вы знаете? Объясните особенности каждого типа засух.
9. Опишите основные методы количественной оценки засух, напишите формулы и объясните их физическую сущность.
10. Расскажите о показателе интенсивности суховея — эвапориметрическом коэффициенте.
11. Как влияют засухи и суховеи на урожайность зерновых культур?
12. Перечислите способы защиты сельскохозяйственных культур от засух и суховея. Объясните их сущность.
13. Охарактеризуйте явления „сильный ветер“ и „пыльная буря“. Что такое „ветровая эрозия почвы“?
14. Какие меры борьбы с эрозией почвы применяются?
15. Как сказывается на посевах влияние сильных ливней? Что такое „водная эрозия почвы“? Объясните термин „полегание посевов“. В чем опасность этого явления?
16. При каких физических условиях возникает выпадение града? Объясните термин „градобитие“. Расскажите о способах защиты от градобития; в каких регионах проводится эта защита.

ОПАСНЫЕ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА И МЕРЫ БОРЬБЫ С НИМИ

В холодный период зимующие культуры подвергаются различным неблагоприятным воздействиям, которые могут вызвать частичную или полную гибель посевов, садов и виноградников. Степень повреждения зимующих культур бывает различной в разные годы и в разные периоды зимы. Это объясняется биологическими особенностями сорта, состоянием растений в период прекращения осенней вегетации, условиями периода закаливания, интенсивностью и продолжительностью опасных явлений зимнего времени.

3.1. Зимостойкость и морозостойкость растений

Зимостойкость растений — это биологическое свойство зимующих растений переносить воздействие комплекса неблагоприятных условий зимнего периода (температура, влажность почвы и т. п.) без существенных повреждений. Это свойство обусловлено происходящими зимой в тканях растений физиологическими и биохимическими процессами, зависящими от вида растения, его наследственными свойствами (селекции), климатических условий среды и агрометеорологических условий конкретного года. Зимостойкость растений определяется не только термическим режимом, но и высотой снежного покрова, толщиной и продолжительностью залегания ледяной корки, глубиной промерзания почвы, режимом снеготаяния весной и другими факторами и условиями. Для количественной оценки зимостойкости растений пользуются коэффициентом перезимовки растений — отношением числа растений (побегов) на единице площади, сохранивших жизнеспособность и возобновивших вегетацию, к числу растений (побегов) на этой же площади, вошедших в зиму.

Морозостойкостью растений называется свойство зимующих растений выдерживать воздействие низких отрицательных температур с сохранением способности к вегетации и репродукции при наступлении благоприятных агрометеорологических условий. Морозостойкость зависит от вида (сорта) растения, фазы его

развития в момент „ухода в зиму“, уровня питания и степени предзимнего закаливания. Благодаря процессу постепенного *закаливания* (см. раздел 2.1) растения приобретают к концу осени качества зимостойкости и морозостойкости.

Согласно теории И. И. Туманова, растение проходит две фазы закаливания под воздействием погодных условий. Хорошие условия для прохождения первой фазы создаются при солнечной погоде, средней суточной температуре воздуха от 6 до 0 °C и большой суточной амплитуде температуры (днем 10...15 °C, ночью -1...-2 °C). В таких условиях в тканях растений идет накопление защитных веществ (сахаров) днем и замедленный расход их ночью. И наоборот, теплые пасмурные дни с небольшой суточной амплитудой температуры воздуха менее благоприятны для прохождения первой фазы закаливания, так как растения продолжают расти и расходовать накопленные запасы сахаров. После первой фазы закаливания, продолжающейся до 12...15 дней, озимые зерновые культуры выдерживают понижение температуры почвы на глубине залегания узла кушения до -10...-12 °C.

Вторая фаза закаливания проходит в замерзших растениях при средней суточной температуре воздуха -2...-5 °C. Повышение зимостойкости растений в этот период происходит за счет обезвоживания тканей и увеличения концентрации клеточного сока. Крахмал в клетках растений частично превращается в сахара, запасы которых увеличиваются: зимостойкость и морозостойкость растений в этот период значительно возрастают. После прохождения двух фаз закаливания у большинства сортов озимой пшеницы критическая температура вымерзания понижается до -18 °C, а у высокозимостойких сортов — до -20 °C. *Критическая температура вымерзания — это пороговое значение температуры окружающей среды, ниже которого наступает гибель растений.* Критические температуры вымерзания ржи составляют -22...-24 °C и ниже, у люцерны -17...-19 °C, у озимого ячменя и двуукосного клевера -13...-16 °C. Кроны многих плодовых культур могут пережить морозы до -25...-30 °C (см. раздел 3.3), лесные деревья до -45...-50 °C.

Устойчивость растений к холодам изменяется от года к году при сохранении общей закономерности: в начале зимы морозостойкость сравнительно невысокая, к середине зимы она возрастает до максимальной, а к весне постепенно снижается. Зимостойкость растений зависит также от влажности почвы в осенний период: при влажности 50...70 % полной влагоемкости озимые приобретают наибольшую зимостойкость; при избыточном осеннем увлажнении (более 80 % полной влагоемкости) закаливание ослаблено. Условия осени, меняющиеся от года к году, существенно влияют на зимостойкость одних и тех же сортов озимых культур (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Температура почвы (на глубине 3 см), повреждающая озимую пшеницу при различных условиях закаливания, °С

Территория	Условия закаливания		
	хорошие	средние	плохие
Северный Кавказ, северо-запад европейской части России	-18...-20	-16...-18	-14...-16
Центрально-Черноземные области, центральные и северные области нечерноземной зоны	-20...-22	-18...-20	-16...-18
Поволжье, юг Урала, Западная Сибирь	-22...-25	-20...-23	-18...-21

3.2. Основные причины гибели озимых и меры защиты посевов

В холодный период года повреждения и гибель зимующих культур обычно вызываются комплексом неблагоприятных условий. К числу основных многофакторных комплексов относятся: выдувание, вымерзание, вымокание, выпирание, выпревание, зимняя засуха, ледяная корка, гололед. Рассмотрим каждый из этих комплексов в отдельности.

Выдувание посевов (почвы) — это снос сильным ветром (более 10...12 м/с) верхнего слоя почвы на сельскохозяйственных полях, зачастую вместе с посеянными семенами, всходами и слабо укоренившимися растениями. Выдувание обычно наблюдается при пыльных бурях, когда снежный покров невысокий или отсутствует, почва сухая, не скрепленная корнями озимых культур. Перемещение ветром продуктов выветривания (см. раздел 2.3) начинается при скорости ветра 4...5 м/с у поверхности земли. При больших скоростях ветра частицы почвы наносят механическое повреждение посевам зерновых культур, а в экстремальных условиях происходит полный снос верхнего слоя почвы вместе с растениями и засыпание посевов в местах отложения продуктов ветрового переноса. Выдувание зимующих посевов чаще наблюдается на юге степной зоны, где снежный покров невысок и неустойчив. Зимой 1968/69 г. в результате сильных пыльных бурь произошло выдувание и гибель озимых посевов на огромных площадях в Ростовской и Волгоградской областях, на Северном Кавказе и на востоке Украины.

Для защиты посевов от выдувания проводятся работы, направленные на увеличение запасов почвенной влаги и снижение отрицательного влияния сильных ветров. К основным агротехническим

приемам относятся: безотвальная вспашка, глубокая заделка семян в почву, прикатывание почвы после посева, создание кулисных посевов, посадка лесных полосазащитных полос, снегозадержание и т. п.

Вымерзание посевов — это повреждение или гибель зимующих растений в результате нарушения обмена веществ и образования кристаллов льда в протоплазме клеток при низких температурах воздуха и почвы (на глубине залегания узла кущения), при отсутствии или незначительном снежном покрове во время морозов. Возможна также гибель растений в связи с промерзанием почвы и образованием морозобойных трещин, разрывающих корневые системы. Следствием понижения температуры почвы на глубине залегания узла кущения (около 3 см) ниже критической для конкретного вида (сорта) в течение 2...3 суток является вымерзание растений. Критическая температура, как известно, зависит от вида (сорта) растений, от условий предзимнего закалывания (см. раздел 3.1, табл. 3.1).

Вымерзание растений характеризуется изменением тургора клеток, побурением и отмиранием клеток и тканей растений. Степень повреждения зависит от интенсивности и длительности опасных морозов и состояния самих растений. Вымерзание растений является наиболее распространенным видом повреждения и гибели озимых. В отдельные годы посевы озимых культур повреждаются (или гибнут) от вымерзания на больших площадях, особенно часто в степной и лесостепной зонах.

Ученые-агрометеорологи — А. М. Шульгин, В. А. Моисейчик и многие другие — предложили методы оценки условий перезимовки зерновых культур. Так, А. М. Шульгин на материалах наблюдений в условиях Алтайского края разработал эмпирический график (рис. 3.1), позволяющий определять минимальную температуру почвы на глубине залегания узла кущения (3 см) по минимальной температуре воздуха (в метеорологической будке).

В. А. Моисейчик (для условий Поволжья) установила корреляцию между минимальными температурами воздуха и в почве на глубине 3 см при

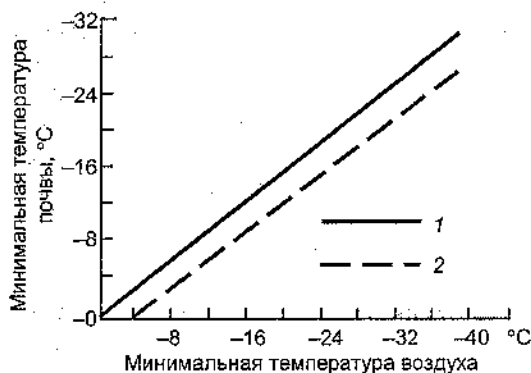


Рис. 3.1. Зависимость минимальной температуры почвы на глубине 3 см от минимальной температуры воздуха при отсутствии снежного покрова

1 — при промерзании почвы более 30 см; 2 — при промерзании почвы менее 30 см

различной глубине промерзания почвы (рис. 3.2). В оперативной работе агрометеорологов используются и другие методы.

Основным методом защиты зимующих посевов от вымерзания считается снегозадержание, способствующее увеличению высоты снежного покрова и более равномерному его распределению по площади. Из агротехнических мероприятий часто используют посев по чистым парам, посев на полях с лучшими предшественниками,

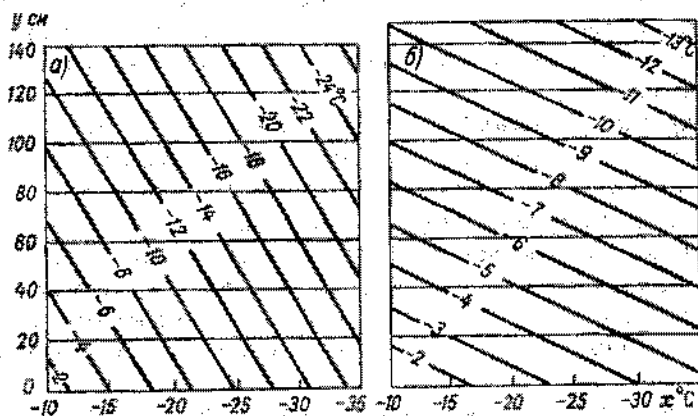


Рис. 3.2. Зависимость минимальной температуры на глубине 3 см от минимальной температуры воздуха x и глубины промерзания почвы y при высоте снежного покрова 5 см (а) и 10 см (б) (по В. А. Моисейчик)

более глубокую заделку семян, корректировку сроков сева озимых культур и последнего укоса трав. Известно, что озимые зерновые, ушедшие в зиму в фазе кущения с 4...5 побегов, обладают более высокой зимостойкостью, чем растения, ушедшие в зиму в фазе всхода или третьего листа, или сильно переросшие.

Вымокание растений — это повреждение или гибель озимых культур в результате нарушения процессов дыхания и фотосинтеза, недостатка кислорода и избытка углекислого газа (CO_2) при затоплении растений водой. Степень повреждения посевов зависит от глубины их затопления, продолжительности периода пребывания под водой и температуры воды. Наиболее опасно полное затопление растений. Это явление обычно наблюдается зимой при оттепелях на полях, а также ранней весной, при положительных дневных температурах воздуха, когда начинается снеготаяние. В таких условиях верхние горизонты почвы еще не оттаяли, и талая вода застаивается в низинах и микропонижениях рельефа. Осенью прорастающие семена зерновых культур гибнут при длитель-

ном затоплении (в течение 1...2 декад). При вымокании растений сначала погибают листья, затем корни и в последнюю очередь — узел кущения злаков. При кратковременном затоплении растений осенью и зимой при оттепелях (5...10 дней) озимые культуры обычно не погибают. Вымокание озимых культур наиболее часто наблюдается в западных и центральных регионах России, на Украине и в Беларуси (в среднем в 10...30 % лет).

Снижению отрицательного воздействия вымокания на состояние растений способствует высокий уровень агротехники, но основной способ — это своевременный отвод излишков влаги путем землеустроительных работ.

Выпирание растений — это повреждение озимых культур в виде выноса узла кущения или верхней части корневой системы к поверхности почвы (или на нее) при неоднократных сменах оттаивания и замерзания верхнего переувлажненного слоя почвы. Такое явление наблюдается осенью, когда увеличивается суточная амплитуда температуры воздуха и почвы: ночью — отрицательные температуры, днем — положительные. В зимнее время выпирание растений происходит при частом чередовании оттепелей и морозной погоды.

При замерзании воды в порах почвы ледяные кристаллы приподнимают (выпирают, вспучивают) верхний слой почвы вместе со слабоукоренившимися растениями, при этом корни последних разрываются. Во время оттаивания верхних горизонтов почва оседает, а узел кущения (или корневая шейка трав) вместе с частью корневой системы растений остается на ее поверхности. В дальнейшем растения сильнее повреждаются и погибают под воздействием ночных морозов, ледяной корки, колебаний температуры и обезвоживания.

Растения, хорошо раскустившиеся с осени, имеющие большое количество горизонтальных корней, повреждаются от выпирания значительно реже. Корневая система таких растений поднимается и опускается вместе с верхним горизонтом почвы и не разрывается. Наиболее часто выпирание растений наблюдается в районах избыточного увлажнения, на северо-западе и западе нечерноземной зоны. Сильно повреждаются растения, посеянные на поздно вспаханных тяжелых бесструктурных почвах, когда между временем обработки почвы и севом озимых зерновых культур проходит не более 10...20 дней, а также в годы с неустойчивой зимой, с длительными оттепелями, сменяемыми морозами.

К агротехническим мероприятиям борьбы с выпиранием растений относятся: своевременная обработка почвы под посев озимых культур, посев в уплотнившуюся почву с более глубокой заделкой семян, осушение чрезмерно увлажненных полей; иногда применя-

ется снегозадержание на полях, большинство растений на которых имеют обнаженные узлы кущения и др.

Зимняя засуха (см. раздел 2.2) обычно наступает при отсутствии снежного покрова. В солнечные дни надземные части растений прогреваются, что приводит к усилению транспирации и обезвоживанию тканей, так как из промерзшей почвы влага не поступает. У озимых культур вначале происходит высыхание надземных органов, затем процесс иссушения достигает узла кущения (корневой шейки у бобовых культур) и растение погибает. Особенно опасна зимняя засуха для слаборазвитых, плохо укоренившихся с осени посевов.

Наиболее часто зимние засухи отмечаются в степных районах в начале зимы, когда снежный покров еще не установился, и в конце малоснежной зимы при сильных ветрах. Надежной защитой от зимней засухи являются все способы снегозадержания на полях.

Ледяная корка — это слой льда на поверхности почвы, образующийся в условиях чередующихся оттепелей (или выпадения жидких осадков) и морозов. Ледяная корка, смерзшаяся с почвой, называется *притертой*, ледяная корка, образовавшаяся на поверхности снега, называется *настом*. При последующих снегопадах наст оказывается внутри снежного слоя, и такой вид ледяной корки получил название *подвешенной*.

Любой вид ледяной корки отрицательно влияет на зимующие растения: нарушает их газовый режим (недостаток кислорода и избыток углекислого газа), создает механические повреждения на растениях (разрыв корешков, вмержших в почву), способствует усиленному сносу снега с гладкой поверхности льда. При длительном залегании притертой корки (4 декады и более) и ее толщине 1 см и более происходит массовая гибель озимых культур. Подвешенная ледяная корка менее опасна для растений, чем притертая, поскольку в слоях снега сохраняется определенное количество воздуха. Однако в период весеннего таяния снега на полях снежный покров уплотняется под воздействием ночных отрицательных температур, а подвешенные ледяные корки, смыкаясь, создают очень опасную притертую корку, толщина которой может достигать 100...150 мм. В условиях затянувшегося периода снеготаяния наступает массовая гибель посевов от удушья.

В нечерноземной зоне России на посевах озимых культур образование ледяной корки наблюдается в 50...70 % лет, наиболее часто в районах с неустойчивой зимой — в центральночерноземной зоне, на Северном Кавказе, на Украине. Эффективными мерами защиты посевов от ледяной корки являются: снегозадержание, осушение полей, отвод талых вод. Для ускоренного таяния ледяной корки проводят зачернение ее поверхности торфом, перегноем или мине-

ральными удобрениями, выполняющими одновременно функции подкормки посевов.

Гололед — это слой плотного льда на земной поверхности и на предметах, образующийся в результате намерзания капель переохлажденного дождя, мороси или тумана. Он возникает при температурах 0...-3 °С, реже при более низких температурах — до -15 °С. Гололед не выделяется из воздуха путем сублимации влаги на наземных предметах, а образуется при выпадении переохлажденных капель, которые, соприкасаясь с охлажденными почвой и наземными предметами, замерзают, покрывая их ледяным панцирем. При интенсивном и длительном гололедообразовании корка намерзшего льда может достигать нескольких сантиметров, особенно на предметах с наветренной стороны. Под тяжестью льда ломаются ветви плодовых деревьев и кустарников, под слоем гололеда на земле гибнут озимые и ягодные культуры. Гололедные явления наносят также значительный урон техническим сооружениям, линиям электропередачи, связи и т. п. Гололед часто наблюдается в южных регионах европейской части России и на Украине. Эффективных мер защиты от гололедных явлений в сельском хозяйстве практически не существует.

3.3. Неблагоприятные условия перезимовки плодовых культур

Плодовые культуры, как и другие зимующие культуры, проходят две фазы закалывания перед уходом в зиму. Кроны плодовых деревьев и кустарников имеют различную морозоустойчивость в зависимости от биологических особенностей вида и сорта. Большое влияние на устойчивость плодовых к низким температурам оказывают такие факторы, как уровень плодоношения текущего года, время созревания плодов и время опадения листьев, осенние заморозки и их интенсивность. Так, поврежденные осенними заморозками листья не могут в полной мере накопить защитные, питательные вещества, что снижает морозоустойчивость кроны деревьев, особенно молодых побегов. Например, в Узбекистане катастрофической оказалась осень 1956 г., когда после теплого сентября внезапно наступившие холода (начало октября) почти полностью погубили плантации плодовых культур и виноградников на тысячах гектаров. Своевременное вызревание древесины молодых побегов и окончание их роста осенью являются необходимыми условиями подготовки плодовых культур к зимнему периоду. Наибольшая устойчивость плодовых культур отмечается в период глубокого покоя растений (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Критические температуры (°C) некоторых плодовых культур для зимнего периода

Плодовая культура	Критическая температура, °C	Плодовая культура	Критическая температура, °C
Яблоня (сибирские сорта)	-46...-50	Абрикос	-25...-28
Яблоня (среднерусские сорта)	-35...-40	Персик	-20...-25
Слива	-30...-32	Виноград	-18...-20
Груша	-28...-35	Мандарин	-9...-10
Вишня	-25...-35	Лимон	-7...-8

Морозостойчивость плодовых культур резко снижается в период длительных оттепелей, когда начинается сокодвижение и плодовые почки трогаются в рост. Последующие волны холодов вызывают подмерзание молодых ветвей деревьев не только в суровые, но и в сравнительно мягкие зимы.

При сильных морозах чаще всего повреждаются плодовые почки и концы однолетних ветвей, что снижает урожай следующего вегетационного периода. Более сильные повреждения древесины приводят к частичному или полному отмиранию крупных, скелетных, частей дерева или значительной части кроны. При сильных морозах после оттепелей на коре и в древесине плодовых деревьев образуются глубокие трещины. Наиболее значительные повреждения садов наблюдались в суровые зимы 1955/56, 1968/69, 1971/72, 1978/79 годов и др. В 1949/50 и в 1984/85 гг. произошло массовое повреждение и гибель цитрусовых плантаций в субтропических районах России и сопредельных стран.

Во второй половине зимы обычно наблюдаются значительные колебания температуры воздуха, особенно возрастает суточная амплитуда за счет более сильного дневного прогрева в солнечные дни. Таким температурным колебаниям подвергаются ткани коры на южной стороне деревьев: днем температура бывает положительная, ночью — снижается до отрицательных значений. Следствием периодического оттаивания и замерзания верхних слоев коры и камбия становится их частичное отмирание, заметное по появлению темных пятен, называемых *солнечными ожогами*, или *морозобоинами*. Это — одна из форм зимне-ранневесеннего повреждения плодовых и кустарниковых пород, возникающего вследствие воздействия прямой и отраженной от снега солнечной радиации в безоблачные дни. Такое воздействие усугубляется зимним иссушением тканей растения и отсутствием в этот период процессов фотосинтеза в коре. Различают два вида солнечных ожогов: *поверхно-*

стный, охватывающий периферийные ткани, и *внутренний* — в зоне камбия и в прилегающих к нему тканях коры и древесины. Поверхностный вид повреждения более типичен для молодых растений, внутренний — для взрослых особей. Длительные периоды с солнечной погодой зимой более опасны, чем отдельные ясные дни, чередующиеся с пасмурными днями. Кора стволов и ветвей деревьев и кустарников, обращенных на южную сторону, получает почти вдвое больше солнечной радиации, чем обращенных на север. Солнечными ожогами повреждаются практически все сорта и породы плодовых культур во всех плодородных зонах страны.

Существуют различные средства защиты древесно-кустарниковых форм от солнечных ожогов зимой. Например, известковая побелка стволов и крупных ветвей поздней осенью, их обвязка еловыми ветками и высокостебельными сухими растениями, а также внесение весной азотных удобрений для создания лучшего водного режима тканей и осенью фосфорно-калийных удобрений для повышения общей устойчивости коры и камбия.

Недостаток почвенной влаги в летний и осенний периоды неблагоприятно влияет на перезимовку плодовых культур. Поливы, проведенные перед уходом в зиму после длительной засухи, увеличивают зимостойкость деревьев и кустарников. В зимний период кроны плодовых культур могут быть повреждены вследствие иссушения тканей под воздействием сильных ветров, низкой относительной влажности воздуха при малых запасах влаги и глубоком промерзании корнеобитаемых горизонтов почвы. Особо подвержены иссушению от сильных ветров однолетние побеги и плодовые почки, которые к весне погибают.

Морозоустойчивость корневой системы плодовых культур значительно ниже, чем надземных органов. В течение зимы морозоустойчивость корней постепенно возрастает, но в начале зимы при резком наступлении холодов и невысоком снежном покрове (или при его отсутствии) корневая система может полностью погибнуть. Гибель наступает из-за иссушения тканей в результате разрывов проводящих сосудов кристаллами льда. Ярким примером стала суровая, бесснежная зима 1968/69 г., когда температура почвы на глубине залегания корней плодовых культур понижалась на длительное время до $-16...-17^{\circ}\text{C}$; в эту зиму на европейской части России погибло более 30 % садов.

По данным Т. А. Побетовой, при частичном повреждении корневой системы у плодовых культур ослабляется весенний рост, формируются мелкие листья, частично засыхают завязи, и урожай в течение последующих лет может быть низким. Известны случаи, когда в условиях почти полной гибели корневой системы дерево возобновляло вегетацию весной и даже цвело за счет сохранившихся

ся в штамбе запасов влаги и питательных веществ, а затем быстро погибало. Пагубно влияние на деревья гололедных явлений (см. раздел 3.2).

Одним из важных средств защиты плодовых культур и виноградников от опасных гидрометеорологических условий зимнего периода является учет микроклиматических особенностей местности при закладке новых садов и плантаций: посадки нельзя располагать в низких, морозоопасных формах рельефа, на склонах возвышенностей, подверженных ветрам господствующих направлений. В районах с суровыми и малоснежными зимами проводят снегозадержание или мульчирование сыпучими материалами (торфом, перепревшей соломой, навозом и т. п.) приствольных кругов. Эти мероприятия надежно защищают верхние слои почвы от промерзания.

В естественных условиях повреждение и гибель зимующих культур происходят под влиянием комплекса факторов, действующих, как правило, одновременно. Например, засушливая осень, малоснежная зима и сильные ветры приводят к иссушению верхнего слоя почвы, тканей растений, однолетних побегов плодовых культур и последующей их гибели. Такие примеры несложно найти и при других проявлениях неблагоприятных условий зимнего периода.

3.4. Неблагоприятные метеорологические условия для пастбищного животноводства и оленеводства

Влияние метеорологических условий на сельскохозяйственных животных изучает зоометеорология, являющаяся разделом сельскохозяйственной метеорологии. Совокупность метеорологических факторов, воздействующих на сельскохозяйственных животных, называется зоометеорологическими условиями.

Основы этого научно-практического направления в сельскохозяйственной метеорологии были заложены трудами А. С. Утешева, В. А. Ярошевского, А. П. Федосеева, Н. А. Конюхова, А. И. Чекереса, С. А. Даниелова. Ими разработаны методы качественной и количественной оценки условий зимнего и летнего выпаса овец, перегона скота на новые сезонные пастбища, проведения массовой стрижки овец, окота животных и других мероприятий, осуществляемых в животноводческих районах.

Специализированные зоометеорологические наблюдения за влиянием погодных условий на состояние выпасаемых на пастбищах животных и проведением основных хозяйственных мероприятий в животноводстве во все сезоны года проводятся агрометеорологами-наблюдателями на сети станций и постов, привле-

ченных к этим наблюдениям. Такие наблюдения проводятся по специальным программам, включенным в Инструкцию по агрометеорологическим наблюдениям в районах пастбищного животноводства. На основании полевых наблюдений, используемых методов оценки и прогнозов проводится *зоометеорологическое обеспечение*, представляющее собой систему сбора, обработки и выдачи оперативной и режимной гидрометеорологической информации о сложившихся и ожидаемых зоометеорологических условиях и их влиянии на состояние находящихся на пастбище животных, на проведение хозяйственных работ в животноводстве.

На сельскохозяйственных животных влияют неблагоприятные метеорологические условия как зимнего, так и летнего периодов года.

В районах пастбищного животноводства — в азиатских странах СНГ и в России (в Калмыкии, Дагестане, на черных землях Прикаспия, а также в зоне северного оленеводства) — выпасаемые животные в течение всего года находятся под открытым небом. Степень благоприятности погоды для них определяется не только метеорологическими параметрами (солнечная радиация, температура приземного воздуха, интенсивность и вид осадков, скорость ветра и др.). Она зависит от вида и породы сельскохозяйственных животных, их возраста, упитанности, количества и качества питательной ценности кормов, системы содержания и т. п.

Неблагоприятные явления погоды для сельскохозяйственных животных оцениваются по реакции животных, находящихся на пастбище. Степень неблагоприятности явлений погоды определяется по критериям погодных условий применительно к состоянию животных в различные сезоны года. Одним из таких критериев является невыпасной день, когда из-за неблагоприятных метеорологических условий сельскохозяйственные животные находятся на стойловом содержании или в специальных укрытиях (загонах, под навесами и т. п.) более 4...5 ч; частично невыпасной — 2...3 ч.

Сельскохозяйственные животные относятся к теплокровным животным. Их теплообмен направлен на сохранение температуры тела в определенных, довольно ограниченных пределах, обеспечивающих нормальный ход биохимических реакций и физиологических процессов в организме. Благодаря относительному постоянству температуры тела физиологические процессы протекают с одинаковой активностью, что позволяет животным жить и давать продукцию в самых различных климатических условиях. Например, температура тела у лошадей и северных оленей равна 38 °С, у коров 39 °С, у овец и коз 40 °С. При снижении температуры тела до

при рыхлом снеге высотой 40 см и более, при плотном — 20 см и более. Крайне тяжелые условия для выпаса на зимних пастбищах создают ледяные корки и ледяные прослойки в снежном покрове. В малоснежные зимы или после оттепелей с дождем, сменяющихся морозами, в полупустынной и пустынной зонах пастбища покрываются ледяным панцирем; корм оказывается недоступным для домашних и диких животных.

Пастбищная бескормица, созданная такими условиями, получила название *джут*. Гололед, образовавшийся на поверхности почвы, в условиях бесснежной зимы затрудняет передвижение животных в поисках корма. Голодные животные не могут добыть растения, вмёрзшие в сплошной панцирь льда, им недоступны также побеги кустарников и полукустарников, покрытые коркой льда толщиной от 0,5 до 3 см. Животные плохо передвигаются по скользкой поверхности ледяной корки или по глубокому снегу, травмируют ноги об острые края ледяных прослоек в снежном покрове, иногда падают. При снежном покрове, превышающем 10 см, ледяные корки толщиной 0,5 см и более препятствуют передвижению и выпасу овец, критическая толщина ледяной корки для лошадей — 3 см. Быстро слабея в условиях длительной бескормицы, овцы погибают. Известны суровые зимы, когда продолжительная бескормица (джут) стала причиной гибели миллионов голов скота.

Влияние низких температур на состояние овец зимой оценивается в комплексе со скоростью ветра. Как видно из рис. 3.4, действие этих факторов в условиях Казахстана и Западного Прикаспия различно. Более того, при неодинаковых плотности и высоте снега

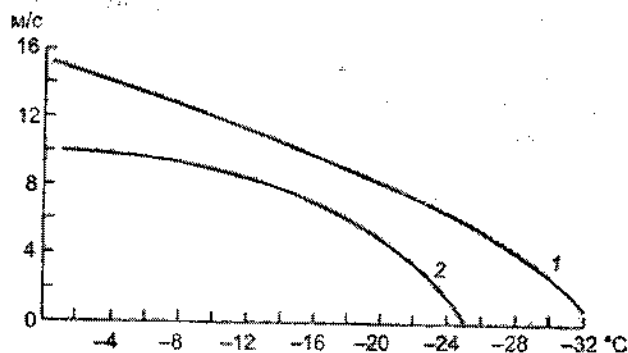


Рис. 3.4. Благоприятные (слева от кривых) и неблагоприятные (справа от кривых) для зимнего выпаса овец сочетания скорости ветра и температуры воздуха (по А. П. Федосееву, 1959)

1 — для условий Северного Казахстана; 2 — для условий Южного Казахстана и Западного Прикаспия

значений 24°C и менее или при повышении до уровня 44°C животное погибает.

Термические условия среды обитания непосредственно влияют на жизненные функции и активность животных, поскольку их физиологические процессы и поведение зависят от температуры воздуха и почвы. В холодных условиях тело животного переохлаждается, в жарких — перегревается. Обмен веществ, потребление и усвоение пищи, двигательная активность, миграция, размножение и другие биологические процессы связаны у животных с годовой цикличностью освещенности и температуры среды.

В условиях перегрева или переохлаждения происходят нарушения теплового и энергетического равновесия в организме животного, следствием чего является снижение продуктивности животного. Иногда возникают критические ситуации — столь значительные нарушения балансов тепла, влаги и энергии, что животное заболевает и погибает.

Самым тяжелым периодом для выпасаемого поголовья является зима. Недостаток кормов на пастбищах, их низкая питательная ценность, сокращение продолжительности светлой части суток, а следовательно, и продолжительности выпаса животных, низкие температуры и ветер усиливают затраты энергии животных, возрастает их потребность в питании, особенно это касается маточного поголовья. К неблагоприятным зоометеорологическим условиям зимнего периода относятся низкие температуры воздуха, сильный ветер, метель, высокий снежный покров, особенно с ледяными прослойками, и ледяная корка.

Рыхлый снежный покров на равнинных пастбищах высотой 20...25 см, а на высокогорных — 35...40 см значительно затрудняет выпас овец или приводит к его полному прекращению из-за трудности передвижения животных в поисках сухих трав, возвышающихся над снежным покровом. Пастбищный корм может оказаться недоступным и при меньших высотах снежного покрова, но при большей его плотности (рис. 3.3).

Выпас лошадей затруднен при рыхлом снежном покрове высотой 60 см и более, при плотном — 30 см и более; выпас верблюдов затруднен

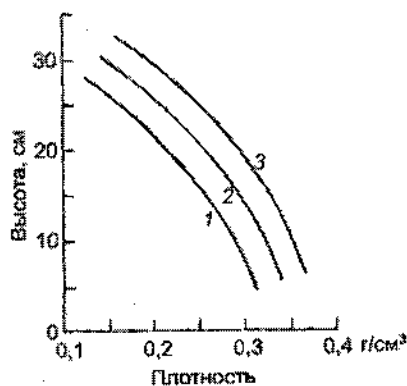


Рис. 3.3. График для оценки условий выпаса овец в зимний период в зависимости от высоты и плотности снежного покрова (по А. П. Федосееву, 1959)

1 — выпас свободный; 2 — выпас затруднен; 3 — выпас невозможен

влияние отрицательных температур воздуха и скорости ветра также различное. Низкие температуры воздуха с ветром, метель, поземок вызывают у овец повышенную теплоотдачу и теплозатраты на поддержание необходимого уровня температуры тела; животные прекращают выпас, сбиваются в плотные группы. Но и эта инстинктивная попытка снизить потери тепла не спасает овец от простуды и обморожения. Наименее выносливыми оказываются молодняк и истощенные недостатком кормов животные. Даже при наличии достаточного количества кормов вследствие воздействия неблагоприятных условий становится потеря их массы: до 310 г в сутки у взрослых овец и до 120 г — у молодняка. Длительный период с неблагоприятными зимними условиями приводит к быстрому истощению и гибели животных.

При организации основных работ в пастбищном животноводстве большое значение имеет учет климатических условий применительно к различным видам и породам животных. Например, климатическая оценка длительности зимней пастбищной бескормицы на территории Казахстана позволяет с достаточной точностью определять и создавать необходимый объем кормов (страховой запас) на невыпасной период, выбирать систему ведения выпаса и т. п. На рис. 3.5 приведена карта среднего числа невыпасных дней для овец в зимний период в Казахстане.

Весной, когда начинается окот овец, вторжения холодного воздуха, сопровождаемые сильными ветрами, ночными заморозками или холодным дождем, способствуют массовым простудным заболеваниям и падежу молодняка. Это очень напряженное время в чабанских (пастушьих) бригадах, связанное с необходимостью сохранения новорожденных ягнят.

Весенняя стрижка овец должна проводиться в оптимальные сроки, когда вероятность возврата холодов или холодной дождливой погоды становится невысокой. Однако запаздывание со сроками стрижки приводит к тому, что наступившая жара изнуряет нестриженных животных, качество шерсти снижается, а богатые весенние пастбища неполноценно используются животными для нагула.

В многодневные периоды перегонов отар овец из равнин на высокогорные летние пастбища для истощенных и уставших животных особенно опасны холодные дожди, мокрый снег и порывистый ветер, часто наблюдающиеся в горах даже в теплое полугодие. Неблагоприятное воздействие этих условий усиливается низкими (иногда отрицательными) температурами воздуха, большой скученностью животных на трассах перегона и отсутствием подножного корма.

Летний период для овец, находящихся на пастбищах, чрезвычайно важен для нагула животных (рис. 3.6). Высокие температуры воздуха и почвы в дневные часы, высокий уровень солнечной ра-

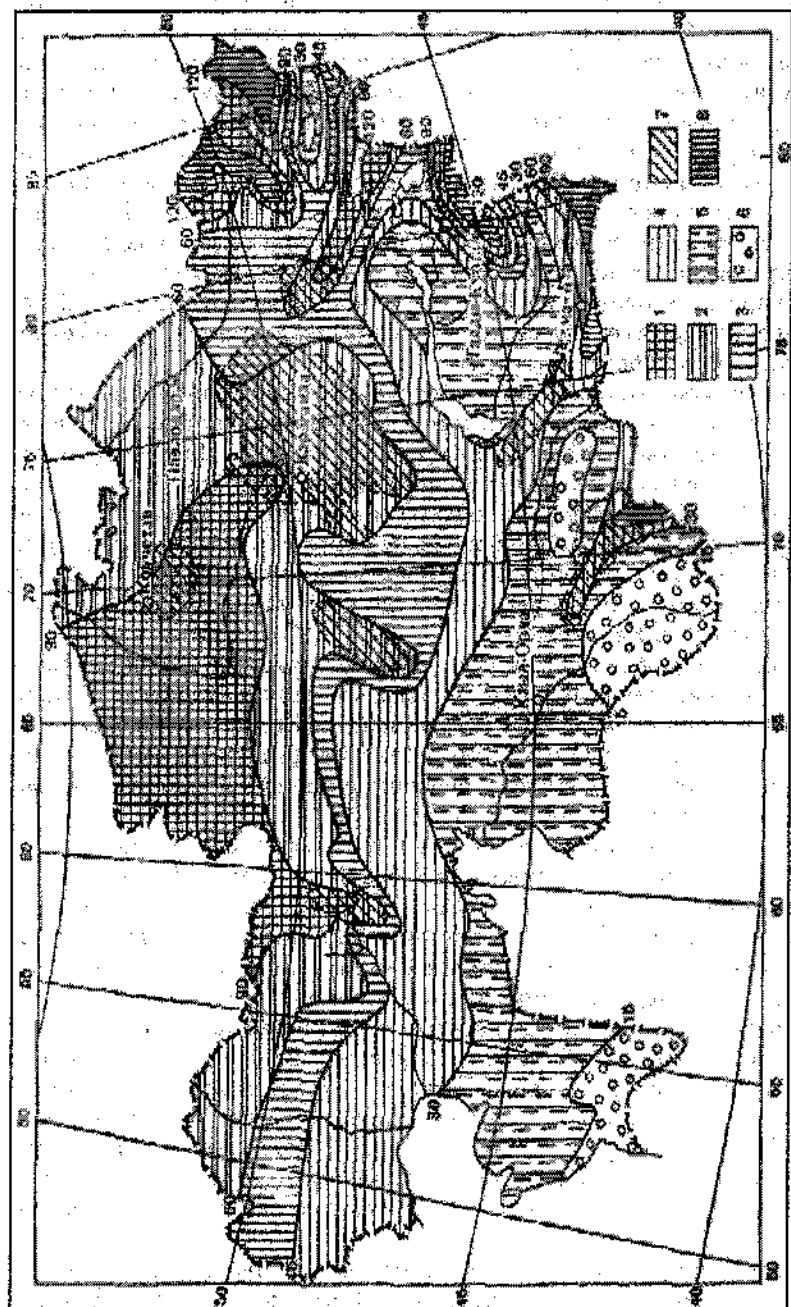


Рис. 3.5. Среднее многолетнее число невыпасных дней для овец по условиям погоды в зимний период в Казахстане (по А. П. Федосееву, 1959)

1 — более 90; 2 — 61...90; 3 — 46...60; 4 — 31...45; 5 — 16...30; 6 — менее 15; 7 — районы низкотерий; 8 — высокогорья

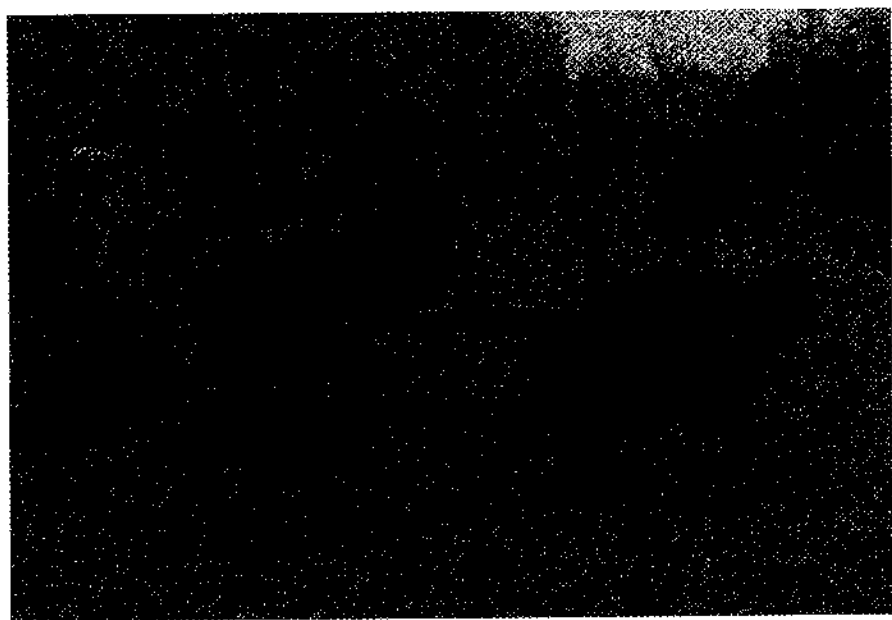


Рис. 3.6. Каракульские овцы на летнем выпасе в пустыне Кызылкум (фото И. Г. Гриногофа)

диапии в безоблачные дни, отсутствие тени, горячий ветер и пыльные бури угнетают животных. Они становятся вялыми, сбиваются в кучи, прячут головы в короткую тень от соседних животных, прекращают выпас. В пустынных и полупустынных районах в летние месяцы чабаны переводят отары овец на усиленный режим водопоя и ночной выпас, когда ночная прохлада сменяет дневной зной, и животные могут пастись до утра. У животных, ослабленных жарой, повышается восприимчивость к заболеваниям, они теряют в массе. Если в течение декады наблюдалось 6...7 дней с жаркой погодой, неблагоприятной для овец, нагула животных не происходит. Совместное влияние температуры воздуха и скорости ветра, неблагоприятных для различных пород овец в период летнего выпаса в различных почвенно-климатических зонах, отражено на рис. 3.7.

Оленеводство — отрасль животноводства, занимающаяся разведением и хозяйственным использованием северных и палевых оленей. Это ведущая отрасль животноводства в районах Крайнего Севера России, Республики Саха (Якутия), Магаданской области и Хабаровского края. Характерной особенностью этой отрасли является содержание одомашненных северных оленей (рис. 3.8) на тех же пастбищных территориях, на которых выпасаются значи-

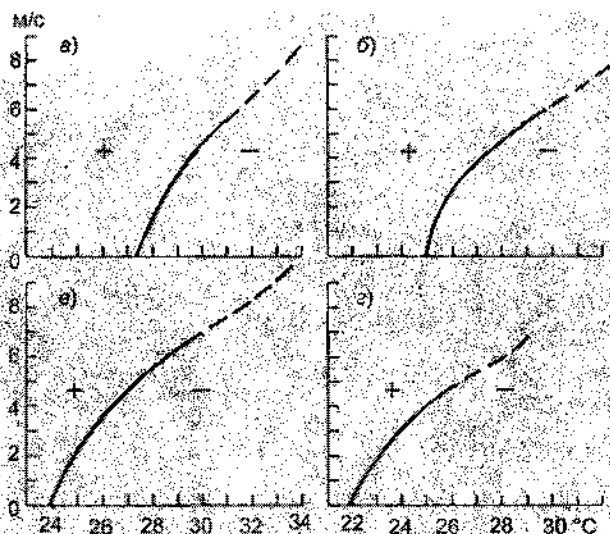


Рис. 3.7. Благоприятные (+) и неблагоприятные (-) для летнего выпаса овец сочетания температуры воздуха и скорости ветра (по А. И. Чекересу, 1973)

а — каракульские овцы (пустынная зона); б — тонкорунные и полутонкорунные овцы (пустынно-степная зона); в — грубошерстные и полугрубошерстные овцы (пустынно-степная зона); г — тонкорунные овцы (лесостепная зона)

тельные еще стада диких северных оленей. И домашние, и дикие северные олени круглый год содержатся на естественном подножном корме и полностью зависят от погодных условий. Вследствие свободного контакта во время выпаса существует опасность передачи заболеваний домашних животных (эпизоотии) диким северным оленям, и наоборот, заболевшие дикие животные могут заразить домашних. Запасы и питательная ценность естественных кормов оленей изменяются по сезонам года. Несмотря на обширные пастбищные территории, для северного оленеводства в отдельные годы возникают проблемы с нехваткой подножного корма, вызывающие миграцию диких оленей и перегон домашних на новые, нетронутые пастбища за тысячи километров (рис. 3.9).

Зима в районе оленеводства продолжается от 6 до 7,5 мес. Зимний период характеризуется низкими температурами воздуха, достигающими $-55...-60^{\circ}\text{C}$ в континентальных районах, сильными ветрами, продолжительными метелями (60...100 дней в году). Устойчивый снежный покров сохраняется на протяжении 7...9 месяцев, его высота варьирует от 40 до 70 см. От высоты и плотности снежного покрова зависит степень доступности подножного корма для оленей. При высоте 60...70 см и плотности снега не более $0,15...0,21 \text{ г/см}^3$



Рис. 3.8. Северные олени на тундровых пастбищах в Якутии (фото Ю. И. Мызина).

корм для оленей считается легкодоступным, при высоте снежного покрова 80...90 см доступность снижается, а при высоте более 1 м корм становится почти недоступным. При возрастании плотности снега до 30 г/см^3 даже при небольшой высоте снежного покрова (20...30 см) животные вынуждены тратить много энергии на добывание корма. Зачастую копыта и голени животных сильно травмируются о ледяные прослойки снега и ледяной панцирь, закрывающий подножный корм, животные прекращают раскапывать снег, быстро теряют силы и погибают. При плотности снега $0,40 \text{ г/см}^3$ корм становится недоступным для оленей.

Исследованиями В. А. Ярошевского, С. А. Даниелова, М. Т. Гермогенова, А. Н. Полевого, И. Г. Грингофа и других выявлены количественные зависимости массы тела оленя от получаемой энергии и ее затрат. Энергия поступает в организм в процессе питания (количество, калорийность и степень усвоения корма). Энергия животного расходуется на затраты, необходимые для поддержания постоянной температуры тела, на передвижение, на добывание подножного корма, на нагревание вдыхаемого холодного воздуха, на поддержание физиологических и биохимических процессов, обеспечивающих все жизненные функции животного. При этом учитываются метеороло-

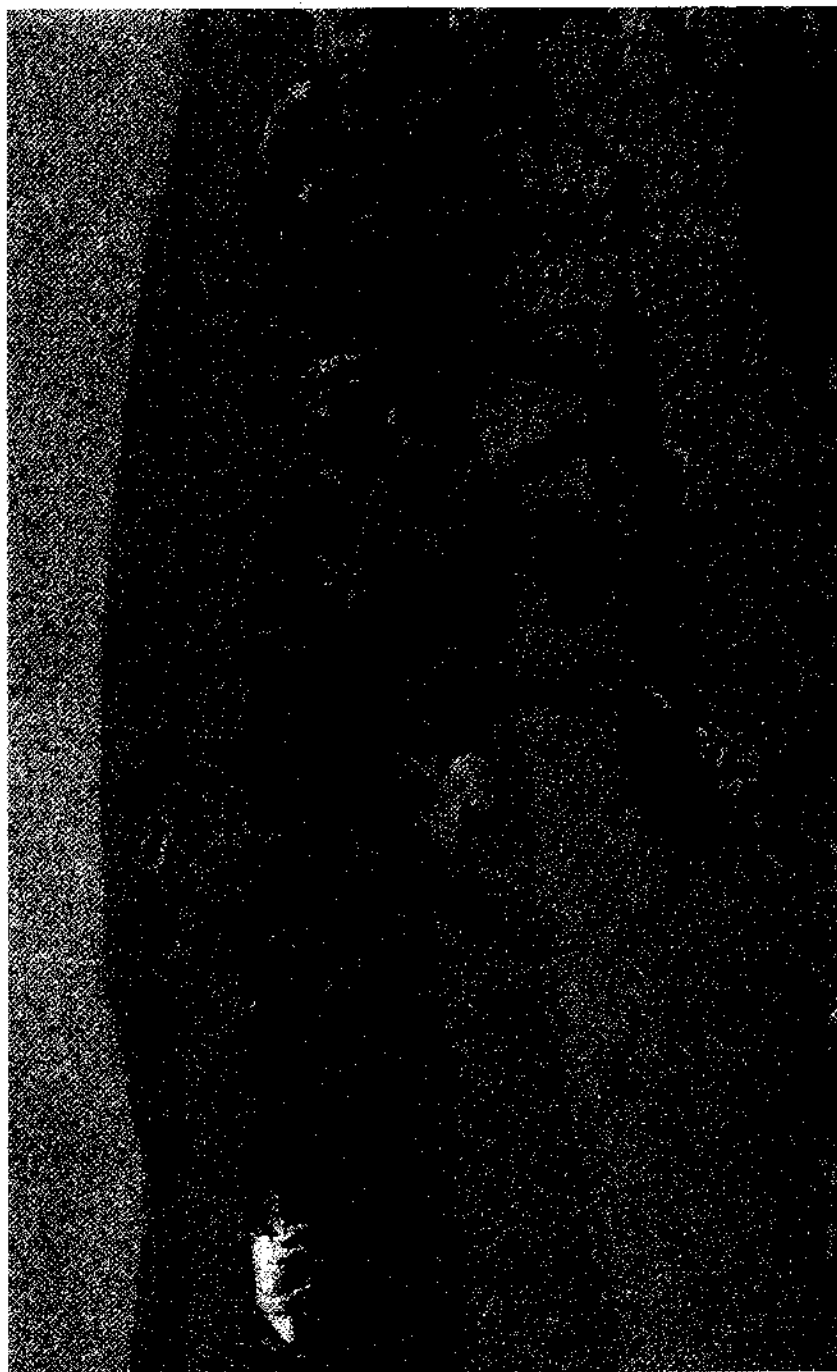


Рис. 3.9. Перегон домашних северных оленей на новые пастбища в Якутии (фото Ю. И. Мельникова)

гические условия: температура воздуха, сила ветра, высота и плотность снежного покрова, — в значительной степени определяющие состояние и степень упитанности животных.

Весной, в апреле — мае, когда в оленеводческих хозяйствах начинается отел животных, погода обычно неустойчивая — дожди, мокрый снег, сильный ветер. У новорожденных телят в этих условиях возможны простудные заболевания, очень опасные в первые дни жизни.

В континентальных районах оленеводческой зоны высокая температура воздуха летом способствует перегреву животных из-за особенностей шерстного покрова и слабого теплообмена с окружающим воздухом. Олени ослабевают, подвергаются различным заболеваниям. Особенно мучают животных в безветренные летние дни кровососущие насекомые: гнус, оводы, слепни, мошка и комары. Животные не могут спокойно пастись, пытаются убежать от несметного количества вездесущих насекомых. Насекомые набиваются в носоглотки оленей, сосут кровь, откладывают свои личинки (оводы) под кожу животных. Животные мучаются от постоянного зуда, в их шкурах остаются дырки-свищи. Поэтому с наступлением теплой погоды и массового выплода кровососущих насекомых стада оленей перекечывают из безветренных континентальных районов на побережье северных морей, где более прохладная и ветреная погода способствует нормальному выпасу и хорошему нагулу животных. За летний период при поедании зеленого подножного корма в организме оленей накапливаются питательные вещества, которые затем постепенно расходуются в долгие зимние месяцы. От степени упитанности оленей, связанной с условиями кормления в летние месяцы, зависит их жизнестойкость в многомесячный зимний период.

Оперативное гидрометеорологическое обслуживание оленеводства осуществляется круглогодично. Это позволяет снизить потери животных от неблагоприятных и опасных погодных условий сурового северного края.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Объясните сущность понятий „зимостойкость” и „морозостойкость” растений. Как рассчитать коэффициент перезимовки растений?
2. Дайте определение понятию „критическая температура вымерзания растений”. Приведите примеры.
3. Назовите основные причины гибели озимых культур в период перезимовки. Как проявляются на растениях повреждения от неблагоприятных условий перезимовки?
4. Расскажите об основных мерах защиты озимых посевов от различных видов неблагоприятных условий зимнего периода.

5. В чем сущность явления зимней засухи?
6. Какие виды ледяной корки вы знаете? Чем опасно ее появление для зимующих растений?
7. В чем проявляется особенность неблагоприятных условий для перезимовки плодовых культур?
8. Что изучает наука зоометеорология? В чем заключается зоометеорологическое обеспечение животноводства?
9. Объясните термин "невыпасной день" применительно к сельскохозяйственным животным.
10. Как вы понимаете термин "пастбищная бескормица"? При каких условиях она возникает?
11. В чем особенности зоометеорологического обеспечения северного оленеводства?
12. Назовите зоометеорологические критерии неблагоприятных зимних и летних условий для пастбищного животноводства.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПО ИХ ТРЕБОВАНИЯМ К АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ

Климатические и погодные условия возделывания сельскохозяйственных культур на территории России и других государств СНГ весьма разнообразны. Это позволяет выращивать большое разнообразие культур, за исключением тропических. Однако из всей площади, используемой для сельского хозяйства, только третья часть (по усредненным данным) получает достаточное количество осадков, необходимое для формирования урожая. Остальные две трети посевных площадей подвержены периодическим засухам, поздним весенним и ранним осенним заморозкам, сильным морозам зимой, влиянию недостаточной теплообеспеченности посевов, избыточному увлажнению и другим видам неблагоприятных условий погоды теплого и холодного полугодий. Этим в значительной мере объясняются колебания урожайности и валового сбора зерновых и других сельскохозяйственных культур от года к году (табл. 4.1).

В 1995 г. в России средняя урожайность всех зерновых и зернобобовых культур составила 1,16 т/га, а валовой сбор — 63,4 млн. т; в 2000 г. — соответственно 1,44 т/га и 65,5 млн. т.

Чтобы в условиях значительных колебаний урожайности и валовых сборов сельскохозяйственных культур обеспечить население страны продуктами питания, а промышленность сельскохозяйственным сырьем, необходимо заблаговременное планирование. Для своевременной оценки сложившихся и ожидаемых условий форми-

Таблица 4.1

Суммарное производство основных зерновых культур в СССР и в России

Страна	Годы								
	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990
СССР	0,79	0,84	1,09	0,95	1,56	1,09	1,39	1,51	1,99
	82	107	125	121	187	141	176	178	218
Россия	0,72	0,77	1,07	0,90	1,56	1,01	1,29	1,45	1,85
	47	59	76	70	113	77	97	99	117

Примечание. Числитель — урожайность, т/га; знаменатель — валовой сбор, млн. т.

рования урожайности возделываемых культур и естественных се-
нокосно-пастбищных растений нужно знать их потребность в агро-
метеорологических условиях, и в первую очередь в тепло- и влаго-
обеспеченности.

4.1. Зерновые культуры

Зерновые культуры — это важнейшая группа злаковых растений, возделываемых в основном для получения зерна. Зерно имеет большое продовольственное и кормовое значение, является сырьем для мукомольной, крупяной и комбикормовой промышленности. Злаковые культуры обычно подразделяют на хлебные и бобовые. К хлебным культурам относятся пшеница, рожь, ячмень, овес. В группу хлебных включены и крупяные культуры — гречиха, рис, просо, сорго, чумиза и др. Группу бобовых культур составляют горох, фасоль, соя, арахис, бобы, нут и др.

Озимая пшеница — ценная продовольственная зерновая культура, посевы которой занимают на территории Северного Кавказа, Центрально-Черноземной зоны, Нижнего Поволжья, Украины и Молдавии около 80 % посевных площадей.

Семена озимой пшеницы начинают прорастать уже при температуре 1...2 °С, однако для дружного прорастания и появления всходов оптимальной считается температура 14...20 °С. При такой температуре и хорошей влажности пахотного горизонта почвы массовые всходы обычно появляются через 7...9 дней после сева. Температура выше 24 °С неблагоприятна для прорастания семян. При запасах продуктивной влаги в пахотном слое менее 5 мм всходы не появляются.

Е. С. Улановой установлено, что наименьшая продолжительность периода посев—всходы (5...7 дней) наблюдалась при запасах продуктивной влаги в пахотном слое почвы от 30 до 60 мм и при температуре воздуха выше 14 °С. При снижении запасов влаги до 15 мм всходы появлялись через 12 дней, а при уменьшении до 6...7 мм — через 20...25 дней. При снижении температуры воздуха до 10 °С всходы появлялись через 10...12 дней, при температуре 7...8 °С — через 17...20 дней. При достаточном увлажнении почвы всходы озимой пшеницы появляются, когда от дня посева сумма эффективных температур (выше 5 °С) составляет 67 °С.

Одним из важных условий, обеспечивающих нормальную перезимовку озимой пшеницы, является фаза развития, в которой растение входит в зимний период. Хорошо укоренившиеся растения в фазе кущения оказываются наиболее стойкими к комплексу неблагоприятных условий зимнего периода (см. раздел 3.2). Наступление фазы кущения озимой пшеницы находится в тесной зависимости от температуры и запасов продуктивной влаги в корнеобитаемом слое

почвы. Если запасы влаги составляют 30 мм и более, кущение озимой пшеницы начинается после фазы всходов при накоплении суммы эффективных температур воздуха (выше 5 °C) 67 °C. Наименьшая продолжительность периода всходы—кущение, составляющая 8...10 дней, наблюдается при запасах влаги 30...50 мм в слое почвы 0...20 см и температуре воздуха 13...18 °C. При такой же температуре, но меньших запасах влаги (около 15 мм) период от всходов до кущения увеличивается до 16...18 дней; при запасах влаги 6...8 мм фаза кущения наступает только через 25...30 дней. Наиболее благоприятной для кущения озимой пшеницы является температура воздуха 9...12 °C при запасах продуктивной влаги более 20 мм в пахотном слое. При температуре 1...3 °C кущение не наступает и растение уходит в зиму ослабленным, в фазе всходов, что крайне неблагоприятно для формирования будущего урожая.

Активная вегетация озимой пшеницы прекращается после перехода средней суточной температуры воздуха осенью через 5 °C в сторону понижения. Однако в южных регионах переход от осени к зиме более продолжителен по времени, происходит постепенно, благодаря более интенсивному дневному прогреву воздуха. Поэтому процесс кущения озимой пшеницы наблюдается до даты перехода температуры через 3 °C. Во время длительных возвратов осенней теплой погоды возможно не только продолжение процесса кущения, но и „израстание” озимых посевов. Это явление выражается в образовании значительного количества побегов, которые в условиях малого притока солнечной радиации вытягиваются, теряют предзимнюю закалку, остаются слабыми и при наступлении зимних холодов погибают. При благоприятных условиях озимая пшеница, посеянная в оптимальные сроки, формирует к концу осени 3...6 побегов на одном растении.

В черноземных районах, где тепловые ресурсы достаточны для этой культуры, весенние запасы продуктивной влаги определяют уровень будущего урожая. Так, по данным Е. С. Улановой, хорошими весенними запасами влаги в метровом слое почвы являются 150...200 мм, удовлетворительными — 120...150 мм, плохими — менее 100 мм. Зависимость урожайности озимой пшеницы от значения весенних запасов продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см и среднего числа стеблей на 1 м² представлена на рис. 4.1.

Вследствие интенсивного роста озимой пшеницы в период выход в трубку — колошение наблюдается наибольшая потребность во влаге. Наиболее высокие урожаи формируются в годы, когда в этот период запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы составляют 100...125 мм. При небольших запасах продуктивной влаги в почве весной урожайность озимой пшеницы в значительной степени зависит от количества выпадающих осадков. Майские осадки в

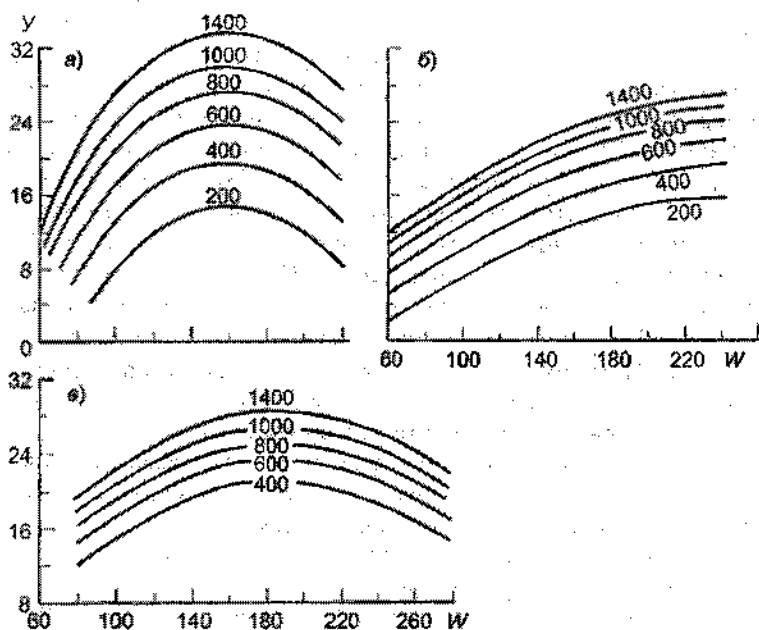


Рис. 4.1. Зависимость средней областной урожайности озимой пшеницы (У ц/га) от средних по области запасов влаги в метровом слое почвы (W мм) и числа стеблей на 1 м^2 в фазу выхода в трубку (по Е. С. Улановой, 1975)

а — Северный Кавказ, Украина, Молдавия; б — западные и северные области Украины; в — черноземная зона, Среднее и Нижнее Поволжье; цифры в поле рисунка — число стеблей на 1 м^2

количестве 40...80 мм обеспечивают хорошие условия для формирования урожая, особенно при температурах воздуха 15...20 °С.

В период цветения и созревания потребность в тепле у растений возрастает. Однако при высоких температурах в период цветения резко снижается жизнеспособность пыльцы, что ухудшает опыление и снижает будущий урожай. Минимальной температура для цветения считается 6...7 °С, максимальной — около 40 °С. При снижении относительной влажности воздуха до 30 % и ниже, повышении температуры до 25 °С и выше и скорости ветра 5 м/с и более недостаток продуктивной влаги в почве ведет к пожелтению, скручиванию и подсыханию листьев, формируется щуплое зерно и образуется череззерница (см. раздел 2.2). По данным С. А. Вериги, средние за период цветения — начало восковой спелости запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы 40 мм и более способствуют формированию полноценного зерна; при влагозапасах 10 мм и менее процесс формирования зерна прекращается, растение засыхает.

Общая продолжительность вегетационного периода озимой пшеницы, включая зимний период, в зависимости от сорта и сложившихся агрометеорологических условий варьирует от 275 до 330 дней. Эта культура хорошо использует осеннюю и весеннюю влагу, поэтому ее урожайность в значительно меньшей степени зависит от условий увлажнения весенне-летних месяцев, чем урожайность яровых зерновых культур. Для озимой пшеницы характерно развитие мощной, хорошо разветвленной корневой системы, глубоко проникающей в почву, благодаря которой растение меньше подвержено влиянию засух и суховеев (см. раздел 2.2). Уборка озимой пшеницы происходит обычно на 7...10 дней раньше уборки яровых зерновых культур, что позволяет более равномерно распределять трудовые затраты и сельскохозяйственную технику.

Озимая рожь — одна из древнейших зерновых культур, выращиваемая на территории России со 2...1-го тысячелетия до н. э. Возделывается во многих почвенно-климатических зонах, но в основном в нечерноземной зоне России, где сосредоточено около 80 % посевных площадей, отличающихся благоприятными для озимой ржи природными условиями. Ее средняя урожайность составляет 2,2...2,5 т/га. Рожь — это пищевая, кормовая и техническая культура. Из зерна ржи изготавливается мука для выпечки хлеба, крахмал, патока, комбикорма для сельскохозяйственных животных, которые поедают также зеленую массу, сено ржи.

При наличии влаги в почве семена ржи начинают прорастать при температуре 1...2 °С; оптимальная температура для их прорастания 20...22 °С. Дружные всходы озимой ржи появляются через 6...8 дней после посева при температуре 12...14 °С и хороших запасах влаги в верхних 20 см почвенного слоя. Наименьшая продолжительность периода посев—всходы (до 10 дней) наблюдается при температуре 13 °С и запасах продуктивной влаги в пахотном горизонте почвы более 30 мм. Продолжительность этого периода увеличивается до 15...20 дней при температуре 9...11 °С и хороших запасах влаги или при температуре 13 °С, но при более низких запасах влаги (15...20 мм в слое 0...20 см).

Рожь — зимостойкая культура, выдерживающая в малоснежные зимы морозы до 30...35 °С.

Рожь хорошо кустится при средней суточной температуре воздуха около 12 °С, хотя слабое кущение наблюдается и при температуре около 5 °С. При наличии достаточных запасов влаги в почве в период от даты посева до образования третьего побега кущения растений необходима сумма эффективных температур 200 °С, а до появления шестого побега кущения — 300 °С.

Весеннее возобновление вегетации этой культуры происходит при температуре воздуха около 5°C . В период выхода в трубку благоприятна температура воздуха $11...12^{\circ}\text{C}$. В период колошения хорошими условиями считается температура $14...15^{\circ}\text{C}$, в период цветения и созревания благоприятна температура воздуха $16...17^{\circ}\text{C}$. Опыляется рожь перекрестно, ветром.

На урожайность озимой ржи заметное влияние оказывают осадки, выпавшие в течение трех декад после наступления фазы колошения, и температурный режим (рис. 4.2). Рожь относится к числу засухоустойчивых культур, что объясняется, в частности, хорошим развитием ее корневой системы. Наибольшее потребление влаги посевами ржи отмечается в период быстрого роста растений — от выхода в трубку до колошения. Недостаток влаги в этот период вызывает образование мелких и малопродуктивных колосьев. Продолжительность вегетационного периода озимой ржи колеблется в зависимости от сорта и сложившихся агрометеорологических условий от 150 до 250 дней.

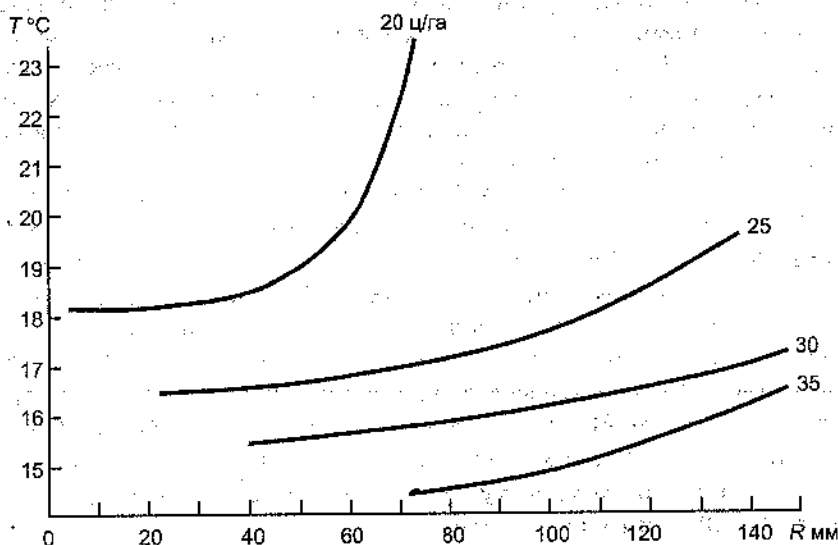


Рис. 4.2. Зависимость урожайности озимой ржи от количества осадков, выпавших в течение трех декад после наступления фазы колошения, и средней температуры воздуха за этот период

Яровая пшеница относится к числу основных зерновых продовольственных культур. В России основные посевные площади этой культуры расположены в нечерноземной зоне, в Поволжье, в Уральском регионе, в Западной и Восточной Сибири. Она возделыв-

вается также в Казахстане и в других сопредельных государствах. Яровая пшеница уступает озимой по урожайности, но успешно заменяет ее в тех регионах, где из-за суровых зим выращивание озимой пшеницы нецелесообразно.

Способность яровой пшеницы быстро развивать мощную корневую систему обеспечивает ее относительную засухоустойчивость в тех районах, где на фоне повышенной температуры велика повторяемость засушливых явлений, засух и суховеев. Северная граница возделывания скороспелых мягких сортов этой пшеницы проходит по изолинии сумм температур 1350...1400 °С, а сортов твердой пшеницы — по изолинии 1600...1700 °С.

Прорастание семян яровой пшеницы начинается при температуре 1...2 °С, всходы появляются при 4...5 °С, что позволяет проводить сев в ранние весенние сроки. Набухшие и наклюнувшиеся в почве семена способны без больших повреждений переносить кратковременные понижения температуры воздуха до -10...-13 °С. При температуре почвы на глубине заделки семян 5 °С всходы появляются на 20-й день, при 10 °С — на 9-й день, при 15 °С — на 7-й день, при 20 °С — на 5-й день, при 25 °С — на 4-й день. Всходы пшеницы переносят заморозки до -6...-8 °С.

Оптимальными условиями увлажнения в начале развития растений являются запасы продуктивной влаги в пахотном горизонте почвы 30...40 мм. В условиях хорошей влагообеспеченности начало кущения яровой пшеницы наблюдается при сумме эффективных температур воздуха (выше 5 °С) 67 °С. Оптимальные условия для кущения растений наступают при температуре воздуха 13...18 °С. В районах с засушливой весной и влажным летом (Северный Кавказ, Западная Сибирь) после прошедших дождей нередко развиваются поздние побеговые кущения, так называемые *подгоны*, зерно которых чаще всего не дозревает ко времени восковой спелости зерна главных стеблей, готовых к уборке.

Недостаток влаги в почве после выхода в трубку приводит к снижению количества развитых и увеличению бесплодных зерновок в колосе. Выпадающие впоследствии даже обильные осадки не могут повлиять на увеличение количества зерновок в колосе. Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в этот период менее 80 мм неблагоприятны для нормального развития растений.

Яровая пшеница — растение длинного дня. После фазы выхода в трубку у нее проявляются сортовые различия по потребности к теплу. Так, для прохождения периода развития от выхода в трубку до колошения различным сортам требуется сумма эффективных температур (выше 5 °С), равная 282...400 °С, а от колошения до фазы восковой спелости — 450...540 °С.

Для роста и развития растений в период колошения и фазы молочной спелости наиболее благоприятной считается температура воздуха 16...23 °С. По данным Г. В. Дегтяревой (1981), максимальная высота продуктивных стеблей, сформировавшаяся к этому периоду, хорошо коррелирует с конечной урожайностью культуры (рис. 4.3). Из сортов яровой пшеницы наименьшая потребность в тепле в период созревания характерна для сибирских сортов, созревающих при температурах 10...12 °С. В период цветения и налива зерна яровая пшеница повреждается заморозками -1...-2 °С. Чаще всего такие повреждения наблюдаются в северных подтаежных районах, в лесостепных и степных районах Сибири и Казахстана, где они являются одной из причин, определяющих северную границу ареала возделывания этой культуры. После наступления восковой спелости семенные качества сохраняются даже при заморозках -5...-7 °С.

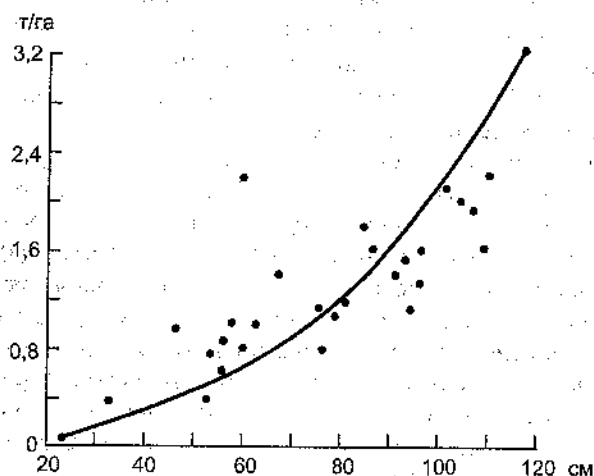


Рис. 4.3. Зависимость урожайности яровой пшеницы (т/га) от высоты растений в фазу молочной спелости на черноземных почвах (по Г. В. Дегтяревой, 1981)

Яровая пшеница относится к засухоустойчивым культурам, однако атмосферная и почвенная засухи в период колошения — молочной спелости заметно снижают урожай зерна. Например, если во время интенсивных засух запас продуктивной влаги в пахотном горизонте снижается до 10 мм, а в метровом слое — до 30 мм и менее, то наблюдается сильное увядание растений, пожелтение и преждевременное отмирание листьев, а также прекращение ростовых процессов. При снижении относительной влажности воздуха до

10...20 % и высоких дневных температурах (40 °С и выше) даже в условиях орошения зерно может созреть преждевременно и оказывается щуплым, неполноценным. Наиболее благоприятными для растений в период колошения — молочная спелость являются запасы продуктивной влаги в почве в пределах 70...75 % наименьшей влагоемкости. Они определяют урожайность этой культуры (рис. 4.4).

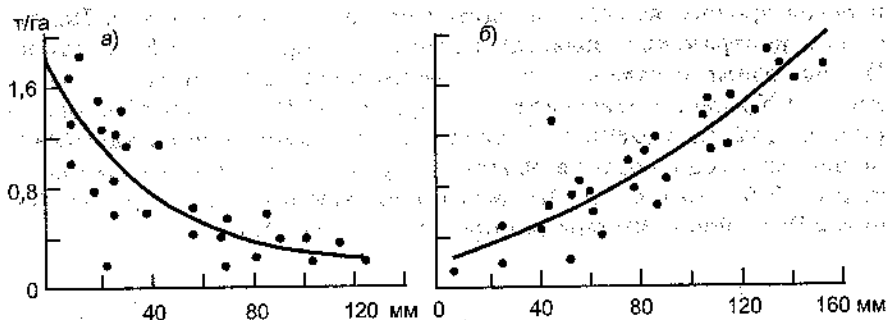


Рис. 4.4. Зависимость урожайности яровой пшеницы от осенних запасов продуктивной влаги (а) и прибавки запасов влаги в почве весной от аккумуляции зимних осадков в слое почвы 0...100 см (б). Сорт Альбидум 43, каштановые почвы (по Г. В. Дегтяревой, 1981)

Летом, в условиях теплой и дождливой погоды, когда зерновые культуры находятся в фазе молочной спелости или в начале фазы восковой спелости зерна, наблюдается явление, называемое *истеканием зерна*. Этот процесс происходит в результате вымывания излишней влагой, находящейся в колосьях, растворимых органических и минеральных веществ из зерна. На молодых, еще не полностью сформировавшихся зернах появляются трещины, из которых *истекает* вязкая жидкость, называемая *медвяной росой*. На этой „росе” поселяются плесневые грибы, которые вызывают потемнение зерен и значительное ухудшение пищевых качеств зерна. Истекание зерна снижает потенциальную урожайность пшеницы на 20...30 %. Это явление наблюдается в отдельные годы на посевах зерновых колосовых культур в Западной Сибири, на Северном Кавказе, в Крыму и в других районах.

Суммарное потребление влаги яровой пшеницей распределяется в течение ее вегетации по фазам развития примерно следующим образом: в период всходов расходуется 5...7 % влаги, в фазе кущения 15...20 %, в период выхода в трубку и колошения 50...60 %, в фазе молочной спелости 20...30 % и в фазе восковой спелости 3...5 %. Продолжительность вегетационного периода этой культуры колеб-

лется от 90 до 120 дней в зависимости от сорта, агрометеорологических условий, сложившихся в данный год, и зоны возделывания.

Ячмень — древнейшая зерновая культура, возделываемая во многих странах мира; используется для выработки различных пищевых продуктов, для приготовления комбикормов и кормления сельскохозяйственных животных и птицы, а также в пивоваренной промышленности. Это наиболее скороспелая и нетребовательная к почвенно-климатическим условиям культура. Основные площади посевов ярового ячменя находятся на Северном Кавказе, в Поволжье, в центральных областях России, на Украине и в Казахстане. Посевы озимого ячменя сосредоточены в районах с мягкими зимами — в Крыму, в азиатских государствах СНГ, в Азербайджане, в ряде республик Северного Кавказа. В благоприятные по влагообеспеченности годы средняя областная урожайность ячменя составляет 2,0...2,5 т/га и более. Пример такой зависимости для ряда субъектов Российской Федерации приведен на рис. 4.5.

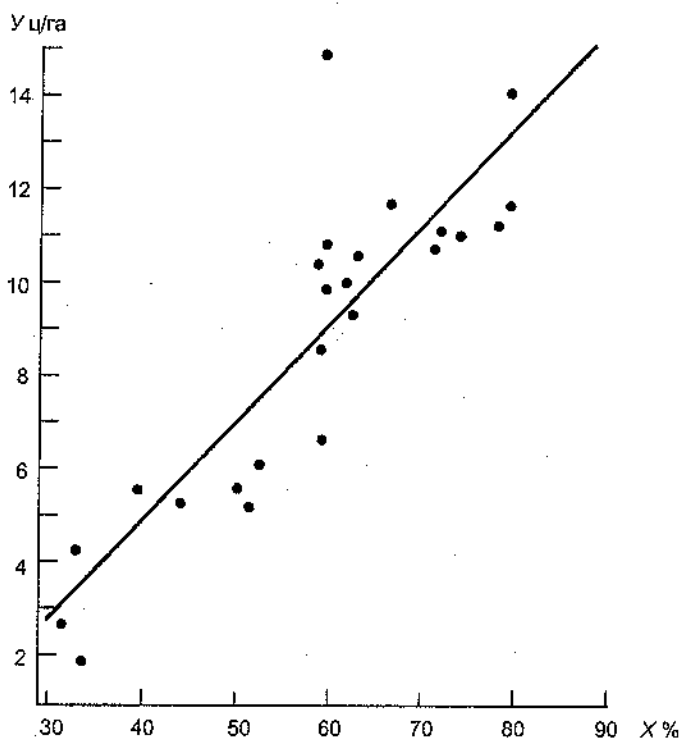


Рис. 4.5. Зависимость средней урожайности ячменя (Y ц/га) от средней влагообеспеченности за период посев—колошение (X %) для Омской, Курганской областей и Алтайского края

Семена ячменя начинают прорастать при температуре 1...2 °С. Всходы появляются при средней суточной температуре воздуха 8...10 °С на 12...17-й день, а при 16...18 °С — на 6...7-й день. При ранних сроках посева ячмень достаточно заморозкоустойчив: его всходы начинают повреждаться при заморозках -7...-8 °С.

В условиях хорошей влагообеспеченности кущение ярового ячменя начинается при сумме эффективных температур (выше 5 °С) от даты посева 134 °С. Ячмень — влаголюбивое растение (до начала налива зерна). Запасы продуктивной влаги в метровом слое более 160 мм благоприятствуют формированию высоких урожаев зерна, а запасы менее 80 мм в этом же слое являются недостаточными и урожай оказывается сниженным.

Колошение ячменя начинается при накоплении суммы эффективных температур после фазы выхода в трубку около 330 °С, а для прохождения периода колошение — восковая спелость требуется около 400 °С. Благоприятными для формирования урожая ячменя в период колошения являются запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы от 110 до 130 мм. Повышение средней суточной температуры воздуха выше 23 °С в этот период неблагоприятно для данной культуры. Однако на завершающем этапе налива зерна высокие дневные температуры (38...40 °С) ячмень переносит лучше, чем пшеница.

Цветки и завязи ячменя повреждаются заморозками -1...-2 °С, а в период налива зерна опасны заморозки от -1,5 до -4 °С.

Благодаря скороспелости яровой ячмень реже попадает под влияние летних засух и суховеев, кроме этого, он считается наиболее устойчивой культурой к явлениям „захвата” и „запала” зерна за счет его засухоустойчивых качеств.

В условиях укороченного светового дня развитие ячменя задерживается, поскольку он относится к группе растений длинного дня. В среднем продолжительность вегетационного периода ярового ячменя составляет от 55 до 110 суток, озимого — 230...300 суток. По материалам многолетних экспериментов Д. В. Козинец, урожайность ячменя, зависящая от сложившихся в конкретных почвенно-климатических зонах агрометеорологических условий и применяемой агротехники, определяется также и нормой высева семян (рис. 4.6). Как видно из рис. 4.6, в условиях различных почвенно-климатических зон нормы высева семян, определяющие максимальную урожайность, неодинаковы.

Овес — зерновая культура умеренного климата. Овес посевной возделывают со 2-го тысячелетия до н. э. На территории России — с VII в. Это влаголюбивое яровое или озимое, не требовательное к теплу растение длинного дня, с коротким вегетационным периодом —

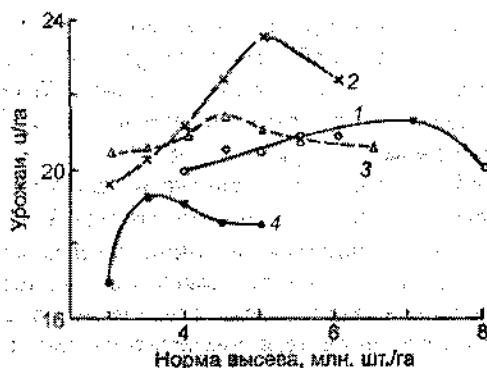


Рис. 4.6. Средние зональные зависимости динамики урожайности ярового ячменя (ц/га) от нормы высева семян (млн. шт./га) (по А. П. Федосееву, Д. В. Козинец, 1972)

1 — широколиственно-хвойная подзона дерново-подзолистых почв; 2 — лесостепь; 3 — степь; 4 — сухая степь

80...120 дней. Является зерновой и зернофуражной культурой — зерно овса перерабатывают на крупу и муку, используют в качестве добавок в комбикорма для сельскохозяйственных животных;

его добавляют в овсяную „зеленку“, обычно состоящую из смеси зеленой массы вики и гороха с соломой. Основные посевные площади этой культуры сосредоточены в нечерноземной зоне России, в Западной Сибири, в Красноярском крае и на Украине.

Семена овса начинают прорастать при температуре 2...3 °С, поэтому наиболее урожайными оказываются посевы в ранние сроки в переувлажненную почву; народная пословица гласит: „Сей овес в грязь — будешь князь“. Всходы овса переносят кратковременные весенние заморозки до -8...-9 °С. В период от всходов до кушения наиболее благоприятной является температура 15...18 °С.

При хорошей влагообеспеченности от посева до кушения сумма эффективных температур (выше 5 °С) составляет 134 °С (т. е. как у яровой пшеницы и ячменя). После выхода в трубку фаза выметывания метелки наступает при накоплении суммы эффективных температур 378 °С. Период от выхода в трубку до выметывания метелки у овса является критическим по отношению к уровню запасов почвенной влаги. По мере развития растения его устойчивость к низким температурам воздуха снижается и в период цветения возможны повреждения слабыми заморозками -1...-2 °С.

Для цветения овса наиболее благоприятной является умеренно влажная погода с температурой воздуха 18...20 °С. Высокие температуры (38...40 °С) и летние засухи овес переносит хуже яровой пшеницы и ячменя, сильнее подвержен явлениям „захвата“ и „запала“ зерна.

В зависимости от агрометеорологических условий вегетационного периода, от сорта урожайность этой культуры варьирует от 1,5...2,0 до 4,0...4,5 т/га. Питательность 1 кг сухого зерна овса принята за 1 кормовую единицу. Это условная единица общей питательности кормов, определяемая по жиротложению 150 г жира

у крупного рогатого скота (1414 ккал, или 5,92 МДж). По кормовым единицам рассчитывают нормы кормления сельскохозяйственных животных.

Кукуруза — важнейшая зерновая и кормовая культура; относится к древнейшим растениям, введенным в культуру около 5200 лет до н. э., в России возделывается с XVII в. Она является одним из наиболее полиморфных видов, образует различные экологические группы и сорта, значительно различающиеся по скороспелости, продуктивности и другим сортовым признакам. В России и сопредельных странах возделывается более 60 сортов и гибридов кукурузы, почти во всех почвенно-климатических зонах. Кукуруза — яровая, теплолюбивая культура, ее основные посевы на зерно сосредоточены в южных регионах рассматриваемой территории, а в нечерноземной зоне России, в Сибири и на Дальнем Востоке она выращивается в основном на силос для скота.

Из зерна кукурузы приготавливают муку, крупу, пищевые хлопья и палочки, масло. Зерно используется также в пивоваренной, крахмалопаточной, спиртовой и комбикормовой промышленности. Зеленая масса — питательный корм для скота. Из кукурузных стеблей и стержней початков вырабатывают техническую бумагу, вискозу, изоляционную ленту и т. п. Рыльца пестиков применяют в медицине.

Урожайность зерна варьирует в зависимости от сорта и сложившихся погодных условий от 2...3 до 5...6 т/га, зеленой массы — от 17...18 до 30...60 т/га.

Семена кукурузы начинают прорастать при температуре почвы около 8 °С. Однако при такой температуре прорастание протекает очень медленно, проростки часто загнивают и посевы изреживаются. Ю. И. Чирковым установлено, что при запасах продуктивной влаги более 15 мм в слое почвы 0...10 см и температуре 11...12 °С всходы появляются через 20...25 дней, при температуре 18...22 °С — через 6...8 дней (рис. 4.7). При заделке семян в почву на глубину 4 см всходы кукурузы появляются при накоплении суммы эффективных температур (выше 8 °С) 83 °С. Эта сумма возрастает на 7 °С на каждый последующий сантиметр углубления при посевной заделке семян (от 4 до 12 см). При запа-

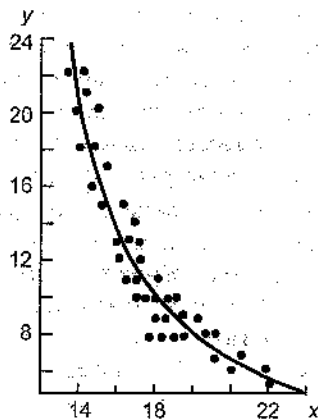


Рис. 4.7. Зависимость продолжительности периода посев-всходы (у сут) кукурузы от средней температуры воздуха (х °С) при глубине заделки семян 4 см и запасах продуктивной влаги 15 мм и более в слое почвы 0...10 см (по Ю. И. Чиркову, 1968)

сах продуктивной влаги менее 8 мм в слое 0...10 см продолжительность периода от посева до всходов почти удваивается, соответственно возрастает и сумма эффективных температур.

Весенние заморозки до $-2...-3^{\circ}\text{C}$ повреждают всходы. Сортные различия в этот период вегетации мало заметны.

Уровень температуры определяет сроки появления очередных листьев кукурузы, а различия в продолжительности периода листобразования между ранними и поздними сортами достигают 20...30 дней. Нижний предел температуры воздуха в период листобразования близок к 10°C . С повышением средней суточной температуры воздуха от 10 до 20°C скорость листобразования и интенсивность накопления растительной массы увеличиваются. При более высоких температурах скорость накопления зеленой массы замедляется и при температурах $33...36^{\circ}\text{C}$ приостанавливается. В этих случаях возрастает значение так называемых *балластных температур*, не ускоряющих, а задерживающих скорость развития и роста растения благодаря снижению интенсивности фотосинтеза и увеличению затрат на дыхание.

В условиях нечерноземной зоны очередной лист кукурузы появляется при накоплении суммы эффективных температур (выше 10°C), равной 30°C . В южных районах для появления нового листа требуется большая сумма эффективных температур, так как в жаркие дни кукуруза использует тепло менее эффективно из-за балластных температур.

Раннеспелые сорта кукурузы образуют 11...12 листьев (на это требуются меньшие ресурсы тепла) по сравнению с позднеспелыми сортами, формирующими 19...21 лист. Влажность почвы существенно влияет на накопление фитомассы, тогда как на скорость развития растений она оказывает слабое воздействие. Заметное снижение скорости развития отмечается только при уменьшении запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы ниже 40 мм. При значительном иссушении почвы наступление фазы выметывания метелки кукурузы задерживается на 4...6 дней.

Оптимальными условиями для формирования урожая зеленой массы кукурузы являются: средняя декадная температура воздуха $20...24^{\circ}\text{C}$, запасы продуктивной влаги 35...45 мм в пахотном слое подзолистых почв и 60...70 мм — в полуметровом слое черноземных почв. Критический период по отношению к влаге начинается за 10 дней до фазы выметывания метелки и длится около 30 дней. Недостаток влаги в этот период значительно снижает урожайность культуры. При повышении температуры воздуха в дневные часы до $30...35^{\circ}\text{C}$, низкой относительной влажности воздуха и запасах вла-

ги менее 20...30 мм в слое 0...50 см в период после завершения фазы выметывания метелки заметно снижается озерненность початка.

Наиболее благоприятные условия для налива зерна складываются при средней суточной температуре 20...24 °C и запасах продуктивной влаги 60...70 мм и более в полуметровом слое почвы.

Осенние заморозки -2...-3 °C повреждают листья, тогда как початки в период молочно-восковой спелости могут переносить заморозки до -4...-5 °C.

Продолжительность вегетационного периода кукурузы в зависимости от сорта и агрометеорологических условий колеблется от 90 до 160 дней. Кукуруза является светолюбивым растением и требует интенсивного солнечного освещения. Загущение посевов приводит к ухудшению освещенности вегетативных органов растения и к снижению урожайности зерна. Наибольшая урожайность зерна кукурузы отмечена при площади листовой поверхности 30...35 тыс. м²/га. При дальнейшем увеличении площади листьев на единице площади среднее число початков на одном растении, а следовательно, и выход зерна сокращаются (рис. 4.8). Это связано с тем, что по мере увеличения густоты посева уменьшается проникновение в среду растений солнечной радиации, ухудшаются условия освещенности листовой поверхности, подавляется фотосинтетическая деятельность листьев.

Кукуруза относится к сравнительно засухоустойчивым культурам; на образование единицы сухого вещества она потребляет меньше воды, чем яровые зерновые культуры. Однако на единицу площади кукуруза требует влаги больше, чем другие зерновые культуры, в связи с большей биомассой. Эта культура очень отзывчива на орошение в засушливых регионах. Например, в степной зоне при влажности почвы, поддерживаемой на уровне 70...80 % наименьшей влагоемкости, ее урожайность возрастает в 3...3,5 раза по сравнению с посевами, находящимися в условиях естественного увлажнения.

Просо относится к числу важнейших крупяных куль-

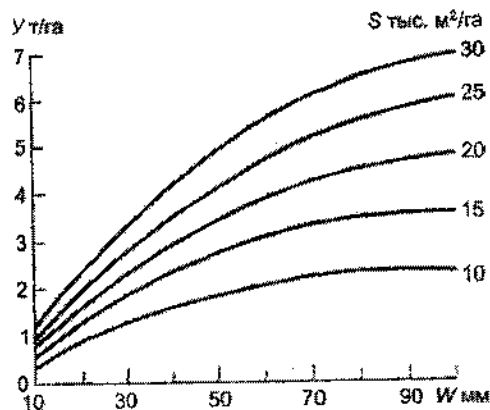


Рис. 4.8. Зависимость урожайности зерна кукурузы ($У$ т/га) от запасов продуктивной влаги (W мм) в слое почвы 0...50 см и площади листовой поверхности (S тыс. м²/га) (по Ю. И. Чиркову, 1968)

тур, возделываемых человеком с 3-го тысячелетия до н. э. во многих сельскохозяйственных районах мира. Основные посевные площади его сосредоточены в Поволжье, на Северном Кавказе, на Урале, в Центрально-Черноземных областях, в Западной Сибири, на Украине и в Казахстане.

Просо обыкновенное — это яровое, теплолюбивое, засухоустойчивое и жаростойкое растение короткого дня. Прорастание семян начинается при температуре почвы 6...8 °С, но оптимальной температурой считается 20 °С, в связи с чем просо принадлежит к числу культур относительно поздних сроков посева. Всходы проса появляются при накоплении суммы эффективных температур 150 °С в условиях оптимального увлажнения почвы. Всходы повреждаются заморозками -2...-3 °С. Характерной особенностью проса является медленный рост в начале вегетации. Наиболее благоприятная температура для роста и развития растений 18...24 °С. Наибольшая потребность во влаге наблюдается в межфазный период от выхода в трубку до выметывания. Фаза выметывания наступает после накопления суммы эффективных температур 600 °С. Минимальная температура для фазы цветения проса 15 °С. Высокие температуры (35...40 °С) просо переносит лучше других зерновых культур.

Как засухоустойчивая культура, просо незаменимо в засушливых районах и широко используется в качестве „страховой“ для пересева погибших озимых или ранних яровых зерновых культур. Оптимальные влагозапасы почвы для формирования высокой урожайности составляют 60...80 % наименьшей влагоемкости в течение всего периода вегетации. Урожайность проса зависит от сложившихся агрометеорологических условий, сорта и уровня агротехники и составляет в среднем 0,8...1,54 т/га (рис. 4.9).

В засушливые годы урожайность проса при орошении в 6...7 раз выше, чем в неполитных условиях.

Гречиха, как и просо, возделывается человеком с глубокой древности — с 3-го ты-

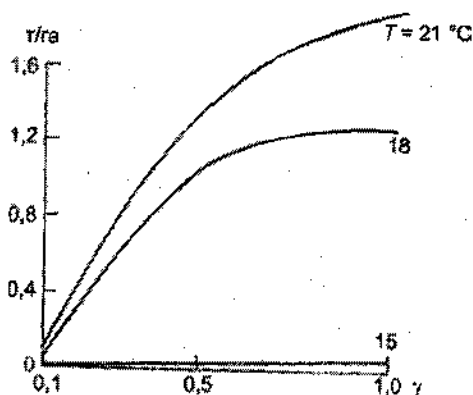


Рис. 4.9. Зависимость урожайности зерна проса (т/га) от влагообеспеченности посевов при разных значениях температуры воздуха (по А. Г. Провиркиной, 1987)

Коэффициент γ, равный единице, характеризует условия оптимальной влагообеспеченности

сячетлетия до н. э.; она считается одной из важнейших крупных культур, широко распространена во многих европейских странах, в том числе в России. Основные посевные площади сосредоточены в черноземной зоне, на юге Центрального и Волго-Вятского районов, на юге Западной Сибири, на севере Поволжья и на Урале. Значительные площади находятся также в лесостепных районах Украины, в Беларуси и северной половине Казахстана.

В исследованиях В. А. Смирнова и В. А. Корнейчука (1970) в ареале возделывания гречихи (рис. 4.10) на территории России и сопредельных стран выделено пять зон (1...5) по урожайности этой культуры. В первой зоне средняя урожайность гречихи в производственных условиях составляет 0,7...1,0 т/га и оценивается авторами по десятибалльной системе в 9...10 баллов. Вторая зона характеризуется средней урожайностью 0,4...0,6 т/га и оценивается в 7...8 баллов. Третья зона со средней урожайностью гречихи 0,3...0,5 т/га оценена в 5...6 баллов. Четвертая зона имеет урожайность 0,2...0,3 т/га, оценивается в 2...4 балла. В пятой зоне наиболее низкая урожайность, составляющая 0,1...0,3 т/га. Такое районирование территории по уровню средней урожайности косвенно отражает влияние климатических и почвенных условий на продуктивность посевов гречихи на фоне принятой в хозяйствах агротехники и конкретных сортов культуры.

Гречиха — яровая, влаголюбивая и теплолюбивая культура. Вегетационный период для различных сортов составляет от 60 до 120 суток. Семена гречихи начинают прорастать при температуре воздуха около 6 °С, а дружные всходы появляются на 5...7-й день при температуре 15...20 °С. Всходы гречихи весьма чувствительны к заморозкам и повреждаются при температуре воздуха -1...-2 °С. При температуре 12...13 °С рост растений замедляется. При оптимальных температурах воздуха и хорошей влагообеспеченности происходит быстрое развитие гречихи: через 25...30 дней после появления всходов растения зацветают. В период цветения наиболее благоприятна солнечная погода со средней суточной температурой воздуха 16...20 °С и с кратковременными слабыми дождями. Такие условия благоприятны также для активного лета пчел — основных опылителей цветков гречихи. При ночных температурах воздуха 10 °С и ниже прекращаются цветение и налив зерна гречихи. В период цветения гречиха плохо переносит высокие температуры (30 °С и более) и сухую погоду, из-за которых происходят неполное опыление и засыхание завязей. В этот период неблагоприятными считаются ливневые дожди и туманы. Ранние заморозки до -1 °С повреждают цветки и листья, а до -2 °С вызывают гибель бутонов, цветков, листьев и повреждают стебли растений.

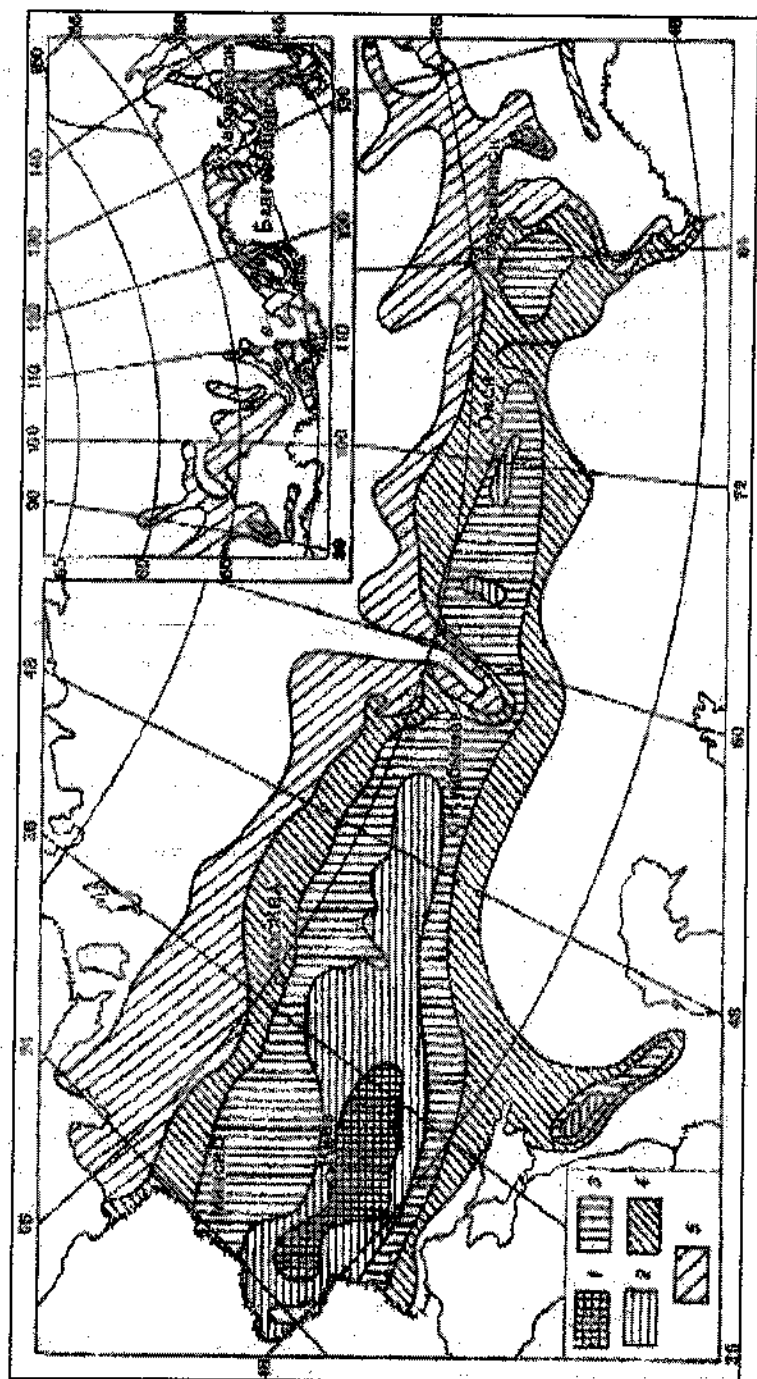


Рис. 4.10. Районирование ареала возделывания гречихи по уровню средней урожайности на территории Российской Федерации и сопредельных государств (по В. А. Смирнову и В. А. Корнейчуку, 1970)

Формирование хорошего урожая гречихи происходит в условиях высокой влагообеспеченности растений в фазы цветения и образования зерна (рис. 4.11). Эта культура обладает высоким транспирационным коэффициентом — 360...650 (см. раздел 1.3). Средняя урожайность зерна составляет 0,8...1,2 т/га, а в передовых хозяйствах достигает 2,0...2,5 т/га. Кроме того, в благоприятные годы с цветущих плантаций гречихи пчелы собирают до 60 кг/га высококачественного меда.

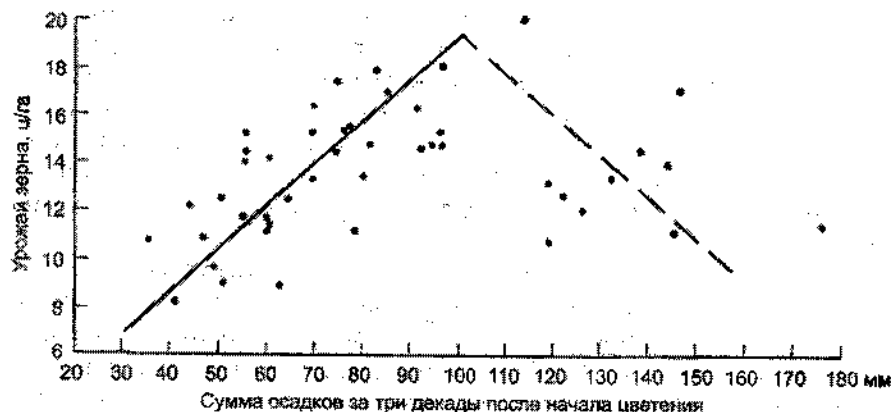


Рис. 4.11. Зависимость урожайности зерна гречихи (ц/га) от количества осадков за три декады после начала цветения (по Н. З. Ивановой-Зубковой, 1961)

Относительно короткий период вегетации гречихи (в зависимости от сорта) и возможность высева в поздние весенние сроки позволяют использовать эту культуру в качестве страховой для посева погибших озимых и ранних яровых зерновых культур.

Рис посевной — древнейшая продовольственная крупная культура тропических регионов мира и субтропических районов умеренного климата, возникшая в Юго-Восточной Азии более 7 тыс. лет назад. Наибольшее развитие рисосеяние получило в Китае, Индии, Бангладеш, Индонезии и других странах. Широко возделывается в азиатских республиках СНГ, в Закавказских республиках, на Украине и др. В России основные посевные площади риса расположены на Северном Кавказе, в Нижнем Поволжье и в Приморском крае.

Рис — влаголюбивая и теплолюбивая культура. Выращивается в условиях постоянного затопления водой путем строительства специальных рисовых оросительных систем. При этом создается слой воды от 15 до 25 см, который поддерживается в период от фазы кущения растений до наступления фазы молочной спелости. Транспирационный коэффициент риса изменяется в зависимости от сорта

и условий выращивания от 230...290 до 980...1100 (см. раздел 1.3). Рис ускоренно развивается при коротком световом дне. Продолжительность вегетационного периода составляет от 85...100 дней у скороспелых сортов до 135...145 дней у позднеспелых.

Семена риса прорастают при температуре 11...12 °C, а всходы появляются при температуре увлажненной почвы 14...15 °C. В период кущения для риса необходима температура не ниже 15...18 °C, в период цветения — 18...20 °C. Рис — самоопыляющаяся культура. При температуре 25 °C цветение происходит при открытых колосковых чешуях (открытый тип цветения), при температуре ниже 20 °C цветение происходит внутри колосков (закрытый тип цветения). При снижении температуры до 15 °C условия для опыления внутри колосков резко ухудшаются, в результате чего стерильность цветков в метелках возрастает до 30...40 %. Наиболее благоприятная температура для роста и развития растений 25...30 °C, но не выше 40 °C.

В период молочной спелости требуется температура не ниже 15...18 °C, при наступлении восковой спелости — не ниже 12...15 °C. При снижении температуры воздуха в период молочной и восковой спелости до 10 °C налив и созревание зерна приостанавливаются. Для образования полновесных зерновок наиболее благоприятна температура воздуха 24...25 °C, температура слоя воды 19,5...21 °C.

Заморозки -0,5 °C вызывают частичные повреждения растений, а снижение температуры воздуха до -1 °C губительно для риса во все фазы развития.

Урожайность зерна риса, зависящая от сорта, от сложившихся агрометеорологических условий и уровня применяемой агротехники, варьирует от 7 до 10 т/га.

По данным Н. В. Гулиновой (1971), в зоне рисосеяния в Северокавказском регионе России средняя урожайность риса в условиях орошения зависит от продолжительности периода (в днях) начиная от даты 1 сентября до даты устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 15 °C в сторону понижения (рис. 4.12).

Сорго — ценная зерновая и кормовая культура многостороннего использования. В культуру растение было введено с 4...3-го тысячелетия до н. э. Около 50 диких и культурных видов этого растения произрастают в Африке, Азии, Америке, Австралии и на юге Европы. В России и сопредельных государствах различные сорта и гибриды сорго выращивают в Поволжье, на Северном Кавказе, в азиатских республиках бывшего СССР, на юге Украины. Наиболее распространенные однолетние виды сорго по-разному называются

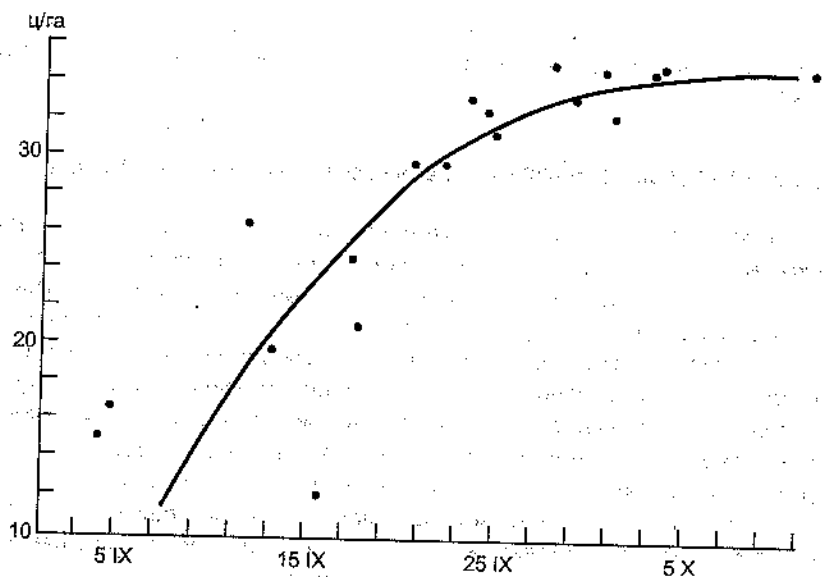


Рис. 4.12. Зависимость средней урожайности риса (ц/га) от даты устойчивого перехода температуры воздуха через 15 °C осенью (по Н. В. Гулиновой, 1971)

в различных странах: сорго обыкновенное, джугара, гаолян, сорго веничное, суданская трава; многолетняя форма сорго — гүмай является хорошим кормовым растением, а в посевах других культур считается сорняком.

Сорго — яровая теплолюбивая, светолюбивая и наиболее засухоустойчивая культура. Зерно прорастает при температуре 11...12 °C. Всходы повреждаются заморозками -2...-3 °C. Растения хорошо растут и развиваются при температуре воздуха до 33 °C и удовлетворительно переносят температуру до 38...40 °C. Сорго весьма чувствительно к понижению температуры ночью: при средней ночной температуре 14 °C и дневной 20 °C рост и развитие растений замедляются.

Засухоустойчивость растений выражается в способности выдерживать относительно длительные периоды почвенной засухи, во время которых листья сорго скручиваются, испаряющая поверхность сокращается. В клетках растения происходит изменение физиологических процессов (см. раздел 2.2), направленное на экономное расходование влаги, а рост тканей приостанавливается до улучшения условий обеспеченности влагой. Транспирационный коэффициент сорго варьирует от 200 до 300 (340). Будучи засухоустойчивым растением, сорго в то же время очень отзывчиво на хорошую влагообеспеченность и может давать при орошении до 11...12 т/га зерна и до 100...120 т/га зеленой массы.

Продолжительность вегетационного периода в зависимости от сорта и условий возделывания этой культуры составляет 90...150 сут.

4.2. Зерновые бобовые (зернобобовые) культуры

Растения этой группы, относящиеся к семейству бобовых, возделываются для получения зерна (семян), богатого белком, и имеют большое продовольственное и кормовое значение. Зрелое зерно используют в пищу в виде крупы и муки; из него приготавливают консервы, пищевые концентраты. Незрелые семена и плоды, например зеленый горошек, зеленые лопатки (бобы) гороха и фасоли, используют как овощи. Извлекаемое из семян сои и арахиса масло имеет пищевое и техническое применение. Зерно, жмых, шрот, зеленая масса, а также силос и сено являются ценным кормом для скота и птицы. Зеленая масса бобовых растений в фазе цветения (люпин, сераделла, донник и др.) иногда запахивается в почву в качестве очень ценного зеленого удобрения (сидерация), обогащающего почву органическим веществом и азотом.

Большинство бобовых культур обладает способностью использовать атмосферный азот с помощью азотфиксирующих бактерий, развивающихся на корнях в форме хорошо различимых клубеньков. Практически все бобовые культуры считаются хорошими предшественниками для других сельскохозяйственных культур в севооборотах.

Зерновые бобовые культуры возделываются во всех земледельческих районах мира.

Горох посевной является наиболее распространенной зернобобовой культурой, возделываемой в Европе, Западной Азии, Северной Африке и в других земледельческих регионах мира с IV в. до н. э. Горох высевается в европейской и азиатской частях России, в Беларуси, на Украине, Северном Кавказе и др. Наиболее скороспелые сорта можно возделывать до широты Полярного круга.

Горох — яровая влаголюбивая культура длинного светового дня с вегетационным периодом от 45 до 120 сут. Прорастание семян гороха происходит при температуре, близкой к 0 °C, что позволяет сеять его в ранние весенние сроки. При температуре воздуха 8...10 °C семена прорастают за 4...6 дней. Всходы появляются во влажной почве при накоплении суммы эффективных температур (выше 3 °C) 110 °C и без значительных повреждений могут переносить заморозки до -7... -8 °C. Оптимальная температура воздуха для роста и развития растений гороха 18...25 °C.

Высокая урожайность гороха, достигающая 3,5...4,0 т/га, формируется при влажности почвы 70...80 % наименьшей влагоемкости и интенсивной агротехнике. На рис. 4.13 приведена зависимость урожайности зерен гороха от средней температуры воздуха и продолжительности периода цветения — созревание.

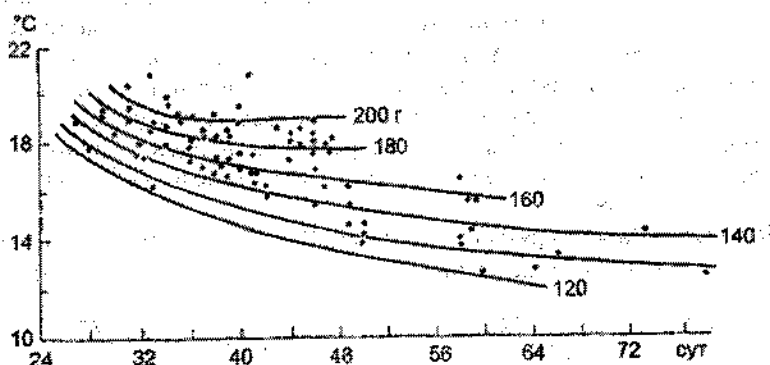


Рис. 4.13. Зависимость массы 1000 зерен гороха (г) от средней температуры воздуха и продолжительности периода цветения — созревание (по Н. З. Ивановой-Зубковой, 1978)

Транспирационный коэффициент в зависимости от сорта и условий агротехники варьирует от 250 до 780. Многие сорта гороха хорошо переносят избыток влаги в почве, но близость грунтовых вод неблагоприятно влияет на рост и развитие растений. При хорошем развитии корневой системы посевы нормально переносят кратковременную почвенную засуху.

Фасоль обыкновенная, известная человеку с 3-го тысячелетия до н. э., выращивается во многих земледельческих районах мира; используется как зерновая и овощная культура. Основные посевные площади на рассматриваемой территории находятся в Центрально-Черноземном районе, на Северном Кавказе, Дальнем Востоке, на Украине, в Молдавии и в азиатских республиках.

Фасоль — яровая теплолюбивая, светолубивая и влаголюбивая и в то же время засухоустойчивая культура. Семена во влажной почве прорастают при температуре 10...12 °С, а всходы повреждаются при заморозках -1,0...-1,5 °С, поэтому сев фасоли проводится после окончания весенних заморозков и наступления устойчивого прогревания почвы до 12...15 °С. Хорошие условия для роста и развития фасоли складываются при температуре воздуха 20...25 °С и высокой обеспеченности почвенной влагой. Продолжительность вегетационного периода изменяется от 75 до 120 суток в зависимости от сорта и условий возделывания.

Соя обыкновенная возделывается человеком с 5-го тысячелетия до н. э., в России — с конца XIX в. Это — яровая теплолюбивая, светолюбивая и влаголюбивая культура, выдерживающая кратковременную засуху. Основные посевы сои сосредоточены во влажных тропических и субтропических регионах Африки и Юго-Восточной Азии, в Америке. В России возделывается в основном на Дальнем Востоке (рис. 4.14). Благоприятные условия для ее выращивания имеются на Северном Кавказе, в Молдавии, на Украине (рис. 4.15), в республиках Закавказья и Азии. Соя занимает первое место среди других культур по разнообразию использования: зерно, мука, масло, маргарин, соевое молоко и творог, кондитерские изделия; искусственное волокно, пластмассы, мыло, корма (зеленая масса, жмых, сено, шрот).

Вегетационный период сои — около 200 суток, в том числе период с температурами воздуха выше 15°C — 130...150 суток. Семена начи-

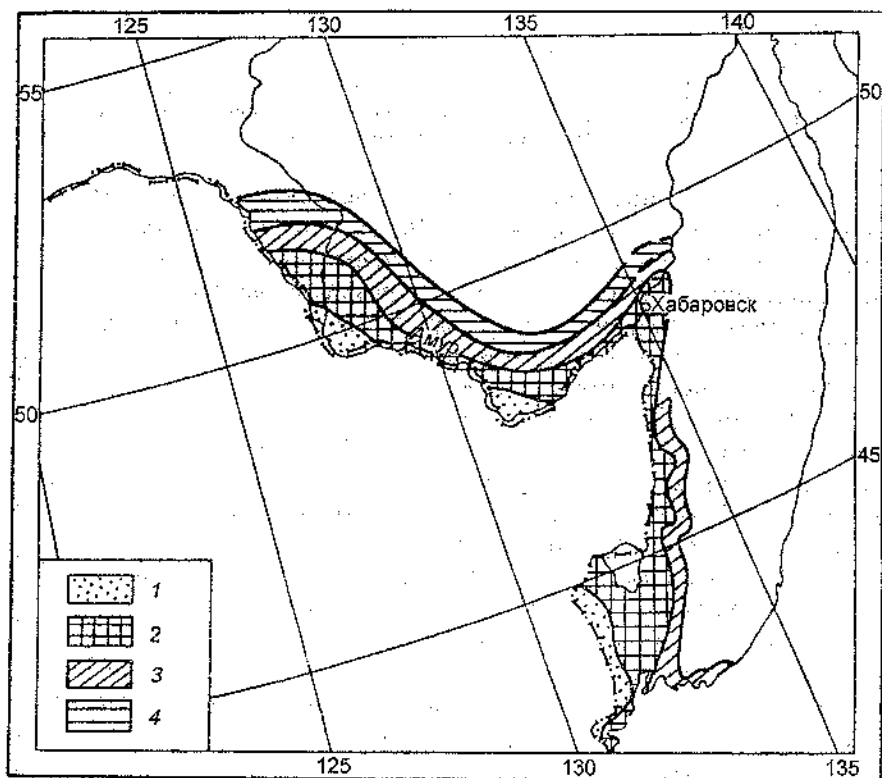


Рис. 4.14. Ареал возделывания сои и расчетное значение ее урожайности при климатической обеспеченности 75 % для Дальнего Востока (по В. М. Степановой, 1972)

1 — 7 ц/га; 2 — 6 ц/га; 3 — 5 ц/га; 4 — 4 ц/га

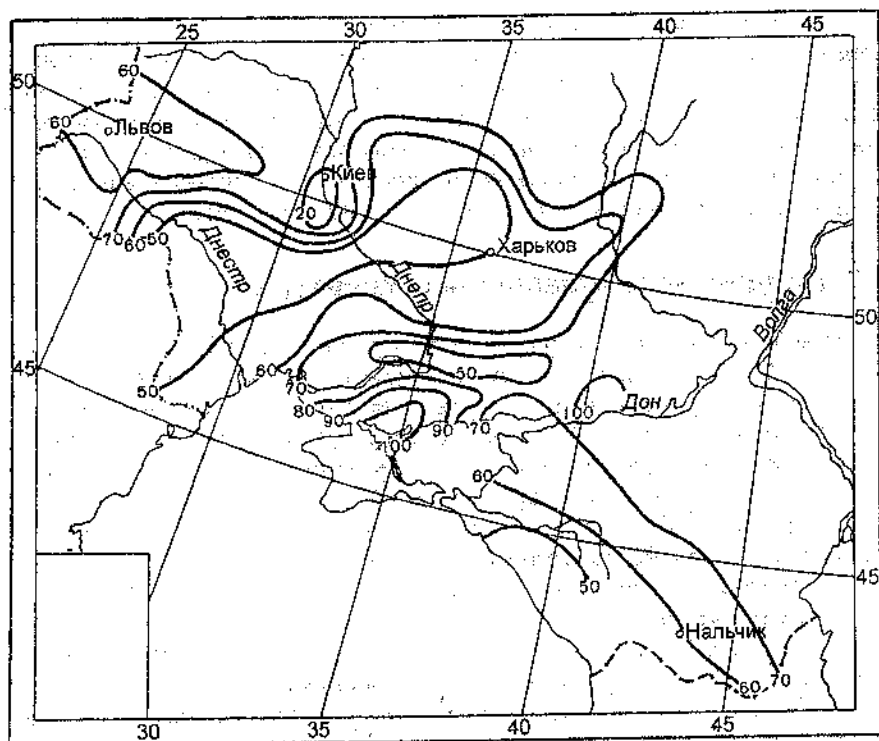


Рис. 4.15. Устойчивость урожайности сои (в процентах от средней урожайности за 1960...1968 гг.) на территории Украины и юга Российской Федерации (по В. М. Степановой, 1972)

нают прорастать при температуре 8°C , но хорошие условия для прорастания создаются при температуре воздуха в период сева $15...16^{\circ}\text{C}$. При средней суточной температуре воздуха $19...22^{\circ}\text{C}$ всходы появляются через 6...7 дней. Повреждение всходов заморозками происходит при температуре $-3...-4^{\circ}\text{C}$.

Продолжительность периода от всходов до цветения изменяется (в зависимости от температуры) от 50 до 75 дней; оптимальная температура для этого периода $20...21,5^{\circ}\text{C}$. Появление цветков и плодов возможно в широком температурном диапазоне $11,5...27,0^{\circ}\text{C}$, но наилучшими по теплообеспеченности условиями являются температуры воздуха $23...25^{\circ}\text{C}$. В период цветения и формирования бобов потребность сои во влаге составляет 80 % наименьшей влагоемкости. В зоне возделывания сои за вегетационный период выпадает около 350...450 мм осадков.

Кормовые бобы — одна из древних культур земледелия. Их посевы сосредоточены в районах с достаточным увлажнением: Бела-

русь, запад Украины и др. Прорастание семян начинается при температуре воздуха 3...4 °С, а всходы выдерживают кратковременные заморозки до -5...-6 °С. Требования к теплу такие же, как у гороха. В условиях высокой влагообеспеченности эта культура дает высокие урожаи бобов и растительной массы, используемой для корма скоту. В засушливые годы продуктивность посевов бобов низкая. Вегетационный период кормовых бобов составляет 90...145 суток.

4.3. Пряжильные и масличные культуры

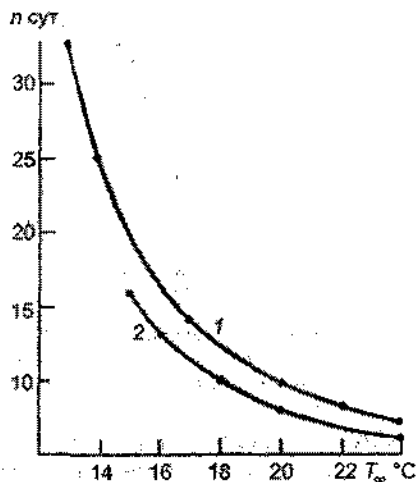
Пряжильные культуры — это группа сельскохозяйственных растений, возделываемых для получения волокна. Растения, входящие в группу, относятся к различным ботаническим семействам. У большинства растений волокно образуется в стеблях (лен, конопля, кенаф и др.) или на семенах (хлопчатник и др.). Основное разнообразие родов, видов и сортов этой группы культур возделывается и произрастает в тропической, субтропической и умеренной зонах мира. Многие пряжильные культуры, в том числе названные, используются человеком и как пряжильные, и как масличные.

Масличные культуры — группа сельскохозяйственных растений, из которых получают жирные масла, содержащиеся в семенах или плодах. Растения этой группы, относящиеся к различным ботаническим семействам, возделываются во всех земледельческих районах мира. Основные производственные площади занимают посевы подсолнечника, хлопчатника, горчицы, кунжута, рапса, маслины (оливы). К масличным культурам, имеющим пищевое значение, относятся также конопля, сафлор, клещевина, горчица, кунжут, арахис и др. Содержание растительного масла в плодах (семенах) зависит от биологических свойств самой сельскохозяйственной культуры, ее сорта и условий возделывания растений. Особенности этих групп сельскохозяйственных растений рассмотрим на нескольких примерах.

Хлопчатник относится к многолетним древесно-кустарниковым растениям субтропических и тропических широт Северного и Южного полушарий, где он возделывается с древнейших времен в основном как однолетняя сельскохозяйственная культура. Хлопчатник — техническая культура, являющаяся сырьем для текстильной, химической, пищевой и комбикормовой промышленности. Он служит сырьем для выработки около 100 видов промышленной продукции: хлопковое волокно, хлопковое пищевое и техническое масло, различные виды спирта, смолы, мыло, глицерин, смазочные материалы, жмых, корд для автопокрышек и ремней и др.

На территории бывшего СССР хлопчатник выращивается на больших площадях в государствах Азии, особенно в Узбекистане, Туркменистане и Таджикистане, а также в Азербайджане.

Рис. 4.16. Зависимость продолжительности периода посев—всходы хлопчатника от средней суточной температуры воздуха за этот период при посеве опушенными (1) и оголенными (2) семенами (по Ф. А. Муминову, 1983)



Хлопчатник — теплолюбивая культура, возделываемая только в условиях поливного земледелия. За период вегетации проводится 4...6 поливов; расход воды за один полив 6...8 тыс. м³ на каждый гектар посева. Транспирационный коэффициент изменяется в зависимости от сорта от 350 до 1651. На протяжении вегетационного периода различных по скороспелости сортов (110...145 суток) потребности растений в тепле и влаге не остаются постоянными. Хорошими условиями для появления всходов считается средняя суточная температура воздуха 14 °C и несколько выше при запасах продуктивной влаги на глубине заделки семян (0...5 см) 6...10 мм (рис. 4.16). Для появления всходов необходима сумма эффективных температур выше 10 °C, равная 84 °C. Для всходов хлопчатника большую опасность представляют поздние весенние заморозки (−0,5...−1,0 °C), а также почвенная корка, сильные ветры и засухи. Хлопчатник плохо переносит засоление почвы.

Для наступления фазы бутонизации необходима сумма эффективных температур выше 10 °C, равная 500 °C, рассчитанная от даты посева. В период от фазы бутонизации до цветения дневная температура воздуха выше 38 °C угнетает растение, сдерживает его развитие. Фаза цветения наступает у скороспелых сортов при сумме эффективных температур (выше 10 °C) 970 °C, у среднеспелых — 1000 °C, у позднеспелых тонковолокнистых сортов — 1100 °C, рассчитанной от даты посева. От цветения до раскрытия первых коробочек при среднем уровне агротехники скороспелым сортам хлопчатника необходимо накопление суммы эффективных температур (выше 10 °C) 760 °C, среднеспелым — 850...880 °C, позднеспелым — 1100 °C.

Количество сформировавшихся коробочек на кусте хлопчатника определяется биологическими особенностями сорта и комплексом агрометеорологических условий: режимом температуры воздуха (рис. 4.17), влагообеспеченностью посевов, интенсивностью и продолжительностью неблагоприятных для культуры погодных

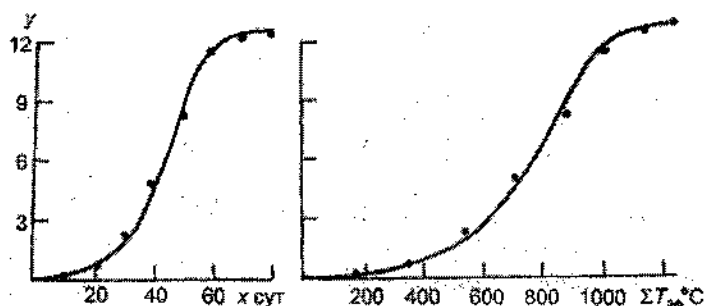


Рис. 4.17. Зависимость накопления количества коробочек хлопчатника (y штук) от продолжительности периода плодобразования (x) и сумм эффективных температур ($\Sigma T_{эф}$) (по Ф. А. Муминову, 1991)

явлений, уровнем агротехники и др. В среднем на кусте среднеспелых сортов хлопчатника формируется по 10...12 коробочек, достигающих полной спелости.

Ранние осенние заморозки (1...2 °C мороза в воздухе) прекращают вегетацию хлопчатника, сокращают период созревания коробочек, что снижает конечную урожайность хлопка-сырца. Наиболее ценным по качеству хлопка-сырца является доморозный сбор урожая (рис. 4.18). Урожайность хлопка-сырца, являющаяся сложной функцией биологических особенностей сорта, сложившихся агрометеорологических условий вегетационного периода и применяемой агротехники, варьирует от 2,0 до 4,5 т/га.

Лен относится к числу лучших лубоволокнистых растений, возделываемых человеком с древнейших времен. Эта культура была известна в Индии, Китае, Египте и Закавказье за 4...5 тыс. лет до н. э.; в X...XIII вв. лен повсеместно распространился в России.

Лен-долгунец — растение высотой до 120 см, дающее наиболее ценное длинное и прочное волокно, возделывается в не-

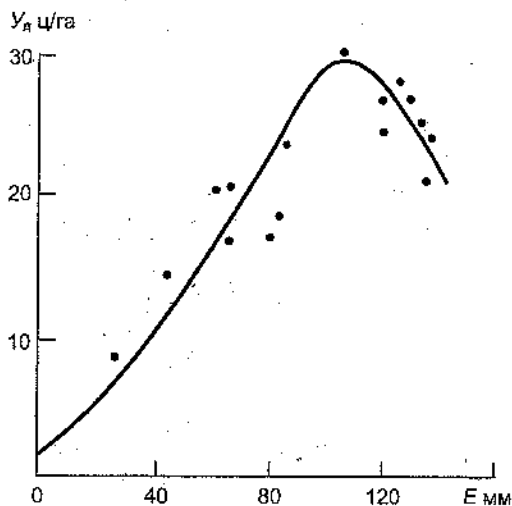


Рис. 4.18. Зависимость доморозной урожайности хлопка-сырца от суммарного испарения за период от фазы раскрытия первых коробочек до даты первого осеннего губительного заморозка (по Ф. А. Муминову, 1991)

черноземной зоне России, в странах Балтии, на Украине, а также в Польше, Чехии и Словакии, Финляндии, Нидерландах и в ряде других государств. Его волокно в 2 раза прочнее хлопкового волокна и в 3 раза — шерстяного. Из волокна льна-долгунца изготавливают разнообразные ткани — полотно, батист, парусину, брезент, мешковину, канаты и т. п. Семена льна содержат 35...42 % масла, широко используемого в химической и пищевой промышленности; льняной жмых — хороший концентрированный корм для скота.

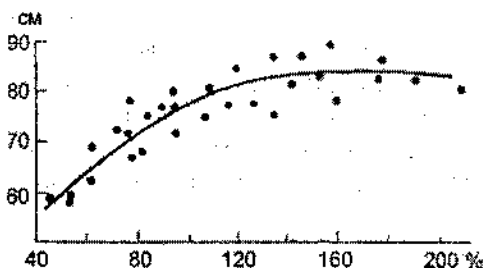
Лен — растение длинного дня, нетребовательное к теплу; возделывается в районах, хорошо обеспеченных влагой; вегетационный период варьирует от 75 до 90 сут. Однако лен плохо переносит избыточное увлажнение и высокий уровень стояния грунтовых вод.

Наиболее дружные всходы льна появляются при температуре воздуха 10...12 °С, как и у других растений, скорость прорастания семян в условиях достаточного увлажнения почвы зависит от температуры почвы; так, при 1...3 °С всходы появляются через 25...30 дней, при 18...20 °С — через 4...6 дней. Всходы льна выдерживают заморозки до -2... -3 °С.

В период интенсивного роста (от всходов до цветения) лен очень требователен к высокому увлажнению почвы (рис. 4.19); его транспирационный коэффициент составляет 400...500. Оптимальной температурой этого периода является 10...15 °С. При более высоких температурах воздуха (17...25 °С) и высокой солнечной радиации развитие растений ускоряется, но задерживается рост стебля, усиливается ветвление, что снижает техническую ценность волокна. Биологически рост стебля прекращается с наступлением фазы цветения. Благоприятными условиями для формирования полноценного волокна этой культуры считается нежаркое лето с частыми несильными дождями. Осадки ливневого характера с сильным ветром вызывают полегание посевов, в результате чего ухудшаются условия уборки льна, снижается качество волокна. Урожайность льнового волокна изменяется в зависимости от сорта, агрометеорологических условий вегетационного периода и применяемой агротехники в пределах 0,4...1,6 т/га. На рис. 4.20 показана корреляция урожайности со средней высотой стебля и густотой стояния растений.

Лен-кудряш (маслич-
ный) — более теплолюбивое и
менее требовательное к влаге,

Рис. 4.19. Зависимость высоты растений льна-долгунца (см) ко времени уборки от средней влагообеспеченности (% оптимума) за межфазный период елочка — массовое цветение
(по Л. В. Комоцкой, 1978)



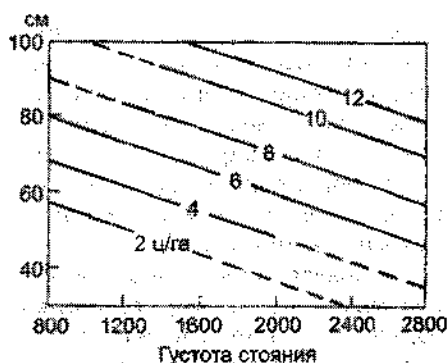


Рис. 4.20. Зависимость урожайности льноволокна от средней высоты стебля и средней густоты стояния растений на 1 м² (по Л. В. Комоцкой, 1978)

чем лён-долгунец, растение, поэтому ареал его возделывания охватывает более южные регионы: Поволжье, Северный Кавказ, а также Украину и некоторые азиатские и закавказские государства. Высота льна-кудряша составляет всего 30...50 см,

сильно ветвящийся от основания стебель несет большое количество коробочек (50 и более). В семенах содержится до 52 % жирного масла, используемого в пищевой и лакокрасочной промышленности. Волокно используется для выработки грубых тканей (мешковина, брезент), шпагата и т. п. Урожайность семян — 0,6...1,0 т/га. Агрометеорологические особенности его возделывания менее изучены по сравнению с льном-долгунцом.

Подсолнечник — важнейшее сельскохозяйственное растение, завезенное в XVI в. из Америки в Европу и получившее в дальнейшем широкое распространение как декоративная, затем масличная и силосная культура. В Россию подсолнечник был завезен из Нидерландов в XVIII в., с 30-х годов XIX в. возделывается как масличная культура. В его семенах содержится 50...54 % (и более) высокопитательного масла. Урожайность семян современных сортов в среднем составляет 1,6...1,7 т/га, а в условиях высокой агротехники достигает 2,0... 2,5 т/га.

Как теплолюбивая и светолубивая культура подсолнечник выращивается на семена в районах Северного Кавказа, в Центрально-Черноземных областях, в Поволжье, на Алтае, а также на Украине, в Молдавии, Казахстане; в качестве силосной культуры — в нечерноземной зоне и в восточных районах России.

Семена этой культуры начинают прорастать при температуре 5...7 °С, оптимальной считается температура около 20 °С, при которой всходы появляются на 6...8-й день после посева при достаточном увлажнении почвы. Всходы легко переносят кратковременные заморозки до -3... -4 °С, отдельные сорта до -5...-6 °С.

От всходов до фазы цветения потребность растений в тепле возрастает. Оптимальной считается температура воздуха 25...27 °С, угнетающее действие на растения оказывают температуры воздуха 30 °С и выше. В период цветения поздние весенние заморозки -1...-2 °С оказывают губительными для растения.

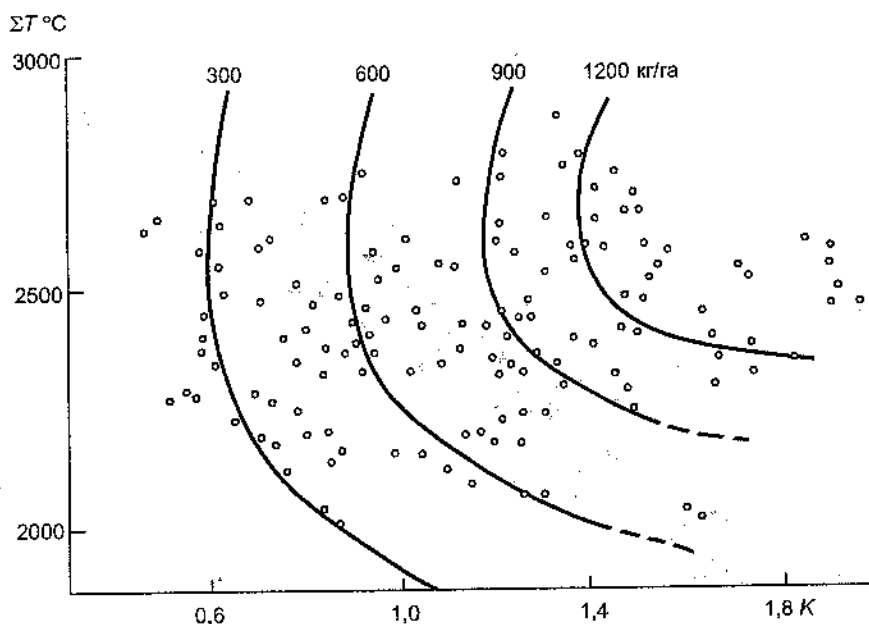


Рис. 4.21. Зависимость урожайности семян подсолнечника (по показателю выхода подсолнечного масла, кг/га) от суммы температур за вегетационный период и показателя увлажнения K (по П. Е. Миускому, 1965)

Продолжительность вегетационного периода в зависимости от сорта изменяется от 80 до 160 дней, а сумма эффективных температур (выше 10°C), необходимая для созревания семян, составляет 1400°C для раннеспелых сортов и 2500°C — для позднеспелых.

Подсолнечник считается влаголюбивым растением, хотя способен выдерживать непродолжительные засушливые периоды благодаря развитию мощной и глубокой корневой системы и опущению надземных вегетативных органов. Наибольшая потребность во влаге отмечается у растения в периоды образования корзинок, цветения и налива семян, когда расходуется до 60 % всей необходимой за период вегетации влаги. Транспирационный коэффициент варьирует в зависимости от сорта от 290 до 705.

Подсолнечник светолюбив, поэтому продолжительная пасмурная погода или затенение молодых растений (при загущенных посевах) ослабляют его рост и развитие, снижают качество семян. Устойчивость подсолнечника к весенним заморозкам и высокая потребность во влаге позволяют высевать эту культуру ранней весной, а в южных регионах — под зиму, благодаря чему растения используют зимне-весенние запасы почвенной влаги.

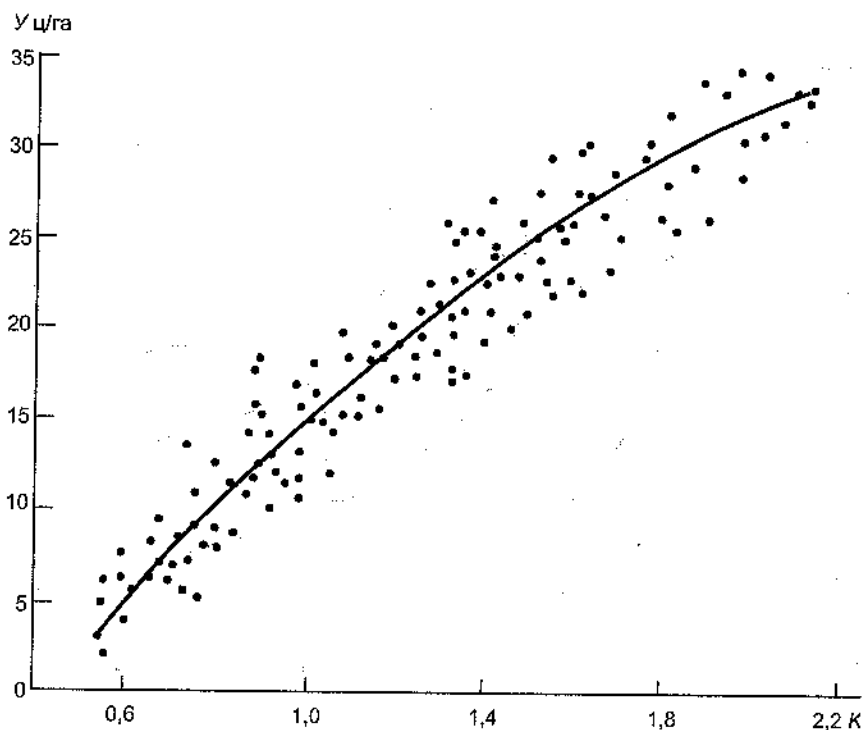


Рис. 4.22. Зависимость урожайности семян подсолнечника (У ц/га) на сортоучастках от показателя увлажнения К

П. Е. Миусский (1965) установил зависимость урожайности семян подсолнечника от показателя увлажнения К. Этот показатель представляет собой отношение суммы запасов продуктивной влаги в слое 0...100 см к началу сева и суммы осадков за вегетационный период к сумме средних суточных температур воздуха за этот же период, уменьшенной в 10 раз (рис. 4.21).

Зависимость урожайности семян подсолнечника от показателя увлажнения К получена также Ю. С. Мельником и Н. Б. Мещаниновой (1968) (рис. 4.22).

4.4. Корнеплоды и клубнеплоды

К корнеплодам относятся сельскохозяйственные культуры, имеющие специальный запасующий орган, в образовании которого участвуют главный побег, подсемядольное колено (гипокотиль) и главный корень. Наиболее известные овощные культуры этой группы:

свекла (столовая, сахарная, кормовая), морковь, репа, редька, дайкон и др. Их особенности рассмотрим на примере сахарной свеклы.

Сахарная свекла является основным источником сырья для сахарной промышленности на всем постсоветском пространстве. Отходы сахароварения используют на корм скоту (меласса, жом) и на удобрения. Наибольшие посевные площади сосредоточены на Северном Кавказе, в черноземной зоне, в Поволжье, а также на Украине, в Молдавии, Казахстане и Киргизстане. Свекла — культура теплолюбивая, светолубивая и влаголюбивая; легко переносит непродолжительную почвенную засуху.

Семена свеклы начинают прорастать при температуре 1...4 °C, дружные всходы появляются при температуре воздуха 10...12 °C через 12...14 дней, а при температуре 15...17 °C через 7...8 дней. Всходы погибают при заморозках -4... -5 °C. Оптимальная температура для роста и развития 20...22 °C. Рост корнеплодов начинается при накоплении суммы эффективных температур (выше 5 °C) 500 °C. Активный их рост продолжается в условиях достаточной влажности почвы в течение лета, пока средняя суточная температура воздуха осенью не составит 6 °C. Летние температуры воздуха выше 30 °C угнетают развитие и рост растений. За вегетационный период в основных районах свеклосеяния этой культуре необходима сумма эффективных температур 2200...2400 °C, в нечерноземной зоне и в Сибири 1800...2000 °C, а на юге Киргизстана — до 3000 °C.

В год посева развивается корнеплод средней массой 300...600 г при средней сахаристости 14...20 %, иногда 24 %. Недостаток освещенности во вторую половину вегетационного периода сахарной свеклы снижает урожайность и сахаристость корнеплодов. Потребность во влаге у этой культуры высокая. Она возрастает по мере роста растений и достигает максимума в восьмую декаду вегетации (июль—август), а затем снижается. Общий расход влаги за период вегетации при урожайности 40...50 т/га составляет 3500...4000 м³. Транспирационный коэффициент сахарной свеклы равен 230...670 в зависимости от агрометеорологических условий и применяемой агротехники. По данным О. М. Конторщиковой, хорошие условия для формирования урожайности сахарной свеклы складываются при запасах продуктивной влаги в метровом слое почвы больше 100 мм в период до начала роста корнеплодов и более 70 мм в период их роста.

Зависимость урожайности сахарной свеклы от средней влагообеспеченности посевов за вегетационный период при высоком уровне агротехники (по О. М. Конторщиковой, 1968) представлена на

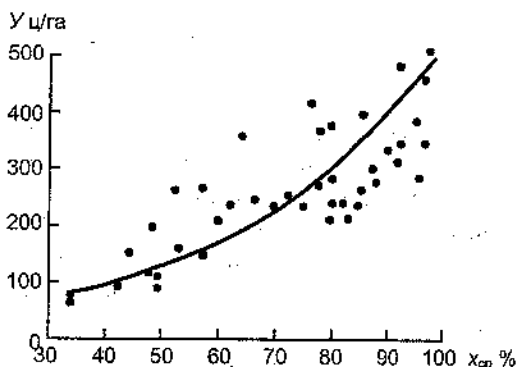


Рис. 4.23. Зависимость урожайности сахарной свеклы (Y ц/га) от средней влагообеспеченности посевов (X %) за вегетационный период при высоком уровне агротехники (по О. М. Конторщиковой, 1968)

рис. 4.23, возможная урожайность сахарной свеклы при средних многолетних условиях влагообеспеченности — на рис. 4.24.

Клубнеплоды — группа растений, образующих запасные органы корневого, стеблевого и листового происхождения, часто выполняющие функции вегетативного размножения: картофель, топинамбур, батат, кольраби (разновидность огородной капусты) и др. Рассмотрим особенности этих культур на примере картофеля.

Картофель принадлежит к числу важнейших сельскохозяйственных культур разностороннего использования и возделывается во многих странах мира. В культуру картофель был введен местным населением Америки примерно 14 тыс. лет назад. В Европу картофель был завезен в 1565 г., в Россию — в конце XVII в. Основные площади его посадок сосредоточены в нечерноземной, черноземной и лесостепной зонах России, а также на Украине, в Беларуси, в Закавказье и в азиатских республиках бывшего СССР.

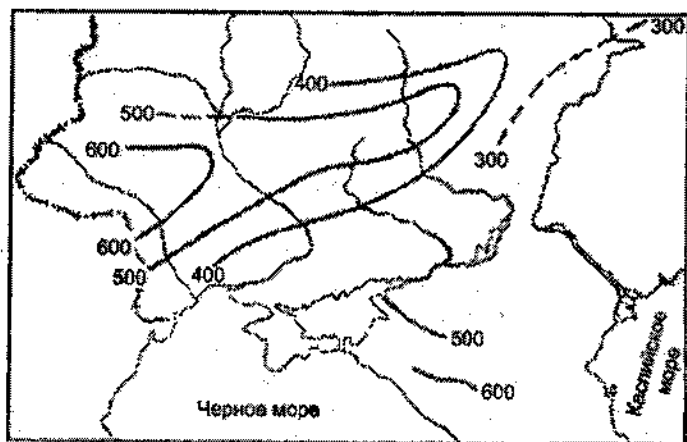


Рис. 4.24. Возможная урожайность сахарной свеклы (ц/га) при средних многолетних условиях влагообеспеченности посевов и агротехнике на уровне передовых хозяйств (по О. М. Конторщиковой, 1968)

Картофель — влаголюбивое (особенно во время цветения и клубнеобразования), светолюбивое и довольно холодостойкое растение. Прорастание почек клубней картофеля в почве начинается при температуре почвы 5...8 °С. При температуре 10...12 °С всходы картофеля появляются на 23-й день. Повышение температуры почвы до 18...25 °С сокращает продолжительность периода от посадки до всходов до 12...13 дней. Яровизированные клубни могут давать всходы на 6...8-й день. Всходы и взрослые растения повреждаются кратковременными заморозками -2...-3 °С, однако с наступлением теплой погоды из спящих почек образуются новые побеги. Незащищенные клубни картофеля гибнут при -2 °С и теряют способность к прорастанию. Наиболее благоприятной температурой для роста побегов, листьев и цветения считается 20...21 °С.

Для клубнеобразования оптимальной температурой почвы является 10...13 (16...18) °С. Дневные температуры воздуха около 30 °С вызывают ослабление, а у скороспелых сортов почти полную остановку роста побегов (рис. 4.25). Высокие температуры не только задерживают рост клубней, но и становятся причиной так называемого теплового, или летнего, вырождения клубней. При средней суточной температуре 24 °С вырождение клубней достигает 50 % и более. Вырожденные мелкие клубни при их посадке в следующем

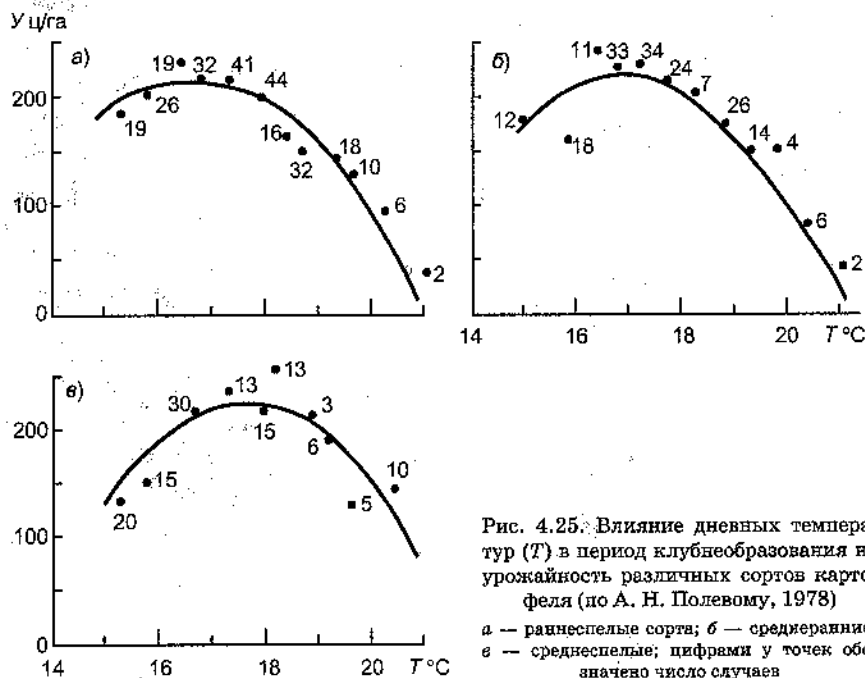


Рис. 4.25. Влияние дневных температур (T) в период клубнеобразования на урожайность различных сортов картофеля (по А. Н. Полевому, 1978)

а — раннеспелые сорта; б — среднеранние; в — среднепоздние; цифры у точек обозначено число случаев

году дают ослабленные, малоурожайные, с мелкими (часто больными) клубнями растения. Поэтому в регионах с жарким летом проводят ранневесенние посадки скороспелых сортов картофеля, которые обеспечивают сбор урожая до наступления сухой и жаркой погоды. Широко практикуются также летние сроки посадки картофеля с таким расчетом, чтобы период клубнеобразования совпал с прохладной погодой сентября—октября.

Вегетационный период различных по скороспелости сортов картофеля составляет 70...120 сут. В течение этого периода отношение растений к увлажнению почвы меняется: по мере нарастания надземной фитомассы потребность во влаге увеличивается, достигая максимума в фазу цветения и начала клубнеобразования. Продолжительность периода клубнеобразования на рассматриваемой территории, согласно исследованию Д. В. Козинец, увеличивается с северо-востока на юго-запад (рис. 4.26). Наиболее благоприятные условия для формирования хорошей урожайности картофеля создаются при влажности почвы около 80 % наименьшей влагоемкости и достаточной освещенности. По данным О. М. Поповской, прирост

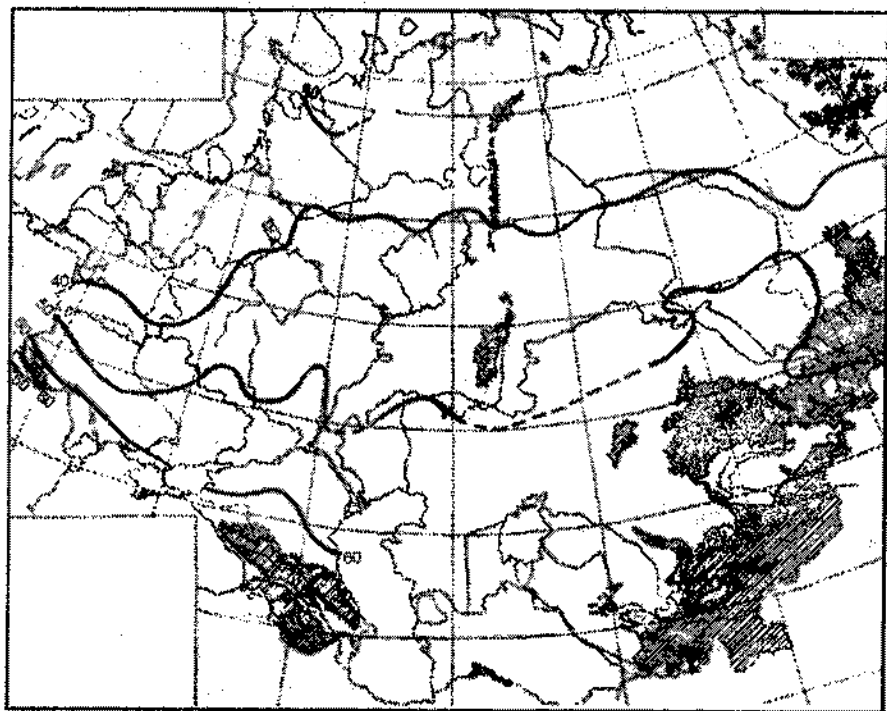


Рис. 4.26. Продолжительность периода клубнеобразования картофеля (дни) на территории Российской Федерации и сопредельных государств (по Д. В. Козинец)

клубней картофеля независимо от температуры практически останавливается при запасах продуктивной влаги 20 мм в слое почвы 0...50 см. Наибольший прирост массы клубней происходит при запасах влаги в этом слое 60...70 мм и температуре 16...18 °С. Переувлажнение почвы приводит к быстрому загниванию и гибели клубней. Транспирационный коэффициент картофеля равен 167...659, он зависит от сорта, сложившихся агрометеорологических условий и применяемой агротехники.

Урожайность картофеля определяется биологическими особенностями сорта, погодными условиями и уровнем агротехнических приемов при его возделывании, она колеблется от 0,9 до 50 т/га.

4.5. Овощные и бахчевые культуры

В эту группу сельскохозяйственных культур входят травянистые растения, относящиеся к различным семействам. В рационе питания человека используются плоды, листья, стебли, корни, клубни этих культур. На территории России и сопредельных стран в различных почвенно-климатических зонах произрастают сотни сортов разнообразных овощных и бахчевых культур. Каждая культура, каждый ее сорт характеризуются набором наследственных признаков, наиболее полно проявляющихся в определенных условиях освещенности, продолжительности светового дня, температурного режима, увлажнения, минерального и органического питания и других условий, корректируемых агротехническими приемами.

Рассмотрим особенности нескольких широко распространенных культур этой группы растений.

Капуста огородная представлена многими разновидностями овощных или кормовых культур: *белокочанная, краснокочанная, цветная, савойская, брюссельская, листовая, китайская* и др. Капуста возделывалась с глубокой древности (2...3-е тысячелетие до н. э.) практически во всех земледельческих регионах мира. В России наиболее благоприятными для ее выращивания считаются центральные и северо-западные регионы с умеренно теплым и влажным климатом. Капуста — светолюбивая, влаголюбивая и холодостойкая культура. Вегетационный период ранних сортов *капусты белокочанной* составляет 100 сут, поздних — 200 сут.

В период выращивания рассады оптимальной является температура воздуха 12...24 °С. При температуре более 30 °С у нее формируются уродливые листья и плохо завязываются кочаны. Рассада, высаженная в открытый грунт, выдерживает заморозки до -3...-7 (10) °С. Оптимальной температурой роста растений считается 15...18 (20) °С. Почти все разновидности капусты, кроме цветной

и пекинской, — двулетние растения. В первый год жизни развиваются вегетативные органы (розетка листьев, кочан, стеблеплод), во второй растения цветут (при температуре 20...25 °С) и дают семена.

Недостаток влаги в почве в любой межфазный период развития сдерживает развитие кочана. Капуста — растение длинного дня — нуждается в хорошем и продолжительном освещении; отзывчива на условия нормальной аэрации почвы. В южных регионах вредное влияние высоких летних температур на капусту не снижается даже в условиях обильных поливов. Поэтому раннеспелые сорта высаживаются в грунт весной, а позднеспелые — во второй половине лета. Урожайность капусты белокочанной в северных и центральных регионах России, как правило, выше, чем в южных регионах, она варьирует от 20 до 100 т/га.

Динамика биомассы кочана капусты (по сухому веществу) сортов Слава и Амагер в 1985...1987 гг., по материалам наблюдений М. И. Грингоф (1991), приведена на рис. 4.27.

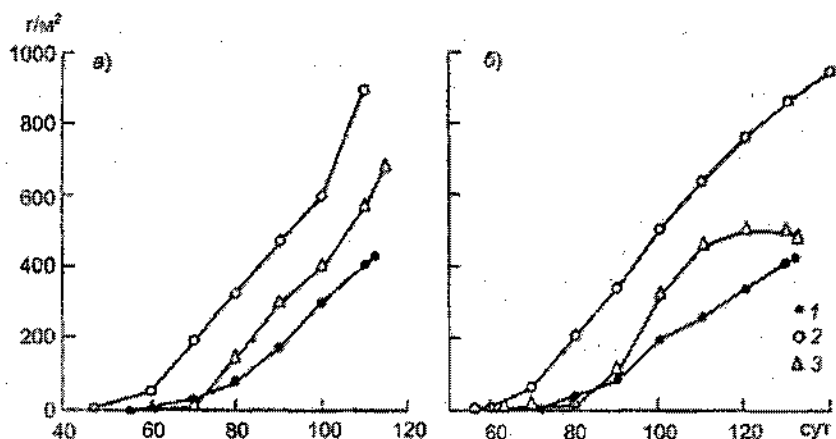


Рис. 4.27. Динамика биомассы кочана капусты (по сухому веществу) сортов Слава 1305 (а) и Амагер (б) (по М. И. Грингоф, 1991)
1 — 1985 г.; 2 — 1986 г.; 3 — 1987 г.

Капуста цветная — однолетнее растение, возделываемое на рассматриваемой территории от северной границы земледелия до крайнего юга азиатских государств, а также во многих странах мира. Рассада, высаженная в грунт, выдерживает заморозки до -2...-5 °С. Оптимальной температурой воздуха для роста рассады и формирования головок считается 15...18 °С днем и 10...12 °С ночью. Эта капуста очень влаголюбива; влажность почвы 70...80 % наименьшей влагоемкости благоприятна для развития головок, которые используются в пищу. Головка состоит из многочисленных нежных, соч-

ных побегов с зачатками соцветий; при недостаточной влагообеспеченности растений головка оказывается маленькой и низкого качества.

Цветная капуста — светолюбивое растение; затенение посадок, особенно в первый период развития, снижает урожай и его качество. При оптимальной агротехнике урожайность цветной капусты достигает 18 т/га.

Другие разновидности капусты близки к описанным по их отношению к температурному режиму, увлажнению и освещенности.

Томат обыкновенный был завезен из Южной Америки в Европу в середине XVI в. Первые сведения о томатах в России относятся к 1780 г. На местном языке это растение называлось „томати“, но при интродукции в Испанию и Португалию его стали называть „золотым яблоком“ (*pomo d'oro* — отсюда произошло название „помидор“). Томаты — однолетние, теплолюбивая и засухоустойчивая овощная культура. Они возделываются в открытом и защищенном грунте (теплицы) во многих регионах России и мира. Северной границей выращивания этой культуры в открытом грунте считается изолиния суммы эффективных температур (выше 10 °C) 1500 °C.

Как рассадная культура, томаты менее подвержены весенним заморозкам, поскольку в открытый грунт их высаживают в сроки, когда вероятность заморозков становится менее 20 %. В этот период в Центрально-Черноземных областях России средняя суточная температура воздуха обычно достигает 12...14 °C. От сроков высадки рассады в грунт в значительной степени зависит урожайность томатов и степень их зрелости (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Влияние сроков высадки 60-дневной рассады томатов в грунт на урожай плодов для территории Среднего Урала и Сибири (по Н. Ф. Коняеву)

Дата высадки	Урожай плодов, т/га		Дата высадки	Урожай плодов, т/га	
	общий	красных		общий	красных
22 V	62,1	33,2	10 VI	47,0	15,6
1 VI	50,0	19,7	20 VI	19,5	9,8

Урожайность томатов зависит от уровня тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода. Оптимальные условия для активного развития и роста томатов складываются при температуре 15...25 °C. Образование соцветий наступает при температурах выше 15 °C. При средней суточной температуре 10 °C и ниже рост побегов прекращается, а соцветия опадают. При 30 °C рост растений замедляется, при

35 °С — прекращается. В среднем ниже 7...9 °С и выше 37...39 °С находятся зоны повреждения томатов. Поздние весенние и ранние осенние заморозки губительны для этой культуры.

При влагообеспеченности растений 60...70 % наименьшей влагоемкости и накопления суммы эффективных температур (выше 15 °С) 2000 °С томаты формируют высокую урожайность: в открытом грунте 4...5 (15...20) т/га (рис. 4.28), в теплицах 12...15 кг/м². При снижении суммы эффективных температур (выше 10 °С) с 2000 до 1700 °С урожайность томатов снижается на 35 %, до 1500 °С — на 70 %.

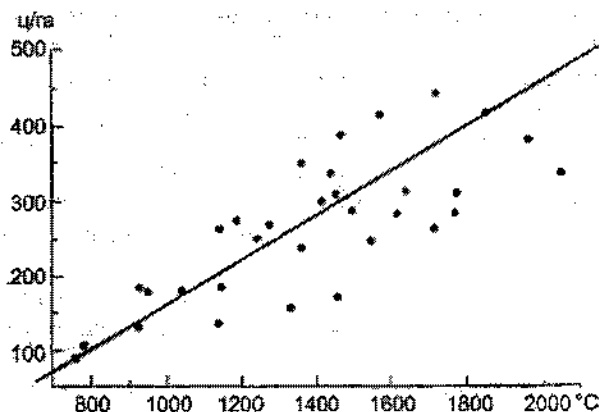


Рис. 4.28. Зависимость урожайности томатов (ц/га) от суммы эффективных температур выше 15 °С (по Т. А. Побетовой, 1978)

Огурец посевной — однолетняя овощная культура, возделываемая практически во всех земледельческих районах мира. В Индии культура огурца известна с 3-го тысячелетия до н. э. Огурцы — очень влаголюбивая и теплолюбивая культура. Северной агроклиматической границей выращивания огурцов является изолиния сумм эффективных температур (выше 10 °С) 1600 °С. На этой границе один сбор раннеспелых сортов обеспечен в открытом грунте в 50 % лет. Изолиния сумм эффективных температур 1900 °С ограничивает с севера территорию, где обеспеченность сбора огурцов составляет 90 %. В районах севернее 62...65° с. ш. огурцы выращиваются только в теплицах.

Использование парников и теплиц различных типов в сочетании с тепловой мелиорацией почвы (укладка слоя свежего навоза в качестве подпочвы) способствует значительному повышению теплообеспеченности растений. Эти приемы позволяют выращивать огурцы

значительно севернее. Оптимальная температура для прорастания семян 25...30 °С. В условиях достаточного увлажнения почвы семена начинают прорастать при температуре 12...15 °С. Снижение температуры воздуха до 0 °С губительно для этой культуры. При понижении температуры почвы до 10 °С на сутки и более корни огурцов быстро загнивают под влиянием микроорганизмов.

Оптимальными условиями для роста и развития огурцов считается температура воздуха 25 °С, относительная влажность воздуха 90...95 %, влажность почвы — не ниже 80 % наименьшей влагоемкости. Температура выше 35 °С угнетает растения и приводит к снижению урожайности. При средней декадной температуре воздуха 13...15 °С растения повреждаются, в результате недостатка тепла погибает около 20 % растений, при более низкой температуре — 11...12 °С — погибает до 80 % растений.

Вегетационный период огурцов длится 60...80 сут. Накопленная за это время сумма эффективных температур воздуха (выше 10 °С) составляет 1600...2000 °С. Продолжительность межфазных периодов развития этой культуры находится в тесной зависимости от температуры воздуха в условиях достаточной влагообеспеченности растений. Например, для сорта огурцов Успех 221 продолжительность периода посев—всходы при средней температуре воздуха за этот период 12 °С составляет 20 дней, а при средней температуре 21 °С — всего 7 дней (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Продолжительность межфазных периодов (дни) развития различных сортов огурцов в зависимости от температуры воздуха

Сорт	Средняя температура воздуха за период, °С				Сумма средних суточных температур воздуха за период, °С
	12	17	21	25	
Посев—всходы					
Муромский 36	15	10	7	—	170
Успех 221	20	11	7	—	210
Нежинский 12	16	10	8	—	180
Всходы — начало цветения женских цветков					
Муромский 36	—	38	28	—	660
Успех 221	—	41	34	—	700
Нежинский 12	—	45	41	—	750
Начало цветения женских цветков — первый сбор					
Муромский 36	—	15	12	10—11	260
Успех 221	—	13	14	17	230
Нежинский 12	—	14	11	10	230

Урожайность огурцов определяется теплообеспеченностью их вегетационного периода при прочих равных условиях (рис. 4.29). Так, если принять за 100 % урожайность огурцов для территории, обеспеченной средней многолетней суммой эффективных температур (выше 10 °С) 2000 °С, то на территории с суммой 1900 °С урожайность составит 80 %, с суммой 1700 °С — 46 % и с суммой 1500 °С — всего 27 %.

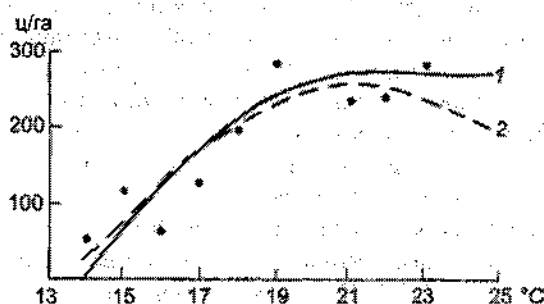


Рис. 4.29. Зависимость урожайности огурцов (ц/га) сорта Вязниковский 37 от средней суточной температуры воздуха (°С) в период от даты начала цветения женских цветков до даты первого сбора (по В. К. Абрамову, 1974)

1 — эмпирическая кривая; 2 — расчетная линия регрессии

Урожайность различных сортов огурцов в однотипных условиях выращивания неодинакова: например, раннеспелый гибрид Криница отличается высокой урожайностью в открытом грунте — до 40 т/га при одноразовой машинной уборке плодов; гибриды Эстафета и ТСХА 28 в условиях теплицы дают урожай до 40...43 кг плодов с 1 м².

Дыни и арбузы относятся к группе бахчевых (от перс. *бахче* — садик) культур. Они возделываются во многих странах Азии, Африки, Восточной и Южной Европы, в Америке для пищевых, кормовых и технических целей. В России эти культуры выращиваются в южных регионах страны — на Северном Кавказе, в Среднем и Нижнем Поволжье, а также в республиках Азии, в частности в Южном Казахстане, на Украине и в Молдавии. Северной границей их ареала является 52...53° с. ш.

Дыни и арбузы — однолетние теплолюбивые растения. Снижение температуры почвы до 10 °С в течение 24...30 ч вызывает повреждение корней, а температура воздуха 4 °С является порогом, ниже которого повреждаются цветки, листья и побеги. Гибель этих растений в результате продолжительного охлаждения (до 4 °С и ниже) объясняется необратимыми нарушениями в обмене веществ и в их энергетическом балансе, приводящими к разрушению клеток.

Дыни и арбузы — светлюбивые и засухоустойчивые растения, благодаря разветвленной и глубокой корневой системе, весьма плотному опушению поверхности листьев и побегов, регулирующих процессы транспирации. При выращивании этих растений в условиях избыточного увлажнения (например, частые поливы) плоды получаются менее сахаристыми с худшими вкусовыми качествами.

Семена этих культур прорастают во влажной почве (при запасах продуктивной влаги 20...30 мм в слое 0...20 см) при температуре 16...17 °C на 8...10-й день. Для появления всходов необходимо накопление суммы эффективных температур (выше 15 °C) 30...70 °C в зависимости от сорта. Продолжительность периода от всходов до созревания плодов варьирует у различных по скороспелости сортов от 68 до 119 сут. Оптимальной температурой воздуха для развития плодов считается 25...30 °C. При температурах выше 30 °C в период плодообразования опадают завязи. Фаза цветения у дынь наступает при накоплении суммы эффективных температур (выше 15 °C) от даты всходов 240...400 °C, у арбузов — 290...490 °C. Большие диапазоны обусловлены сортовыми особенностями этих культур. В период от посева до созревания плодов дынь накапливается сумма эффективных температур 770...1170 °C, плодов арбузов — 870...1240 °C.

Урожайность бахчевых культур составляет в среднем 20...40 т/га. Дыни и арбузы очень отзывчивы на органические и минеральные удобрения. Завышенные дозы минеральных удобрений увеличивают размеры плодов (и, следовательно, общую урожайность), но при этом плоды теряют вкусовые качества и даже могут привести к пищевому отравлению.

4.6. Плодовые и ягодные культуры

Эта группа культурных растений выращивается человеком для получения фруктов, ягод и орехов. Они подразделяются на *семячковые* (яблоня, груша, айва и др.), *косточковые* (вишня, черешня, слива, абрикос, персик, облепиха и др.), *ягодные* (смородина, крыжовник, земляника, виноград и др.), *орехоплодные* (грецкий орех, лесной орех — фундук, фисташка и др.), *цитрусовые* (лимон, апельсин, мандарин, грейпфрут и др.), *субтропические* (гранат, инжир, хурма и др.) и *тропические* (банан, ананас, манго, папайя и др.). Плоды, ягоды и орехи имеют большое значение в питании человека, поскольку содержат витамины, биологически активные вещества, растительный белок и жиры (например, орехи), особенно если используются в свежем или сушеном виде.

Плодовые культуры выращивают в умеренном, субтропическом и тропическом поясах (от 60° с. ш. до 60° ю. ш.). Все они — многолетние растения; большинство — листопадные, некоторые — вечнозеленые. Независимо от возраста все многолетние плодово-ягодные культуры имеют ежегодно повторяющийся цикл развития, состоящий из двух периодов — вегетации и покоя.

Эти культуры различаются по долговечности, морозостойкости, жаровыносливости, урожайности, по особенностям циклов развития, по потребности в освещенности, влаге, по температурному режиму. Плодовые и ягодные культуры — светолюбивые растения. При недостатке освещенности снижается интенсивность фотосинтеза, что приводит к опаданию завязей, снижению ароматических качеств и вкусовых достоинств ягод и плодов. Наиболее требовательными к освещенности являются персик, абрикос, виноград; частичное затенение выдерживают черешня, айва, груша, слива, яблоня и вишня. Самыми теплолюбивыми культурами считаются лимон, апельсин, мандарин, персик и все тропические культуры. К менее теплолюбивым культурам относятся зимние сорта яблони, поздние сорта сливы, вишни, летние сорта груши и яблони.

Набухание почек начинается после перехода температуры воздуха весной через 5 °С, а их распускание — после перехода через 10 °С. Интенсивный рост побегов и соцветий происходит при температуре 23...28 °С. Важным периодом у плодовых культур является цветение, которое наступает при накоплении сумм эффективных температур (выше 5 °С) от 88 °С (абрикос) до 185 °С (яблоня) в зависимости от вида и сорта; для груши и сливы это значение равно 125 °С, для вишни — 150 °С. Косточковые породы более скороспелы, зацветают рано и почти все одновременно.

В сухую и жаркую погоду цветение проходит быстро — примерно за 7 дней, а во влажную и прохладную продолжается 14...20 дней. Для цветения вишни и сливы наиболее благоприятна температура воздуха 10...18 °С, яблони и груши — 15...20 °С, персика — 18...20 °С. Понижение температуры воздуха ниже 10 °С неблагоприятно для цветения и оплодотворения, так как из-за слабого выделения нектара насекомые-опылители малоактивны и плохо посещают цветущие деревья. Температуры воздуха выше 30 °С также отрицательно влияют на процесс опыления и оплодотворения цветущих растений. В период цветения наиболее благоприятна относительная влажность воздуха 70...80 %; при влажности воздуха ниже 25 % затрудняется процесс опыления. Сильные ветры и продолжительные осадки также затрудняют опыление цветков. Заморозки от -0,6 до -3,0 °С повреждают цветки и завязи плодов. Средняя суточная температура воздуха ниже 14...15 °С в первые дни после цветения значительно снижает продуктивность плодовых культур.

В период образования завязей оптимальна температура 17...18 °С, в период роста плодов — 15...25 °С. Наиболее интенсивный рост ягод винограда происходит при температуре 23...28 °С. Температура выше 33...35 °С угнетающе действует на плодовые деревья, нарушая обмен веществ и вызывая повреждения отдельных тканей; температура выше 40 °С способствует засыханию ягод винограда.

Общая потребность в тепле за вегетационный период, выраженная суммами эффективных температур выше 10 °С, для различных сортов яблони составляет 1800...2300 °С, для винограда — 2200...4000 °С, для citrusовых — более 3500 °С. Например, наибольшая урожайность винограда отмечена в азиатских республиках в годы, когда сумма активных температур за период вегетации составляла 4500...5000 °С, а в Грузии — 3900...4300 °С.

Хорошие условия влагообеспеченности плодово-ягодных культур связаны с влагозапасами в почве, составляющими 70...80 % наименьшей влагоемкости. Наибольшая потребность во влаге у плодовых деревьев наблюдается в период цветения и активного роста вплоть до фазы созревания плодов. Недостаток влаги в этот период отрицательно сказывается на формировании урожайности следующего года и подготовке деревьев к зиме, ведет к ослаблению их роста, снижению облиственности, к образованию мелких плодов. При снижении влагозапасов в корнеобитаемых горизонтах почвы до 30 % наименьшей влагоемкости рост побегов прекращается. При усилении почвенной засухи многие плодовые деревья сбрасывают листья и переходят в состояние летнего покоя (вишня, черешня и др.). Однако переувлажнение является для роста и развития плодовых деревьев более негативным фактором, чем недостаток влаги. Нормальные условия влагообеспеченности, например, яблони складываются при равномерном выпадении осадков в течение года в количестве не менее 750...800 мм.

В период созревания урожая температура несколько выше 20 °С в сочетании с сухой погодой способствует быстрому накоплению сахаров и снижению кислотности плодов и ягод.

После завершения периода формирования урожая и его сбора благоприятной для подготовки растений к зиме является теплая и умеренно влажная погода с постепенным снижением ночных и дневных температур воздуха. Такие условия способствуют физиолого-биохимической перестройке в клетках растений, накоплению в тканях пластических веществ и вызреванию древесины. Неодревесневшие молодые побеги, как правило, повреждаются заморозками. Чем более зрелой является древесина побегов, тем более низкую температуру может выдержать плодовая культура в зимний период.

4.7. Многолетние и однолетние сеяные травы

Сеяные многолетние и однолетние кормовые травы составляют основу сбалансированной кормовой базы для сельскохозяйственных животных в различных почвенно-климатических зонах России и сопредельных стран. Кормовые травы выращиваются для приготовления сена, сенажа, силоса, травяной муки; зеленая масса используется во время выпаса скота.

Сеяные травы относятся к числу важнейших источников получения высокопитательных кормов. Они содержат необходимые для животных аминокислоты, минеральные вещества, клетчатку и витамины. Производство кормов из сеяных трав при соблюдении несложных агротехнических приемов относится к числу наиболее дешевых и рентабельных.

Травосеяние способствует улучшению структуры почвы, ее водопроницаемости, водоудерживающей способности, аэрации, снижает засоренность посевов, содействует повышению урожайности возделываемых после трав культур. Травяной клин является естественным компонентом в большинстве схем полевых и почвозащитных севооборотов.

Нехватка белка в кормовых рационах сельскохозяйственных животных в значительной степени может быть восполнена такими высокобелковыми бобовыми травами, как клевер, люцерна, эспарцет, люпин, а также злаками — тимофеевкой, ежой сборной, житняком, видами костра, овсяницей и др.

Из многолетних трав рассмотрим клевер, люцерну и некоторые злаковые.

Клевер. В посевах наибольшее распространение получили клевер луговой (или красный), клевер розовый (или шведский), клевер ползучий (или белый) и др. Клевер красный, посеянный в смеси со злаковыми травами (тимофеевкой, овсяницей луговой и др.), дает более высокие урожаи зеленой массы по сравнению с чистым клевером.

Семена клевера прорастают в условиях достаточного увлажнения почвы (70...80 % наименьшей влагоемкости) при температурах от 1 до 20 °С, причем чем выше температура воздуха, тем короче период от посева до всходов (табл. 4.4). Сумма эффективных температур (выше 5 °С) для этого периода составляет 65...75 °С.

Возобновление вегетации перезимовавших посевов клевера, как и большинства сеяных трав, происходит при устойчивом переходе средней суточной температуры воздуха через 5 °С. Для рассматриваемой территории средние многолетние даты возобновления вегета-

Таблица 4.4

Продолжительность периода посев—всходы у клевера и люцерны в зависимости от средней температуры воздуха за этот период

Клевер		Люцерна	
Температура, °C	Число дней	Температура, °C	Число дней
1...3	10...18	6...8	17...19
4...6	10...17	10...12	15...16
10...12	8...16	14...16	12...13
18...20	6...10	18...20	9...10

ции сеяных многолетних трав весной показаны на рис. 4.30. Однако в различные по метеорологическим условиям годы даты возобновления вегетации могут отличаться от средних многолетних дат на ± 20 дней.

Через 85...40 дней после возобновления вегетации у клевера одноукосного наступает фаза стеблевания; двуукосный клевер вступает в эту фазу на 8...12 дней раньше. На второй год жизни клевера двуукосного период от возобновления вегетации до массового цветения охватывает 50...80 дней (при накоплении сумм эффективных температур 650...1000 °C), у клевера одноукосного этот период на 15 дней продолжительнее (сумма эффективных температур 1000...1200 °C). На рис. 4.31 приведены средние многолетние даты начала цветения клевера и люцерны.

Обильные летние осадки задерживают цветение клевера и способствуют увеличению продолжительности периода линейного роста растений. В условиях засушливой и жаркой погоды формируется низкорослый клевер с меньшей урожайностью зеленой массы. После первого укоса максимальный линейный прирост наблюдается в первые 2...3 декады. При температуре воздуха около 10 °C средний линейный прирост составляет 2...4 см за декаду, при более высоких температурах (16...19 °C) скорость роста возрастает до 10...15 см (в условиях достаточного увлажнения достигает 24 см) за декаду.

Продолжительность периода цветения — созревание семян составляет 28...66 дней в зависимости от температуры воздуха и количества осадков. Поэтому сумма положительных температур варьирует за этот период от 560 до 910 °C.

Высокая урожайность клевера формируется в районах, где за лето выпадает 250...300 мм осадков (зона с годовой суммой осадков 400...500 мм и более). Но посевы клевера плохо переносят затопление: через 7...10 дней стояния водного слоя посевы погибают из-за отсутствия аэрации в зоне корневой системы. В ареале возделывания этой культуры условия естественной влагообеспеченности

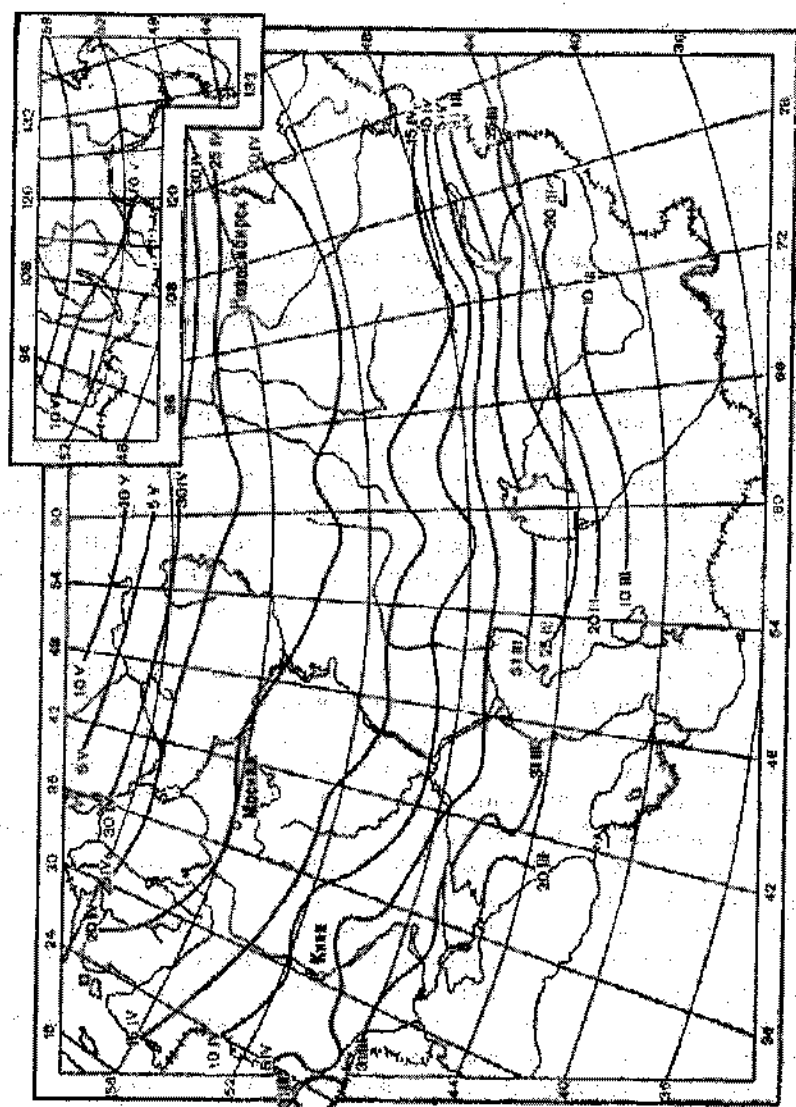


Рис. 4.30. Средние многолетние даты возобновления вегетации сеяных многолетних трав весной (по Н. В. Гулиной, 1982)

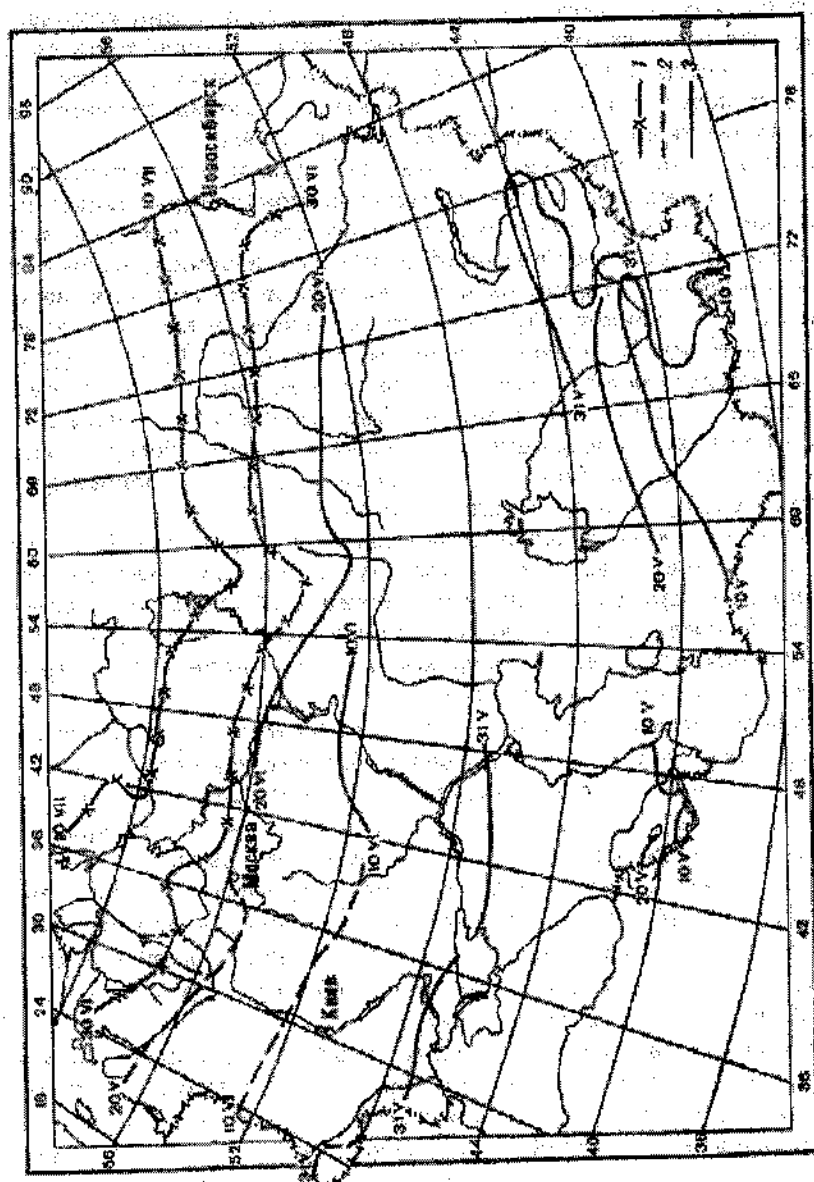


Рис. 4.31. Средние многолетние даты начала цветения одноукосного клевера (1), двухукосного клевера (2), люцерны после первого укоса (3) (по Н. В. Гулиной, 1982).

посевов улучшаются в направлении с юго-востока на северо-запад; в этом же направлении растет урожайность. В оптимальных агро-климатических условиях (см. главу 5) и при выполнении комплекса современных агротехнических мероприятий урожайность сена из клевера достигает 4...5 т/га, при неблагоприятных условиях — 0,5 т/га и менее. Влияние неблагоприятных условий зимнего периода для зимующих культур рассмотрено в главе 3.

Люцерна. Различные виды, сорта и гибриды этой культуры возделываются во многих сельскохозяйственных регионах мира, практически во всех почвенно-климатических зонах России и сопредельных стран. Это связано с хозяйственной ценностью люцерны, высокими питательными свойствами, разнообразием ее использования: зеленая масса, сено, брикеты, травяная мука, сенаж, силос и как пастбищное растение. В сельском хозяйстве республик Азии люцерна широко используется в качестве компонента кормовых и хлопково-люцерновых полевых севооборотов. Двух-трехлетние посевы люцерны на полях, где выращивался хлопчатник, способствуют очищению почвы от грибкового заболевания — вилта, наносящего серьезный урон урожайности хлопчатника.

Люцерна — влаголюбивая и теплолюбивая культура. В то же время она обладает высокой зимостойкостью и засухоустойчивостью, которые при современной агротехнике обеспечивают долговечность ее посевов без снижения урожайности в течение многих лет. У люцерны развивается глубокая и мощная корневая система, что повышает ее устойчивость к засухам.

Прорастание семян начинается при температуре 2...3 °С, а всходы появляются при 6...9 °С. На большей части территории возделывания всходы люцерны выдерживают ночные заморозки до -3...-4 °С, в Восточной Сибири до -5...-7 °С. Зависимость продолжительности периода посев—всходы от температуры воздуха представлена в табл. 4.4. Сумма эффективных температур за этот период составляет 310...340 °С. От всходов до цветения первого года жизни необходимо накопление около 1200 °С при средней температуре выше 14 °С. В условиях прохладной погоды со средней температурой ниже 12 °С люцерна не цветет.

Весеннее возобновление вегетации люцерны после перезимовки начинается после устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 5 °С. В зависимости от складывающихся агрометеорологических условий сроки возобновления вегетации могут отличаться от средних многолетних на ±10...20 дней. От даты весеннего отрастания до фазы цветения необходимо накопление суммы положительных температур 700...900 °С, до фазы созревания семян — 1200...1600 °С.

Сроки проведения укосов люцерны обычно связывают с наступлением фазы массовой бутонизации и начала цветения.

На европейской части России люцерна выращивается в основном в неорошаемых условиях. Наилучшие условия для развития, роста и формирования высокой урожайности зеленой массы складываются при влажности почвы 70...80 % наименьшей влагоемкости, а для посевов этой культуры, оставленных после цветения на семена, наиболее благоприятна влажность 60...65 %. Прохладная и дождливая погода способствует израстанию люцерны, полеганию ее побегов, ухудшает условия цветения и опыления. Избыточная влажность, затопление посевов более чем на 10...15 дней приводит к их изреживанию и гибели от вымокания.

Укосная масса люцерны определяется высотой стеблей и густотой побегов на единице площади. В неполивных условиях получают 2...3 укоса люцерны в год с общей урожайностью зеленой массы 40...50 т/га, сена — 8...10 т/га. В южных регионах после каждого укоса проводится полив в объеме около 600 м³ воды на 1 га. На орошаемых землях получают по 4...7 укосов с общей урожайностью 80...100 т/га зеленой массы и 20...25 т/га сена.

В поливных условиях число укосов растительной массы люцерны, а следовательно, и ее суммарная урожайность зависят от количества тепла за вегетационный период (рис. 4.32).

Злаковые травы. Наибольшее хозяйственное значение имеют многолетние злаковые травы, высеваемые обычно совместно с бобовыми травами. Особенно хорошо такие травосмеси развиваются в условиях влажного климата. Некоторые биологические и хозяйственные особенности отдельных представителей этой группы кормовых растений представлены в табл. 4.5.

Массовое возобновление вегетации злаковых трав весной происходит в сроки, близкие к дате устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 5 °С. Хорошее кущение злаков наблюдается при температуре воздуха 8...9 °С. Более теплолюбивый злак житняк кустится при температуре 10...15 °С и влажности почвы 60...80 % наименьшей влагоемкости (14...15 побегов); в условиях пониженной влажности (40 % наименьшей влагоемкости) у него образуется лишь 3...5 побегов. Наибольший рост стеблей

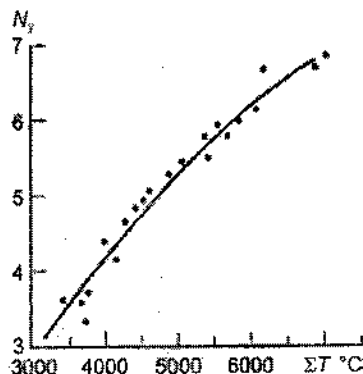


Рис. 4.32. Зависимость числа укосов (N_u) люцерны от суммы положительных температур (ΣT °C) за вегетационный период (по Н. В. Гулиной, 1982)

Таблица 4.5

Важнейшие биологические и хозяйственные особенности многолетних трав (по Н. В. Гулиновой, 1982)

Показатель	Тимофеевка	Овсяница луговая	Ежа сборная	Костер безостый	Житняк
Зимостойкость	Высокая	Средняя	Средняя	Высокая	Высокая
Засухоустойчивость	Слабая	Средняя	Слабая	Высокая	Высокая
Устойчивость к загопленнию (число дней)	30	10...12	7...10	30	15...20
Отрастание весной	Позднее и медленное	Раннее и быстрое	Раннее и быстрое	Раннее и быстрое	Раннее
Отрастание после 1-го укоса	Слабое	Лучше, чем у тимофеевки	Лучше, чем у тимофеевки	Лучше, чем у тимофеевки	Слабое
Высота растений, см	70...100	80...120	60...90	80...120	30...90
Наибольшая урожайность за годы пользования	В первые 3 года	В первые 3 года	В первые 2 года	На 2...4-й год	В первые 2 года
Число укосов (или страживания)	2 (4...5)	2(4...5)	2 и более (5...6)	1...2 (3)	1 (—)
Число лет в травостое	8...10	7...12	Более 10	10...15	Более 10

житняка происходит при температуре 16...18 °С, максимальный прирост за сутки достигает 5 см.

Колошение злаков начинается при средней суточной температуре 15 °С. Чем продолжительнее период от даты возобновления вегетации до начала колошения, тем больше оказывается высота стеблей злаков. Цветение у злаков непродолжительно, всего 6...12 дней. На юге рассматриваемой территории сеянные многолетние злаки зацветают в апреле, на севере Архангельской области и в Забайкалье — в первой декаде июля (рис. 4.33). Цветение наступает при накоплении следующих сумм эффективных температур (выше 5 °С) от даты возобновления вегетации: тимофеевка — 470 °С, овсяница луговая — 450 °С, мятлик луговой и ежа сборная — 400 °С, лисохвост луговой — 350 °С.

Сроки уборки трав на сено обычно определяются началом фазы цветения. Заранее их можно рассчитать по дате, к которой накапливается сумма эффективных температур 470 °С.

Для роста трав, формирования их биомассы важнейшими агрометеорологическими условиями являются оптимальные значения температуры воздуха, влажности почвы и воздуха. Например, залегание грунтовых вод на глубине 100...120 см обеспечивает влагой пырей корневищный, высота которого достигает 115...120 см; при глубине грунтовых вод 180 см высота этого злака не превышает 80...85 см. Высокая урожайность сена тимофеевки (2...3 т/га) формируется в условиях, когда за два первых месяца вегетации выпадает 80...120 мм осадков, а суммы положительных температур не превышают 600...650 °С; при этом сумма осадков за весь период вегетации должна составлять 350...400 мм. При сумме положительных температур 750...800 °С и более за этот же период урожайность тимофеевки не превышает 0,5...1,0 т/га. На каждые „лишние“ 50 °С урожайность сена тимофеевки снижается в среднем на 0,7 т/га. Наибольшая урожайность зеленой массы тимофеевки (более 20 т/га) отмечается при средней температуре воздуха 10...11 °С и ГТК 1,5...1,7; у овсяницы луговой наибольшая урожайность (более 18 т/га) формируется при средней температуре воздуха за период отрастание — колошение 9,5...10,5 °С и ГТК 1,4...1,7.

Даты проведения первого укоса тимофеевки и овсяницы луговой обычно соответствуют времени накопления суммы положительных температур выше 600 °С при подсчете от даты устойчивого перехода температуры воздуха через 5 °С. Клевер в смеси с тимофеевкой и овсяницей луговой дает более равномерную по годам урожайность, превышающую на 1,0...2,0 т/га урожайность чистого клевера.

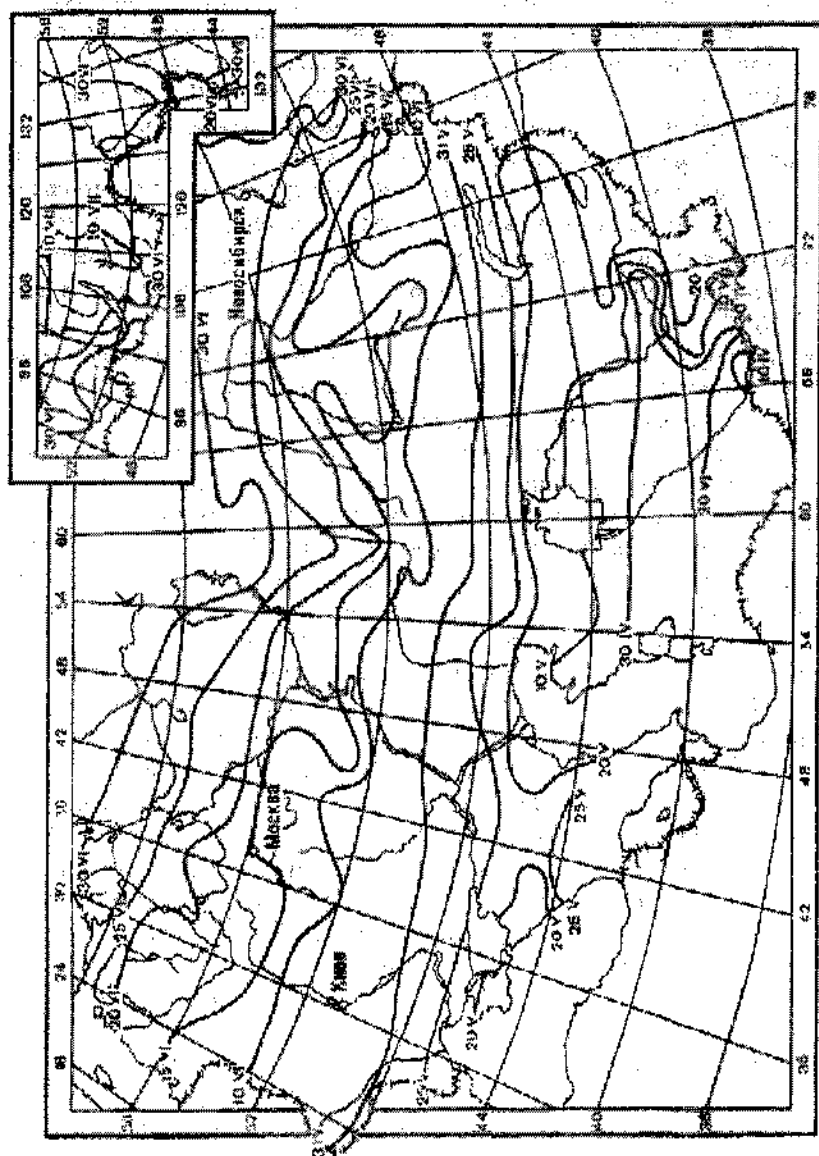


Рис. 4.33. Средние многолетние даты цветения сеяных злаковых трав (по Н. В. Гулиной, 1982)

Таблица 4.6

Некоторые биологические характеристики сеяных однолетних трав (по Н. В. Гулиновой, 1982)

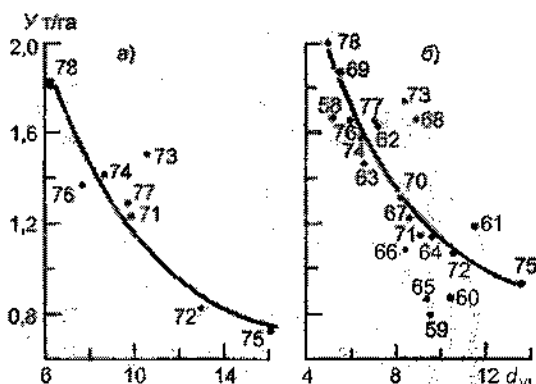
Культура	Вид стеблей, длина в см	Отношение культуры		Температура прорастания семян, °C	Заморозки, которые выдерживают всходы, °C
		к влаге	к теплу		
Бобы кормовые	50...200	Влаголюбива	Холодостойка	3...4	-4...-5
Вика яровая	Полегающие	"	"	2...3	-6...-8
Вика мохнатая (озимая)	100...130	Засухоустойчива	Малотребовательна	1...2	Заморозкоустойчива
Горох посевной	Полегающие	Влаголюбива	Холодостойка	1...2	-5...-6
Люпин желтый	50...80	"	Теплолюбива	4...5	-2...-3
Лобия	Вьющиеся, 200...300	Малотребовательна	"	14...15	—
Нут	30...60	Засухоустойчива	"	3...4	-6...-8
Соя	25...150	Влаголюбива	"	10	-2
Чина	25...100	Засухоустойчива	Малотребовательна	2...3	-6...-8
Овес	50...100	Влаголюбива	Нетребовательна	1...2	-4
Просо африканское	200	Засухоустойчива	Теплолюбива	14...15	0...-1
Ячмень	130	"	Нетребовательна	1	-5...-6
Суданская трава	90...300	"	Теплолюбива	8...10	0...-1
Райграс однолетний	60...100	Влаголюбива	Малотребовательна	2...4	—

Рис. 4.34. Зависимость урожайности сена однолетних сеяных трав от среднего дефицита влажности воздуха в июне (d_{VI}) (по Н. В. Гулиной, 1982)

а — Поволжский район; б — Пензенская область

Однолетние травы

дают дополнительный зеленый корм летом и осенью в период между укосами на посевах многолетних трав. Из однолетних трав получают высококачественное сено, силос и травяную муку. Урожайность сена однолетних трав (рис. 4.34) зависит в основном от условий влагообеспеченности посевов, выраженной через средний дефицит влажности воздуха в июне (цифры на рисунке — годы). Некоторые биологические характеристики однолетних сеяных трав приведены в табл. 4.6.



4.8. Естественные пастбища и сенокосы

Естественная пастбищная и сенокосная растительность на территории Российской Федерации и сопредельных стран произрастает от зоны тундры на севере до зоны пустынь на юге, а в горных районах — от пустынно-степного пояса (низкие предгорья) до альпийских лугов в высокогорье. В различных почвенно-климатических (природных) зонах и высотных поясах этой огромной территории естественные кормовые угодья распределены неравномерно. Краткая агроклиматическая характеристика природных зон представлена в табл. 4.7.

Уровень продуктивности пастбищной и сенокосной растительности зависит от количества тепла и влаги, их соотношения или степени соразмерности.

Пастбища в *зоне тундры и лесотундры* занимают около 340 млн. га, практически всю территорию зоны. В этой зоне период со средней суточной температурой воздуха выше 5°C составляет на западе 120...130 дней, на востоке — 90...100 дней. Для этой территории характерна общая тенденция понижения увлажненности от западных районов к восточным: годовая сумма осадков на западе составляет 400...500 мм, на востоке — 150...300 мм. Осадки выпадают в основном в теплый период года. Благодаря незначительной испаряемости территория тундры и лесотундры относится к зоне избыточного увлажнения, но из-за низкой температуры почвы в течение короткого вегетационного периода ограничено использова-

Таблица 4.7

Агроклиматическая характеристика основных почвенно-климатических зон территории бывшего СССР
(по Ю. И. Чиркову, Б. И. Огородникову, 1974; Д. И. Пашко, 1985)

Природная зона	Число дней со средней суточной температурой $T > 0^\circ\text{C}$	Сумма ФАР за период с $T \geq 5^\circ\text{C}$, МДж/м ²	Сумма активных температур воздуха, $^\circ\text{C}$	Средняя суточная температура воздуха за июль, $^\circ\text{C}$	Сумма осадков за год, мм	Испаряемость, мм/год
Тундра и лесотундра	120...165	754...905	0...800	0...15	200...500	240...360
Лесная	138...248	1030...1550	900...2550	14,0...21,0	250...650	300...550
Лесостепная	164...248	1257...1676	1300...2850	16,8...21,0	300...600	350...705
Степная	192...275	1592...2011	2200...3500	19,7...24,0	250...550	550...765
Полупустынная	203...229	1760...1886	2600...3400	21,5...25,0	175...250	650...850
Пустынная	238...326	1900...2300	3200...5400	22,5...31,0	75...200	800...1350

ние влаги растительным покровом. С этим главным образом связана относительно невысокая урожайность пастбищной растительности (сухая масса) — 0,05...2,0 т/га.

В *лесной зоне* сенокосы и пастбища занимают всего 4 % площади зоны, в основном это пойменные луга. Годовое количество осадков в этой зоне примерно соответствует испаряемости, что создает оптимальные условия для формирования урожайности сенокосно-пастбищной растительности. Средняя урожайность трав (сена) обычных лугов составляет 0,7...1,0 т/га, временно избыточно увлажненных суходолов — 1,2...1,5 т/га и низинных лугов — 1,5...2,0 т/га. Пастбищное использование этих угодий — с весны до глубокой осени (130...140 дней).

В *лесостепной зоне* испаряемость превышает годовую сумму осадков. Сенокосы и пастбища занимают около 15 % ее площади, средняя урожайность сенокосов варьирует в зависимости от рельефа от 0,6...0,8 до 2,0...2,5 т/га, пастбищ — 15...20 т/га зеленой массы. Максимум урожайности злаково-разнотравных травостоев приходится обычно на конец июля, что совпадает с наиболее высокими температурами воздуха. Основное влияние на формирование урожайности трав оказывают осадки апреля—июня и средний дефицит влажности воздуха за май. Чем больше дефицит влажности воздуха, тем ниже урожайность трав. Пастбищный период длится 150...200 дней.

В *степной зоне* до 40 % занимают сенокосы и пастбища. Зона характеризуется значительным сокращением годового количества осадков, повышением температуры и общей засушливости климата. Максимум накопления растительной массы наблюдается в конце июня, в июле. В условиях повышения засушливости климата все большая роль в формировании урожайности трав принадлежит атмосферным осадкам осенне-зимнего периода. Валовой урожай растительной массы в этой зоне определяется количеством осадков, выпавших за период с октября предшествующего года по июнь текущего. Сенокосы дают до 10 т/га сена, а пастбища — 0,2...2,5 т/га зеленой массы. Пастбищный период составляет 180...200 дней.

В *полупустынной зоне* рассматриваемой территории на долю пастбищ и сенокосов приходится почти 70 % площади зоны. Засушливость и континентальность климата являются главными чертами зоны — велико несоответствие между количеством тепла и влаги. Возрастает доля позднеосенних и зимних осадков, соответственно снижается их количество в теплое время года. Основным фактором формирования урожая трав является количество осадков зимне-весенне-летнего периода. Максимум урожайности приходится на июнь. Урожайность трав (сена) — около 0,4 т/га. Пастбищный период длится 220...270 дней.

В *пустынной* зоне пастбища занимают практически всю территорию — более 170 млн. га (не считая орошаемых площадей). В этой зоне диспропорция между количеством тепла и осадков достигает наибольших значений. При общем незначительном количестве осадков большую роль играет их неравномерное распределение по сезонам: максимум приходится на весну (февраль—апрель), лето сухое и знойное. Урожайность сухой растительной массы (1,0...4,0 ц/га) в основном определяется запасами почвенной влаги, сформировавшейся в корнеобитаемых горизонтах почвы за позднесенний и зимне-весенний периоды. На урожайность влияют также температурные условия холодного полугодия, поскольку они определяют расход влаги на испарение. В теплые осенне-зимние месяцы значительная часть выпавших осадков непродуктивно (для растений) расходуется на испарение с поверхности почвы. В условиях холодных месяцев испарение влаги незначительно. Пастбища используются крутослужочно.

В *горных районах* агроклиматические условия чрезвычайно разнообразны и определяются многими факторами: расположением хребтов по отношению к основным влагонесущим потокам, высотой над уровнем моря, экспозицией склонов, местными особенностями горно-долинной циркуляции атмосферы, микроклиматическими условиями (см. раздел 5.6) и т. п. Особенностью природы гор является их *вертикальная зональность*, или *поясность*. В горах различают следующие пояса (снизу вверх): *предгорная пустыня* (низкие предгорья), *степной пояс*, *лугово-степной*, *лесной (субальпийский)*, *альпийский (высокогорный)* и *гляциальный (ледниковый)*. В самом высоком поясе, как правило, растительный покров практически не развивается из-за отсутствия почвенного покрова на скальных породах, преобладания отрицательных температур воздуха и высокой солнечной радиации.

Годовая сумма осадков варьирует от 250...400 мм в предгорьях до 1000...1300 мм (и более) в субальпийском (или среднегорном) поясе. В альпийском, высокогорном, поясе количество осадков снижается до 300...800 мм. Разность между количеством осадков, выпадающих на наветренных и подветренных склонах, может в среднем достигать 50...80 %. Например, в горной системе Тянь-Шань годовое количество осадков варьирует от 200...300 до 1500...2000 мм.

Сумма температур воздуха выше 10 °C изменяется в горах от 3000...4000 °C в низких предгорьях до 500...1000 °C в высокогорье.

Урожайность растительной массы в горных районах зависит в основном от условий увлажнения за счет весенне-летних осадков и температурного режима в этот период. Оптимальные условия для формирования урожайности горной сенокосно-пастбищной растительности складываются в лесном (субальпийском) поясе, где сораз-

мерность тепла и влаги около 1. Урожайность трав (сена) варьирует в зависимости от видового состава травостоя и агрометеорологических условий года; она составляет 1,0...1,6 т/га.

В альпийском поясе за счет увеличения высоты над уровнем моря тепло- и влагообеспеченность растений снижается, резко увеличивается солнечная радиация в летний период (по сравнению с более низкими поясами), сокращается продолжительность вегетационного периода. Весь этот комплекс условий определяет формирование низкорослого растительного покрова с небольшой урожайностью (0,3...0,6 т/га).

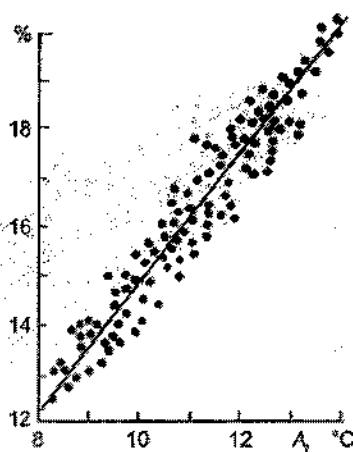
Ниже субальпийского пояса теплообеспеченность растений возрастает, но уменьшается количество осадков, что также определяет формирование более низкой, чем в субальпийском поясе, урожайности растительной массы (0,5...0,8 т/га).

4.9. Влияние агрометеорологических условий на качество урожая сельскохозяйственных культур

Под качеством урожая обычно понимают совокупность определенных свойств сельскохозяйственной продукции, удовлетворяющих конкретные запросы и требования ее потребителей. Условия погоды каждого текущего вегетационного периода (а иногда и предшествующего года) оказывают влияние не только на значение урожайности сельскохозяйственных культур, но и на качество продукции. Качество — это комплекс качественных и количественных показателей, которые определяются с помощью аналитических и органолептических (т. е. с помощью органов чувств) методов. Например, количественное содержание в единице продукции белка, сахара, крахмала, жира, клейковины определяется аналитическими методами, а такие качества продукции, как цвет, запах (аромат), форма и т. п., — органолептическими методами.

Накопление питательных веществ в сельскохозяйственных культурах находится в тесной зависимости от почвенно-климатических условий, агрометеорологических условий конкретного года, от сортовых особенностей культур и уровня применяемой агротехники. Исследованиями Н. И. Шаровой установлено, что климат влияет на содержание белка в зерне пшеницы больше, чем агротехника, в 5 раз и внесение удобрений в 3 раза. Условия для образования белковых веществ высокого качества создаются при высокой температуре воздуха днем, ее большой суточной амплитуде, значительной сухости воздуха и почвы, а умеренно мягкий и теплый климат и хорошая обеспеченность растений влагой благоприятны для образования в растениях сахаров, жира, масла, крахмала. Поэтому в районах с континентальным

Рис. 4.35. Зависимость содержания белка в зерне яровой пшеницы (%) от суточной амплитуды температуры воздуха A , за вегетационный период на европейской части территории России, в Западной и Восточной Сибири и в Казахстане (по З. А. Мищенко, 1962)



засушливым климатом, где почвы богаты азотом и суточная амплитуда температуры воздуха достаточно велика, в растениях накапливается большое количество белка — 15 % и более. В северных и западных районах России в зерне озимой пшеницы содержится в среднем около 10 % белка. Зависимость содержания белка в зерне яровой пшеницы от суточной амплитуды температуры воздуха за вегетационный период на европейской части России, в Сибири и в азиатских странах СНГ, по данным З. А. Мищенко, показана на рис. 4.35. С увеличением средней суточной амплитуды температуры воздуха повышается содержание белка в зерне яровой и озимой пшеницы.

Опытами академика Д. Н. Прянишникова, проведенными еще в конце XIX в., установлена обратная зависимость накопления белка в зерне пшеницы от влажности в течение периода вегетации:

Влажность почвы, % НВ	40	50	60	70
Содержание белка в зерне, %	17,2	15,5	14,3	10,3

Исследования В. Н. Страшного показали также, что с уменьшением весенних запасов влаги в метровом слое почвы содержание белка в зерне озимой пшеницы возрастает (рис. 4.36). С ростом влажности почвы в зерне озимой ржи, кукурузы, ячменя и овса содержание белка снижается. Например, в северо-западных районах бывшего СССР, где лето прохладное и влажное, зерно ячменя отличается низким содержанием белка и успешно используется для приготовления пива; в юго-восточных районах в зерне накапливается 10...12 % белка, и оно используется в продуктах питания человека и кормах животных. В то же время при плохой влагообеспеченности растений из-за почвенной или воздушной засухи качество зерна может ухудшиться вследствие ограниченного, а иногда и полного прекращения поступления пластических веществ в зерно и снижения интенсивности синтеза белка хлоропластами. Напомним, что *хлоропластами* называются зеленые тельца в растительной клетке, осуществляющие фотосинтез.

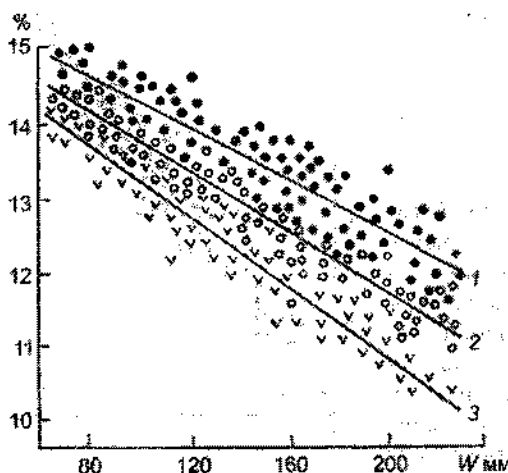


Рис. 4.26. Зависимость содержания белка в зерне озимой пшеницы (%) от запасов продуктивной влаги W в метровом слое почвы на дату устойчивого перехода температуры воздуха весной через 10°C (по В. Н. Страшному, 1978)

Предшественники: 1 — чистый пар; 2 — занятый пар; 3 — непаровое поле

Содержание сахара в корнях сахарной свеклы, изменяющееся от 14 до 22 %, зависит в основном от количества фотосинтетически активной радиации, попадающей в растение.

ние, условий влагообеспеченности посевов и применяемой агротехники. О. М. Контрощиковой было установлено, что с увеличением числа солнечных дней и уменьшением запасов влаги в почве сахаристость свеклы возрастает. Неблагоприятны для накопления сахаров высокие запасы продуктивной влаги (более 170 мм) в метровом слое почвы и количество прямой солнечной радиации в период интенсивного сахаронакопления менее 419 кДж/м^2 .

На европейской части России, по данным В. Д. Ерохина, крахмалистость картофеля увеличивается с повышением температуры в период клубнеобразования следующим образом:

Средняя температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	14	16	18	20
Средняя крахмалистость картофеля, % ...	13,4	15,5	17,8	19,6

Если в период клубнеобразования картофеля наблюдается прохладная погода с обильными осадками, то количество крахмала может снизиться до 10 %. Картофель, выращенный в условиях умеренно влажного и теплого климата на легких почвах, имеет наилучшие вкусовые качества. В районах избыточного увлажнения картофель имеет низкие вкусовые качества, плохо хранится в зимний период и используется преимущественно на кормовые цели.

С повышением температуры воздуха в условиях хорошей влагообеспеченности возрастает содержание жира в семенах масличных культур. Исследования Ю. С. Мельника показали, что масличность семян подсолнечника увеличивается с ростом температуры воздуха и улучшением условий влагообеспеченности посевов после фазы образования соцветий у растений.

Агрометеорологические условия влияют и на качество винограда. Столовые вина, по данным Ф. Ф. Давитая, приготавливают из

винограда, выращенного в районах, где сумма активных температур составляет 2800...3600 °С, а количество осадков за месяц, предшествующий сбору винограда, не превышает 170 мм. Десертные, крепкие и сладкие вина получают из винограда в тех районах, где сумма активных температур превышает 3600 °С, а сумма осадков за месяц перед сбором ягод — меньше 100 мм.

Известно, что в холодное и дождливое лето в средней полосе России плоды яблонь имеют слабую окраску и невысокие вкусовые качества. В жаркую и сухую погоду плоды имеют высокие вкусовые качества, характерную для каждого сорта окраску, в них накапливается больше сахара, ароматических веществ и меньше кислот.

Таким образом, на этих примерах показано влияние климата и агрометеорологических условий конкретного года на качество выращиваемой сельскохозяйственной продукции. Количественные показатели влияния агрометеорологических условий на качество продукции помогают рационально районировать размещение сельскохозяйственных культур, сортов и их гибридов, оценивать складывающиеся агрометеорологические условия и прогнозировать качество выращиваемой сельскохозяйственной продукции.

4.10. Влияние метеорологических условий на развитие и распространение вредителей и болезней сельскохозяйственных культур и животных

Вредители сельскохозяйственных культур — это животные, повреждающие культурные растения и/или вызывающие их гибель. Из позвоночных животных к ним относятся в первую очередь грызуны (полевые мыши, кроты, полевки, суслики и др.). Из беспозвоночных животных наибольший ущерб урожаю наносят представители класса насекомых, что объясняется, прежде всего, их биологическими особенностями: большим видовым разнообразием, высокой плодовитостью и быстротой размножения (колорадский жук, озимая и хлопковая совка, луговой мотылек, хлебная или вредная черепашка и др.). К беспозвоночным, наносящим заметный урон урожаю, относятся также различные моллюски, круглые черви (нематоды), вызывающие болезни растений.

Распространение и формирование комплексов видов вредителей сельскохозяйственных культур в тех или иных растительных сообществах находятся в прямой зависимости от изменяющихся условий окружающей среды и экологической приспособленности видов.

Болезни сельскохозяйственных культур — это патологические процессы, протекающие в растениях под влиянием возбудителей болезней и неблагоприятных условий окружающей среды. Болезни проявляются в нарушении процессов фотосинтеза, дыхания и других функций, вызывают поражения отдельных органов или преждевременную гибель растений. Болезни растений снижают их продуктивность и ухудшают качество урожая.

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), от сельскохозяйственных вредителей и болезней ежегодно погибает до 25...30 % производимой в мире сельскохозяйственной продукции. Известны случаи, когда массовое размножение вредителей и болезней сельскохозяйственных культур и животных наносило существенный ущерб экономике целых государств, крупных регионов. Миграции саранчи, распространение колорадского жука, хлебной черепашки, массовое развитие грибковых заболеваний вызывают гибель посевов на больших площадях, а эпизоотии (массовое заболевание сельскохозяйственных животных) — падеж скота.

Циклы развития различных видов вредителей и болезней тесно связаны с климатическими условиями, а также зависят от складывающихся метеорологических (особенно микроклиматических) условий. Широко известна избирательность различных видов вредителей и болезней растительных объектов. Так, например, хлебная черепашка паразитирует на злаках, колорадский жук — на картофеле, озимая совка — на хлопчатнике; грибы — ржавчина и головня — на зерновых культурах, мильдью — на виноградной лозе и т. п.

Сложность проблемы агрометеорологической оценки и прогноза возникновения и развития вредителей и болезней растений и животных связана с их большим видовым разнообразием, многофакторной зависимостью от условий внешней среды, различной приспособляемостью вредителей и болезней к этим условиям в процессе прохождения этапов (фаз) развития. Рассмотрим эти вопросы на нескольких примерах.

Вредители-насекомые. Основную массу вредителей сельскохозяйственных культур составляют насекомые. Вред, наносимый насекомыми в отдельные годы, огромен. Это связано с их массовостью, возможностью перемещения на значительные расстояния, высокой плотностью на единице площади и быстрым заражением больших массивов сельскохозяйственных угодий. Скорость размножения отдельных видов колеблется в широких пределах; она связана с комплексом агрометеорологических условий и объемом проводимых агротехнических мероприятий по борьбе с вредителями.

Для каждого вида насекомых, так же как и для растений, существуют оптимальные, максимальные и минимальные значения температуры и влажности воздуха и почвы, условий освещенности, определяющие условия их существования и размножения. Заметное влияние на жизнедеятельность насекомых оказывает общий характер погоды. Например, умеренно холодные зимы с устойчивым и высоким снежным покровом создают благоприятные условия для перезимовки насекомых и их личинок, в то время как зимы с сильными морозами и малым снежным покровом способствуют их массовой гибели. Гибель зимующих насекомых отмечается и в зимы с резкими колебаниями температуры воздуха, частым чередованием оттепелей и сильных морозов.

Клоп — вредная черепашка, высасывающий клеточный сок из молодых побегов зерновых культур, вызывает увядание растений и замедление их роста, снижение урожайности и качества зерна. Взрослые клопы приспособлены к зимовке в лесной подстилке, укрытой снежным покровом не менее 10 см. Они могут переживать снижение температуры на глубине 2...3 см до $-5...-7^{\circ}\text{C}$. При температуре -10°C их смертность достигает уже 70...90 %. В теплые зимы с температурой под лесной подстилкой около 0°C и при высоком снежном покрове происходит массовое поражение зимующих особей этого вредителя болезнями. На рис. 4.37 представлены агроклиматические зоны распространения численности вредной черепашки.

Активная жизнедеятельность и размножение большинства насекомых наблюдаются при температуре воздуха от 10 до 40°C . Переход температур за эти пределы обычно способствует понижению их активности, оцепенению и нередко гибели. Некоторые насекомые весьма устойчивы к холоду и способны переносить отрицательные температуры в течение длительного зимнего периода при условии постепенного снижения температуры. Например, гусеницы *озимой совки* переносят понижение температуры воздуха до $-8...-11^{\circ}\text{C}$, а гусеницы *лугового мотылька* — до -30°C .

Температура воздуха определяет скорость развития насекомых, что подтверждается такими примерами: период от стадии личинки до взрослой *саранчи* при температуре $22...27^{\circ}\text{C}$ составляет 52 дня, а при температуре $32...39^{\circ}\text{C}$ — всего 20 дней. Отмечена тесная зависимость плодовитости насекомых от температуры воздуха. Так, озимая совка в северных районах нечерноземной зоны развивается в одном поколении, повреждая всходы озимых хлебов. В средней полосе России (Тула, Рязань, Казань) в течение года развиваются два поколения этого вредителя. Гусеницы весеннего (первого) поколения повреждают сахарную свеклу, подсолнечник, кукурузу, бахчевые культуры, а гусеницы второго поколения вредят озимым посе-

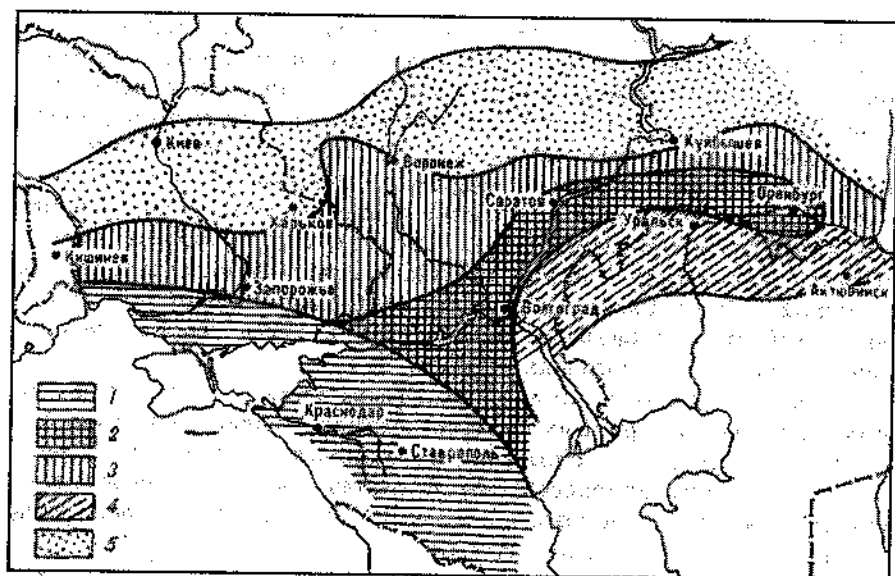


Рис. 4.37. Зоны динамики численности вредной черепашки (по Л. А. Макаровой, Г. М. Дорониной, 1983)

1 — постоянно высокая численность; 2 — периодическое массовое развитие; 3 — частые подъемы численности; 4 — периодические подъемы численности; 5 — неустойчивая численность

вам. В Закавказье и республиках Азии в условиях жаркого климата успевает вырасти три поколения озимой совки.

Вредитель посевов льна *совка-гамма* широко распространена в европейской части территории России. В северных районах страны развивается одно поколение этого вредителя, в нечерноземной зоне до границы с лесостепью — два, в степных районах — три. Размножению *хлебной жужелицы* благоприятствует влажная погода в августе—сентябре. На сельскохозяйственных полях может наблюдаться 10...40, а иногда до 200 личинок на 1 м². В сильную засуху кладка яиц задерживается, гибнет много жуков, яиц и личинок первого возраста.

К числу опасных вредителей многих овощных, пропашных сельскохозяйственных культур, многолетних трав и пастбищной растительности относится *луговой мотылек*. Гусеницы этого вредителя питаются надземными частями растений. Он теплолюбив, влаголюбив и холодостоек. Поэтому ареал его вредоносности охватывает лесостепные и степные зоны европейской и азиатской частей Российской Федерации и сопредельных стран.

Основным фактором динамики численности лугового мотылька является его плодовитость, зависящая от уровня температуры и влажности воздуха. Исследованиями Л. А. Макаровой и Г. М. Доро-

ниной (1988) установлено, что вылет бабочек перезимовавшего поколения этого вредителя начинается при прогревании воздуха до 15 °С, а массовый вылет — при температуре 17 °С и достаточной увлажненности среды ($\Gamma\text{ТК} > 0,9$). В условиях засушливой зоны ($\Gamma\text{ТК} < 0,6$) бабочки перезимовавшего поколения появляются позже устойчивого перехода температуры воздуха через 17 °С на 10...15 дней и более.

Наибольшее накопление жировых резервов у гусениц, от запасов которых зависит будущая плодовитость самок, наблюдается при температуре воздуха 19...22 °С. Активность питания гусениц уменьшается в условиях, когда температура в травостое поднимается днем до 30...35 °С, что неизбежно приводит к снижению плодовитости мотылька и его последующей численности. Оптимальными условиями для плодовитости мотылька является температура воздуха 20...25 °С и $\Gamma\text{ТК} > 0,9$, когда каждая самка откладывает в среднем 150...250 яиц. В менее благоприятных условиях сокращается число самок, откладывающих яйца. При температуре 15 °С яйца лугового мотылька развиваются за 10 дней, при температуре 22 °С — за 4 дня, при 28...30 °С — всего за 2 дня. В более прохладных и засушливых условиях период созревания яиц затягивается на 15...20 дней, а плодовитость самок снижается до 50 яиц на одну самку.

Недостаток тепла задерживает или прекращает развитие насекомых. Например, гусеницы лугового мотылька при температуре ниже 15 °С не превращаются в куколку. Лёт *малиновой мухи* из-за холодной дождливой погоды задерживается на 15...20 дней, причем значительная часть мух гибнет.

Вступление в каждую новую фазу развития различных насекомых происходит при накоплении определенных сумм эффективных температур. Так, отрождение личинки *яблоневой запятовидной щитовки* происходит при сумме эффективных температур (выше 8 °С) 130 °С. Развитие *капустной моли* заканчивается при сумме эффективных температур (выше 14 °С) 180 °С, *озимой совки* (выше 10 °С) — 1000 °С.

Развитие ряда насекомых связано с температурой верхних слоев почвы. Например, выход *черного (свекловичного) долгоносика* весной наблюдается при повышении температуры поверхности почвы до 7...10 °С, массовый выход вредителя — при температуре более 15 °С, выход *земляничного листоеда* — при температуре 13 °С. Окукливание личинок *яблоневых плодовых пилильщиков* происходит при температуре почвы на глубине 10 см 10 °С, *сливового черного пилильщика* — при температуре 8 °С. Выход *вишневой мухи* из почвы в степной зоне начинается при накоплении суммы эффективных температур (выше 10 °С) на глубине 5 см 190 °С, в лесостеп-

ной зоне, где почва более влажная, — при сумме эффективных температур (выше 10 °C) 225 °C.

Реакция на влажность воздуха у насекомых неодинакова: *злаковая тля* активно развивается при влажности воздуха от 40 до 100 %; *свекловичный долгоносик* погибает при высокой влажности.

Слабые ветры способствуют переносу многих видов насекомых, а также распространяют запахи цветущих растений. Очень сильные ветры неблагоприятны для перемещения насекомых и зачастую способствуют их массовой гибели. Однако воздушные потоки помогают отдельным видам насекомых перемещаться на значительные расстояния. В годы массового размножения саранчи в странах Африканского континента, Передней Азии, в Индии многомиллионные стаи этого вредителя перелетают в азиатские и европейские страны. Например, в 1945 г. крупные стаи саранчи перелетели с воздушными потоками из Западной Африки в Испанию и Португалию на расстояние 1250 км за 28 ч со средней скоростью 45 км/ч, нанеся при этом большой урон сельскохозяйственным посевам и садам. В последние годы получила развитие наука аэробология, исследующая крупные миграции насекомых, связанные с особенностями воздушной циркуляции в нижних слоях атмосферы.

К числу наиболее опасных вредителей картофеля относится *колорадский жук*. Ареал его распространения охватывает многие регионы традиционного картофелеводства в странах Европы, Азии и Америки. Жук размножается в районах с осадками 600...1500 мм/год при температурах воздуха от 16 до 26 °C. Условия вне этих пределов понижают жизнеспособность вредителя. Несильный ветер способствует миграции жука, который плохо летает без помощи ветра.

Условия погоды определяют сроки выхода перезимовавших жуков из почвы, продолжительность периодов развития его поколений (генераций), плодовитость самок, гибель особей за период активной деятельности и зимовки.

Наиболее благоприятными условиями зимовки этого вредителя является умеренно сухая почва с температурой выше -8 °C. Зимует жук в почве на глубине от 10 до 50 см на старых картофельных полях. Даже в благоприятных условиях зимой в среднем погибает до 70 % особей, в неблагоприятных — до 99%.

Установлено, что массовый выход жуков из почвы весной происходит после устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 10 °C. В различных районах ареала его обитания развивается от 1 до 3 генераций жука. Нижним порогом развития считается температура воздуха 10...12 °C. При температурах 13...14 °C полная генерация жука развивается за 70...80 дней, при темпера-

туре 25...26 °С — до 27...29 дней. Более высокие температуры воздуха угнетают его активность и развитие.

Как и у многих представителей класса насекомых, в онтогенезе колорадского жука различают фазы: взрослых жуков (имаго), яиц, личинок (четыре возраста) и куколок. *Онтогенез* — это индивидуальное развитие особи в форме последовательных морфологических, физиологических и биохимических преобразований в организме, проявляющихся в форме различных фаз и стадий развития, от момента зарождения до его естественной смерти. Зависимость продолжительности развития яиц, личинок, куколок этого вредителя и поколения в целом от температуры воздуха достаточно точно описывается уравнением типа

$$Y = at^2 - bt + c, \quad (4.1)$$

где Y — продолжительность развития (дни); t — средняя температура за период (°С).

В табл. 4.8 приведены коэффициенты этого уравнения и другие статистические характеристики для основных фаз (стадий) и всего периода развития жука.

Таблица 4.8

Статистические характеристики основных фаз и периода развития колорадского жука (по В. В. Вольвачу, 1987)

Фаза и период развития	Коэффициенты уравнения			Ошибка уравнения, число дней	Температурный предел, °С
	a	b	c		
Яйцекладка	0,109	-4,92	61,4	1,9	12...26
Личинки	0,135	-6,51	91,8	2,7	13...25
Куколки	0,188	-8,96	117,6	2,8	13...25
От яйцекладки до:					
личинки 2-го возраста	0,171	-7,68	95,3	2,4	13...25
личинки 3-го возраста	0,204	-9,09	113,3	2,7	14...25
личинки 4-го возраста	0,213	-9,77	126,6	3,1	14...25
куколки	0,470	-20,20	236,8	3,2	14...25
взрослого жука (имаго)	0,378	-18,54	253,7	4,0	14...25

Используя эти данные и температуру периода, по формуле (4.1) рассчитывают продолжительность различных фаз развития жука. Данные табл. 4.8 применимы для всей территории европейской части России и Беларуси, где распространен колорадский жук.

Размножение жуков начинается через 10...25 дней в зависимости от сроков их выхода из почвы и температурного режима. За весь период яйцекладки (2...3 месяца) самка откладывает до 1000...1500 яиц, из которых в среднем развивается 50 % личинок. За вегетационный период жук успевает дать 2...3 генерации (поколения). Таким образом, при благоприятных условиях численность жука за год может увеличиться в 20...30 раз. Из естественных врагов, способных эффективно регулировать численность колорадского жука, можно назвать лишь фазанов и песарок — птиц, встречающихся в природе только в самых южных регионах картофелеводства. При большой численности, быстрой размножения и прожорливости быстрорастущих личинок, объедающих пластинки листьев картофеля, колорадский жук способен наносить значительный урон продуктивности картофельных полей. Уничтожая надземную часть растений, личинки и жук сокращают фотосинтезирующую поверхность листьев, в результате формирования клубней картофеля замедляется, а урожайность культуры оказывается низкой.

Методики агрометеорологического прогноза ожидаемой численности этого вредителя, сроков размножения его популяций, расчета объемов и сроков химической обработки для подавления популяций колорадского жука разработаны во ВНИИСХМ (В. В. Вольвач). Эти методики эффективно используются в оперативном агрометеорологическом обеспечении картофелеводства в России и Беларуси.

Многоядные вредители. Значительный ущерб сельскохозяйственному производству наносят различные представители отряда грызунов (полевки, мыши, хомяки, суслики и т. п.). Их высокая плодовитость, быстротечность наступления стадии половозрелости (короткий жизненный цикл), инстинкт создания запасов корма на зиму, прожорливость и высокая приспособляемость к условиям существования наносят заметный урон сельскохозяйственной продукции, особенно зерновым культурам. Например, потомство одной пары *полевок* может достичь 400 особей в год. Каждая полевка съедает в день 5...7 г зерна, что в среднем составляет 1,5...2 кг в год, а каждый *суслик* съедает за лето до 8 кг зерна.

Обитают грызуны в основном в посевах, в приовражных участках, в лесополосах и других подобных местах. Большую часть жизни грызуны проводят в норах, там они и зимуют. В холодные месяцы при глубоком промерзании почвы значительная часть грызунов гибнет. Весной при возврате холодов погибает много молодняка. Все мышевидные грызуны очень чувствительны к охлаждению и намоканию. Обильные дожди в холодную осень вызывают их массовую гибель. В зимы с сильными морозами или частым чередованием оттепелей и гололедных явлений, а также в холодную затяжную весну численность грызунов резко снижается. В южных регионах лет-

ная жара и длительная засуха сдерживают их размножение. Естественными врагами большинства мышевидных грызунов являются хищные птицы, а также лисы, хорьки, ласки и другие мелкие млекопитающие-хищники.

Многие виды грызунов являются носителями таких опасных для человека инфекций, как чума, туляремия, бешенство и др. В пустынях Азии многие виды грызунов (песчанки, суслики, тушканчики и др.) опасны как переносчики чумной инфекции. В целях систематического наблюдения за перемещением возросшей численности пустынных грызунов и борьбы с ними в очагах, зараженных чумой, в теплый период года работают специализированные противочумные отряды, оснащенные транспортом, медицинским оборудованием и средствами связи. В составе таких отрядов работают зоологи и медицинские работники.

В местах с высокой численностью грызунов (на сельскохозяйственных полях, при скоплении их в пунктах хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, на животноводческих объектах и т. п.) проводят комплексные мероприятия по их истреблению и профилактике распространения.

Болезни растений. В засушливых регионах потери урожая зерновых культур связаны с развитием таких болезней, как *ржавчина*, *пыльная* и *пузырчатая головня*, *корневая гниль* и др. В районах умеренного климата, с обильными осадками преобладают болезни — *фузариозы*, *снежная плесень*, *мучнистая роса* и др.

Развитие болезней сельскохозяйственных культур определяется сложившимися погодными условиями. Влажная и теплая погода в период цветения пшеницы и ячменя способствует заражению растений и проникновению гриба *пыльной головни* в зерно. Прохладная погода весной и в первой половине лета способствует распространению заражения озимой пшеницы, ржи и ячменя *желтой ржавчиной*.

Снежная плесень поражает чаще всего озимую пшеницу и рожь, растущие в пониженных местах. Этому заболеванию способствуют медленное таяние снега, высокая влажность воздуха и температуры, близкие к 0 °С. Для развития этой болезни благоприятными условиями являются также затяжная осень и высокий снежный покров, особенно если снег выпал на талую землю (рис. 4.38).

Большие потери урожая зерновых культур и хлопчатника наблюдаются при развитии *корневой гнили* растений. Заболевание проявляется в виде побурения корней подземного междоузлия, узла кущения. Этот грибок вызывает гибель всходов, щуплость колоса и отставание в росте растений. Сильно пораженные проростки пшеницы (озимой и яровой) гибнут до выхода на поверхность почвы.

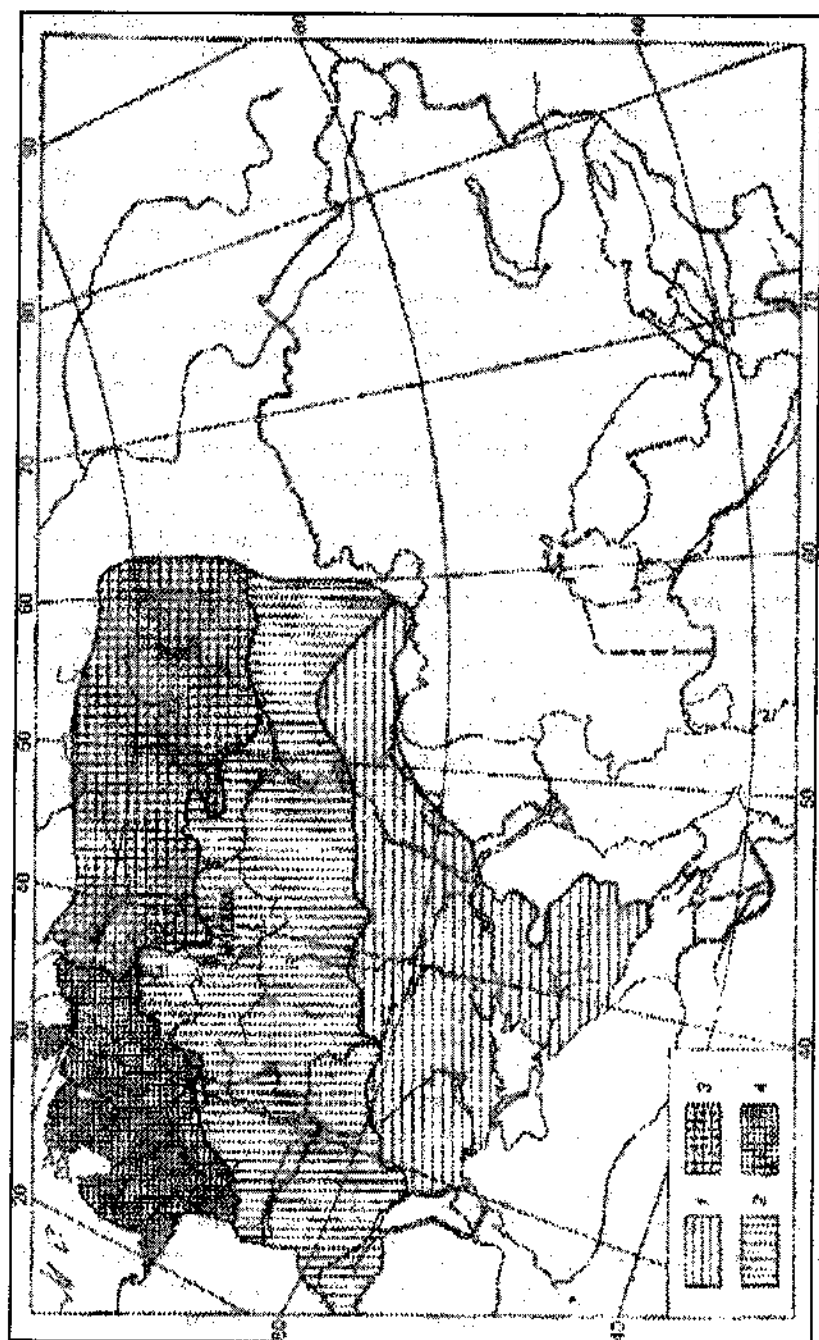


Рис. 4.38. Интенсивность поражения озимых хлебов снежной плесенью (по С. Ф. Сидоровой, 1971)

1 — слабая; 2 — умеренная; 3 — сильная; 4 — очень сильная

При заражении взрослых растений нижняя часть стебля и вторичные корни загнивают, растение не колосится или дает пустой (без зерновок) колос. Часто при этом соломина (стебель) и колос имеют светло-зеленую или почти белую окраску (белоколосность).

Вероятность развития корневой гнили яровой пшеницы представлена на рис. 4.39.

У теплолюбивых культур (хлопчатника, кукурузы и др.) болезни проростков и плесневение семян наблюдаются при низких температурах почвы сильнее, чем при высоких. У менее теплолюбивых растений (пшеницы, гороха и др.), наоборот, поражение слабее при низких температурах почвы.

Для прорастания спор *пузырчатой* головни и заражения растений достаточно незначительного количества влаги, которую получают растения во время кратковременных летних дождей и росы. Поражение растений этой болезнью резко возрастает при загущенных посевах и поздних сроках посевов, а также при внесении избыточного количества азотных удобрений.

Наиболее распространенной болезнью початков кукурузы является *фузариоз*. Проявляется он в годы с повышенной влажностью, в период от конца фазы молочной спелости до начала восковой спелости зерна. Семена пораженных початков имеют невысокую всхожесть; мукомольные и хлебопекарные качества зерна теряются. Развитию этого заболевания способствует предшествующее повреждение початков гусеницами *кукурузного* мотылька и болезнью, называемой *бель початков кукурузы*. Эта болезнь возникает в начале налива зерна при засушливой погоде, быстро сменяющейся дождями. В результате на зерновках образуются трещины с выступающим эндоспермом, что связано с разной скоростью разрастания эндосперма и оболочки. В такие трещины и попадают споры фузариоза.

Весьма распространенной болезнью группы пасленовых продовольственных культур (картофеля, томатов, баклажанов, перца и др.) является *фитофтора* (или *фитофтороз*), которая вызывается грибом, повреждающим надземные части растения, плоды и клубни. Эта болезнь передается через посадочный материал и путем заражения надземных и подземных органов растений спорами гриба. Фитофтороз развивается при температуре от 10 до 30 °C и относительной влажности воздуха более 70 %. Оптимальные условия его развития — температура воздуха 10...25 °C и относительная влажность воздуха 95...100 %. Появлению этой болезни благоприятствует облачная с небольшими осадками погода в сочетании с высокой ночной температурой воздуха (не ниже 10 °C). На загущенных посадках картофеля, в которых относительная влажность воздуха выше, а естественный воздухообмен (продуваемость) посадок за-

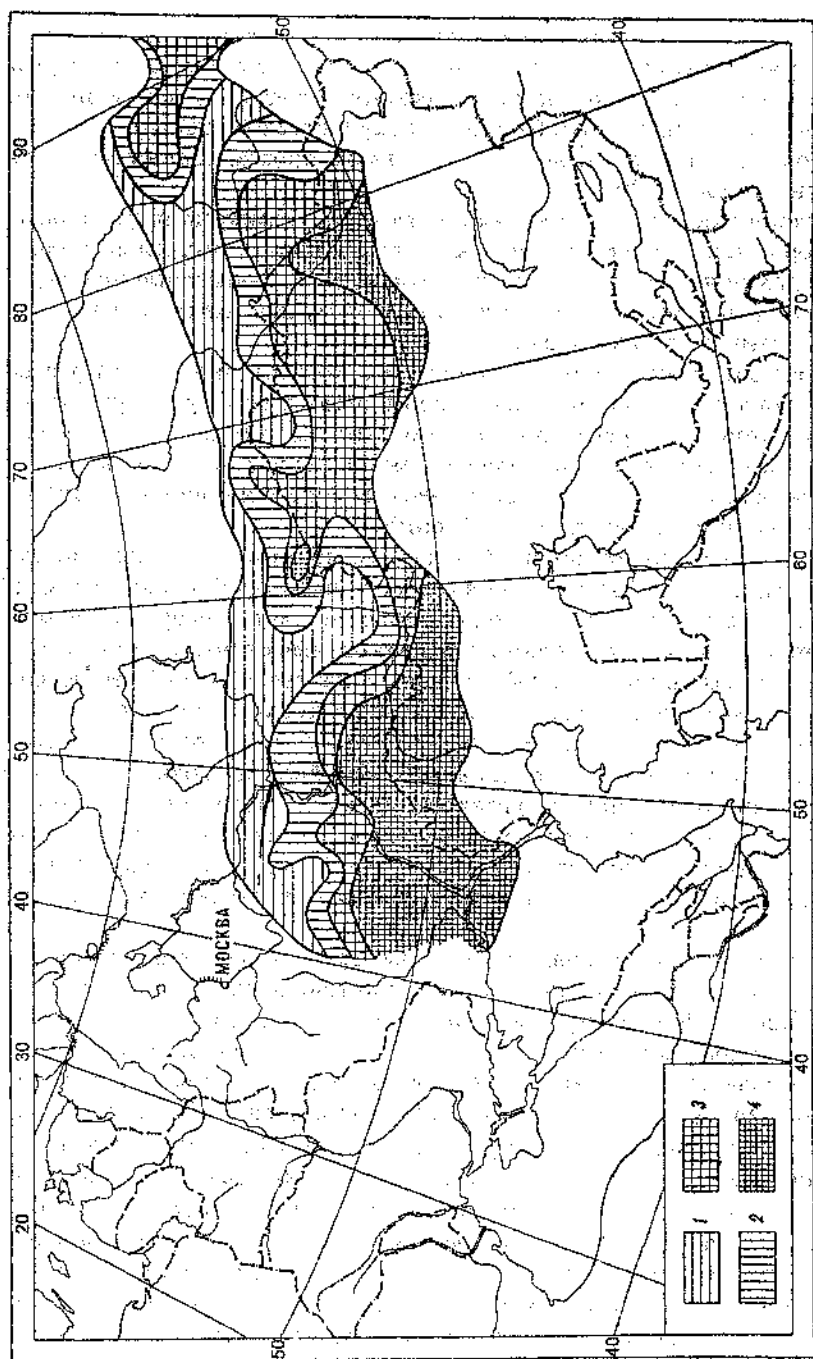


Рис. 4.39. Вероятность развития корневой гнили яровой пшеницы (по Л. А. Макаровой, И. И. Минкевичу, 1977)

1 — 20...30 %; 2 — 40...50 %; 3 — 60...80 %; 4 — более 80 %

труднен плотностью ботвы культуры, вероятность развития фитофторы значительная. Вероятность эпифитотий (вспышек) фитофтороза картофеля представлена на рис. 4.40.

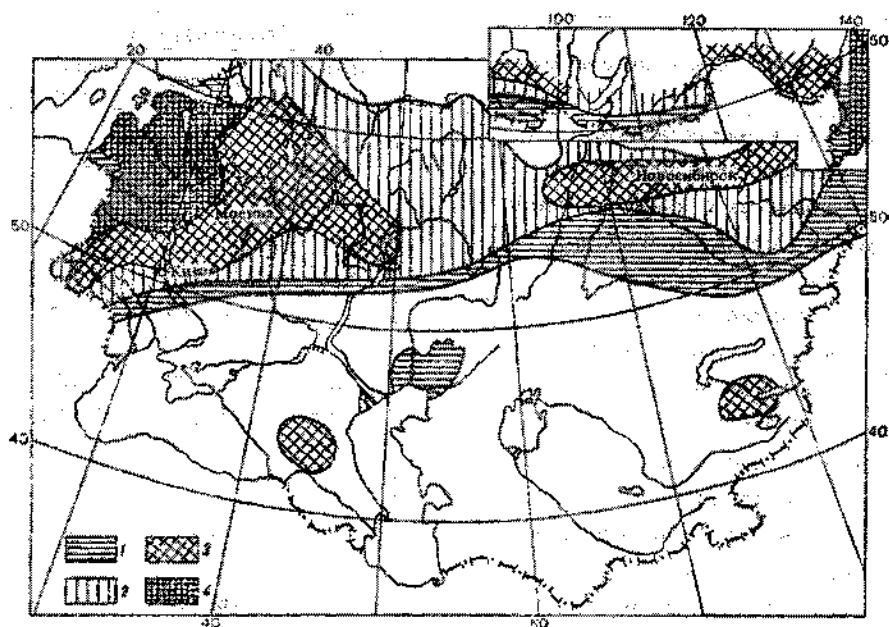


Рис. 4.40. Вероятность эпифитотий (вспышек) фитофтороза картофеля (по Л. А. Макаровой, И. И. Минкевичу, 1977)

1 — менее 10 %; 2 — 25 %; 3 — 50 %; 4 — более 75 %

Условия перезимовки вредителей (в стадии личинок, спор) в значительной мере определяют уровень их возможного развития в последующий вегетационный период. Степень холодостойкости личинок и спор различна (от 0 °C до -18 °C). Однако в большинстве случаев они выдерживают лишь кратковременное охлаждение. В дальнейшем вероятность развития личинок и спор зависит от того, насколько складывающиеся погодные условия соответствуют их биологическим потребностям и возможностям расселения. В табл. 4.9 представлены температурные значения развития некоторых возбудителей болезней сельскохозяйственных растений.

Интенсивность распространения вредителей и болезней сельскохозяйственных культур зависит от сложившихся метеорологических условий, биологических особенностей растений, вредителей и возбудителей болезней, а также от методов борьбы. Эффектив-

Таблица 4.9

Температурные показатели развития
некоторых возбудителей болезней сельскохозяйственных культур
(по Л. А. Макаровой, И. И. Минкевичу, 1977)

Возбудитель болезни, стадия развития	Температура, °C		
	нижний предел	оптимум	верхний предел
Бурая ржавчина пшеницы			
прорастание спор	2	20	32
развитие в тканях растений	2	25	35
Пыльная головня пшеницы			
прорастание спор	4...6	22...30	—
развитие спор	5	16...18	25...30
Фузариоз колоса пшеницы			
развитие спор	7...10	25...30	37...38
спороношение	< 10	24...26	До 40
Мильдю винограда			
прорастание спор	—	10...15	—
развитие в тканях растений	8	25	33
Фитофтороз картофеля			
прорастание спор	6...8	10...15	20
образование ростковых трубочек	4	25	30

ность мероприятий по борьбе с вредителями и болезнями растений определяется своевременностью принятия хозяйственных решений, экологически грамотным использованием ядохимикатов по подавлению популяций вредителей и очагов возникновения болезней (выбор пестицидов и гербицидов, сроки и нормы их внесения). Значительную помощь в этом могут оказать оперативные агрометеорологические прогнозы сроков развития и распространения вредителей и болезней, основанные на комплексных знаниях биологии и экологии названных объектов.

Насекомые, паразитирующие на сельскохозяйственных животных. Болезни животных. Сельскохозяйственные животные, круглый год пасущиеся на естественных пастбищах под открытым небом в тундре, в пустынях, в горах, находятся во власти условий среды обитания. В первую очередь они зависят от климатических условий природной зоны, особенностей сезона, погодных условий конкретного дня и местообитания. Интенсивность освещения, температура и влажность воздуха, характер выпадения и количество

осадков, скорость и повторяемость ветров — все эти факторы и их сочетания оказывают решающее влияние на процессы жизнедеятельности животных и проведение хозяйственных мероприятий в животноводстве.

Продуктивность сельскохозяйственных животных, выращиваемых в различных почвенно-климатических зонах, имеет тенденцию к сокращению (мясо, молоко, шерсть и т. п. в расчете на одну условную голову) от более холодных к более жарким регионам.

В теплый период года выпасающиеся олени попадают под активное влияние различных кровососущих паразитирующих насекомых. К *двукрылым кровососущим насекомым* относятся *оводы, слепни, гнус, комары, мошки, мокрецы*. Кроме них, большое беспокойство животным доставляют различные виды *клещей, кожедоев, пухоедов* и других паразитов. Так, *подкожный овод*, широко распространенный в зоне тундры и лесотундры, является опасным вредителем для северного оленя. Самки овода, наиболее активные при температуре воздуха 17...27 °C, откладывают свои личинки под кожу животного. Растущая личинка, питаясь покровными тканями оленя, вызывает зуд, животное испытывает мучения, прекращает выпас, теряет массу, слабеет, а качество шкуры значительно снижается из-за обилия незарастающих отверстий.

В теплые маловетренные дни обилие кровососущих насекомых сильно угнетает северных оленей. Они пытаются спастись от них движением, вместо выпаса кружатся на одном месте до 10...15 ч в сутки или разбегаются в поисках более прохладных и ветреных участков (например, ложатся на сохранившиеся местами снежки), быстро худеют, слабеют и подвергаются еще более энергичному нападению кровососов.

Начало лета *комаров* и крупных *двукрылых насекомых* хорошо коррелирует с датой устойчивого перехода средней суточной температуры весной через 5 °C (табл. 4.10). Количественные связи имеют вид:

для расчета начала лета *комаров* —

$$y = 1,34x - 6 \quad (4.2)$$

$$(r = 0,75 \pm 0,05; S_y = \pm 9 \text{ дней}),$$

к началу лета *оводов и слепней* —

$$y = 0,85x + 32 \quad (4.3)$$

$$(r = 0,70 \pm 0,06; S_y = \pm 6 \text{ дней}).$$

Таблица 4.10

Даты перехода средней суточной температуры воздуха весной через 5 °С и даты начала лёта кровососущих насекомых (по Н. И. Хлыновской, 1982)

Дата перехода температуры воздуха через 5 °С весной	Дата начала лёта	
	комаров	оводов, слепней
25 мая	28 мая	25 июня
5 июня	11 июня	2 июля
15 июня	25 июня	11 июля
25 июня	9 июля	19 июля
5 июля	21 июля	28 июля
15 июля	—	5 августа

Заблаговременный расчет дат появления двукрылых кровососущих насекомых позволяет оленеводам своевременно провести подготовку к мероприятиям по специальной обработке животных ядохимикатами.

Личинки *носоглоточного овода* у северного оленя вызывают воспаление носовой полости. Массовый лёт носоглоточного овода отмечается при температуре воздуха 14...27 °С. Пораженные животные прекращают выпас, худеют, пытаются спастись бегством, травмируют копыта. Хозяйственная доходность стада снижается на 25...30 %.

С условиями погоды тесно связано возникновение и развитие инфекционных заболеваний животных. Одной из самых распространенных инфекционных болезней домашних оленей является *некробактериоз* или *копытка*. Ее возбудитель поражает животных с травмированными копытами в теплые месяцы года (июль, август), когда дневная температура воздуха составляет 20 °С и выше, а выпас проводится в переувлажненных, заболоченных местах.

Большое беспокойство копытным животным доставляют такие кровососущие насекомые, как *комары*, *мошки*, *мокрецы*. Их массовый лёт отмечается в течение 35...80 дней теплого периода при температуре воздуха 7...20 °С. Установлено, что за сутки эти насекомые высасывают из оленя до 150 г крови.

В годы со средней температурой воздуха в июле 11...12 °С исключается необходимость перегона оленей в более прохладные районы — обычно это побережье Северного Ледовитого океана. Там преобладают более прохладная температура воздуха и постоянный ветер (более 2...3 м/с), обеспечивающие лучшие условия для выпаса животных благодаря меньшему количеству кровососущих насекомых и обилию подножного корма.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Перечислите основные зерновые культуры. Расскажите об их общих биологических особенностях. Каковы требования зерновых культур к условиям теплообеспеченности и влагообеспеченности в различные периоды их развития?
2. Какие периоды роста и развития растений называют критическими по отношению к влаге? Приведите примеры.
3. Объясните термины: „подгон“, „истекание зерна“; при каких агрометеорологических условиях возникают эти явления? Что такое кормовая единица? Где применяется этот показатель?
4. Приведите общую биологическую характеристику группы зернобобовых культур. Каковы требования этих культур к агрометеорологическим условиям в различные периоды развития растений?
5. Перечислите сельскохозяйственные культуры, объединенные в группы прядильных и масличных растений.
6. Расскажите об основных биологических особенностях прядильных и масличных культур. Опишите требования этих культур к условиям теплообеспеченности и влагообеспеченности в период их вегетации.
7. В чем состоят биологические различия между группами сельскохозяйственных культур: корнеплодами и клубнеплодами? Каковы требования этих культур к агрометеорологическим условиям в различные периоды развития растений?
8. Какие сельскохозяйственные растения объединены в группы овощных и бахчевых культур? В чем заключаются особенности выращивания их в северных и южных регионах? С чем связано явление летнего вырождения картофеля в южных районах?
9. Каковы требования овощных и бахчевых культур к агрометеорологическим условиям в различные периоды развития?
10. На какие группы подразделяются плодовые и ягодные культуры? Расскажите о биологических особенностях основных представителей этих групп растений. Каковы требования к агрометеорологическим условиям при их возделывании?
11. Перечислите основных представителей группы многолетних и однолетних сеяных трав. В чем заключаются их главные биологические особенности? Расскажите о потребности сеяных трав в агрометеорологических условиях в различные периоды их развития.
12. Назовите основные почвенно-климатические зоны (с севера на юг). Каковы особенности агроклиматических условий произрастания естественной сенокосно-пастбищной растительности в различных почвенно-климатических зонах?
13. Как изменяется урожайность естественной сенокосно-пастбищной растительности по почвенно-климатическим зонам?
14. Что понимается под термином „качество урожая“?
15. Как влияют агрометеорологические условия на качество урожая?

16. Дайте определения и перечислите основных вредителей и болезни сельскохозяйственных культур. Какие агрометеорологические условия определяют массовое развитие вредителей и болезней в посевах сельскохозяйственных культур?
17. Расскажите о насекомых, паразитирующих на сельскохозяйственных животных, на примере северного оленя. При каких условиях происходит массовый лёт вредителей?
18. Какие применяются меры борьбы с вредителями и болезнями сельскохозяйственных растений и животных?

ОСНОВЫ АГРОКЛИМАТОЛОГИИ

Формирование погоды происходит под воздействием основных атмосферных процессов: *атмосферной циркуляции, теплооборота и влагооборота*, — называемых *климатообразующими процессами*. В сочетании с географическими условиями конкретной территории Земли (широта, долгота, высота над уровнем моря, соотношение площадей суши и крупных водных поверхностей, влияние океанических течений, характер растительного покрова и т. п.) климатообразующие процессы называются *климатообразующими факторами*. Таким образом, *климат* — это многолетний режим условий погоды в конкретной местности, обусловленный ее географическим положением.

Климатическими условиями называется сочетание климатических факторов за многолетний период, характерных для конкретной территории. Совокупность количественных значений климатических условий (солочной радиации, температуры, осадков, испаряемости и т. п.) за многолетний период на конкретной территории, используемой человеком в различных областях экономики, называется *климатическими ресурсами*.

Наука, изучающая климатические условия в их взаимодействии с процессами и объектами сельскохозяйственного производства, называется *агроклиматологией* или *сельскохозяйственной климатологией*. Задачами агроклиматологии являются: изучение степени благоприятности климатических условий для сельскохозяйственных культур; выявление климатических особенностей территорий в целях рационального размещения возделываемых культур (агроклиматическое районирование); исследование возможностей улучшения микроклиматических условий для целей сельскохозяйственного производства, а также количественный учет изменений, вносимых в микроклимат созданием защитных лесных полос, орошением и агротехническими мероприятиями и т. п.

Таким образом, климат и его ресурсы в значительной степени определяют размещение сельскохозяйственного производства по территории (агроклиматическое районирование) и продуктивность сельскохозяйственных культур, а также размещение различных видов и пород сельскохозяйственных животных по территории (зооклиматическое районирование), особенности их содержания и выпаса. Повторяемость неблагоприятных и опасных условий пого-

ды для сельскохозяйственного производства в теплый (см. главу 2) и холодный (см. главу 3) периоды года в различных регионах России и сопредельных государств весьма высока.

Проведение агроклиматических исследований необходимо для эффективного использования потенциальных возможностей территории, для снижения возможного ущерба в растениеводстве и животноводстве от неблагоприятных и опасных гидрометеорологических явлений; от вредителей и болезней сельскохозяйственных растений и животных. Для этих целей устанавливаются количественные показатели влияния факторов климата на объекты и процессы сельскохозяйственного производства.

5.1. Агроклиматические показатели

Растения и животные находятся под воздействием климатических условий и их колебаний (изменчивости); у них сформировались определенные требования к условиям существования. *Потребность растений и животных в климатических условиях обычно выражается количественно через агроклиматические показатели.* Агроклиматические показатели могут отражать не только требования сельскохозяйственных объектов к условиям климата, но и их реакцию на отдельные климатические элементы или их комплексы (температура, осадки, число часов солнечного сияния, испаряемость, различные показатели увлажнения и т. п.). К агроклиматическим показателям относятся, например, *суммы активных и эффективных температур воздуха* за описываемый период развития, число часов солнечного сияния, суммы осадков за тот или иной период, *гидротермический коэффициент Селянинова* и др. Некоторые интегральные агроклиматические показатели учитывают совместное воздействие физических условий окружающей среды и биологические особенности сельскохозяйственных культур. Обычно это эмпирические коэффициенты увлажнения, представляющие собой отношение прихода влаги к ее возможному расходу, для конкретной сельскохозяйственной культуры или ее сорта (например, показатели увлажнения Д. И. Шапко, А. М. Алпатьева и др.).

Сопоставление агроклиматических показателей с ресурсами климата позволяет установить, насколько климатические условия конкретной географической территории благоприятны или неблагоприятны для возделывания конкретных сельскохозяйственных культур и разведения тех или иных пород сельскохозяйственных животных.

Основными агроклиматическими показателями потребности растений в тепле являются *суммы активных и эффективных температур* (см. раздел 1.2). К агроклиматическим показателям обеспеченности растений влагой относятся суммы осадков за опре-

деленные периоды, запасы продуктивной влаги в корнеобитаемых горизонтах почвы в заданные периоды, определяющие формирование продуктивности сельскохозяйственных культур и естественной пастбищной растительности. К ним же относятся различные показатели увлажнения, критические значения влажности почвы, вызывающие повреждения или гибель растений (см. раздел 1.5).

Агроклиматическими показателями условий перезимовки сельскохозяйственных и плодовых культур являются: абсолютный минимум температуры воздуха и почвы, средний из абсолютных минимумов температуры воздуха и почвы, суммы отрицательных температур воздуха за периоды ниже 0, -5, -10, -15 °С, а также средняя высота снежного покрова, повторяемость зимних оттепелей и др.

Кроме этих, основных, агроклиматических показателей используются и многие другие: средние, оптимальные и критические (высокие и низкие) температуры воздуха и почвы, продолжительность безморозного и беззаморозкового периодов (см. раздел 2.1), показатели морозостойкости растений, глубина промерзания и оттаивания почвы и т. п.

5.2. Методы сельскохозяйственной оценки климата

В 1897 г. известный русский ученый-физиолог К. А. Тимирязев писал, что климатические данные представляют интерес для сельского хозяйства лишь тогда, когда наряду с ними известны требования, предъявляемые растением (и животным) к факторам климата.

Методологические основы сельскохозяйственной оценки климата были заложены в XIX столетии трудами А. И. Воейкова и П. И. Броунова. В последующие годы их идеи получили развитие в исследованиях многих отечественных ученых: П. И. Колосова, Г. Т. Селянинова, И. А. Гольдберг, С. А. Сапожниковой, Ф. Ф. Давытая, Д. И. Шашко, Л. Н. Бабушкина, А. И. Руденко, Ю. И. Чиркова, А. М. Шульгина, А. П. Федосеева, Л. С. Кельчевской, В. А. Жукова, Е. К. Зойдзе и ряда других. За рубежом значительный вклад в развитие этого направления внесли В. Ливингстон, Дж. Алси, Е. Николс и др. В основу методов сельскохозяйственной оценки климата положены биологические и экологические законы, широко используемые в агрометеорологии и агроклиматологии (см. Введение).

Воздушная среда и световой режим в основных растениеводческих регионах не лимитируют рост и развитие растений при условии соблюдения агротехнических норм их возделывания. Энергетической основой растениеводства является солнечная радиация, особенно фотосинтетически активная радиация — ФАР (см. раздел 1.1). Благодаря различному углу падения солнечных лучей на поверх-

ность Земли почвенно-климатические (природные) зоны получают неодинаковое количество ФАР и тепла (см. главу 4, табл. 4.7).

Распределение средних многолетних сумм ФАР на территории России приведено на рис. 1.3. Недостаточный приток ФАР и незначительные тепловые ресурсы в северных регионах в какой-то степени компенсируются для растений большей продолжительностью светового дня по сравнению со средними и экваториальными широтами. Продуктивность растений определяется в основном количеством тепла и влаги. Поэтому в основу сельскохозяйственной оценки климата в первую очередь положена оценка условий теплообеспеченности и влагообеспеченности вегетационного периода, а также условий перезимовки многолетних растений. Таким образом, при исследовании климата для сельскохозяйственных целей проводится количественная оценка ряда условий и ресурсов:

тепловых (и световых) ресурсов вегетационного периода и отдельных межфазных периодов исследуемых культур (как частей вегетационного периода);

условий увлажнения (осадки, влажность почвы и воздуха) вегетационного периода и его частей;

условий перезимовки растений;

микrokлиматических условий основных ландшафтов и сельскохозяйственных полей, занятых ведущими сельскохозяйственными культурами;

неблагоприятных (опасных) для сельскохозяйственного производства гидрометеорологических явлений.

При сельскохозяйственной оценке климата необходимо учитывать биологическую потребность сельскохозяйственных культур и животных в условиях освещенности, температуры и влажности, в уровне плодородия почв, в условиях выпаса, зимовки и других условиях, обеспечивающих формирование высоких урожаев растений и оптимальную продуктивность животных. Все это выражается агроклиматическими показателями, например, суммами температур, критическими и оптимальными значениями температуры в различные межфазные периоды, необходимыми для роста и развития растений, запасами влаги в корнеобитаемых горизонтах почвы, числом часов солнечного сияния, суммами ФАР и др. (см. раздел 5.1). При сельскохозяйственной оценке климата учитываются не только средние многолетние значения (нормы), но и повторяемости и обеспеченности основных факторов, а также неблагоприятных (опасных) для сельскохозяйственного производства гидрометеорологических явлений.

Сопоставление агроклиматических ресурсов и потребности в них биологических объектов позволяет определить степень соответ-

ствия между ними. В этом заключается существенное различие между общей характеристикой климатических условий территории и оценкой климата для целей сельского хозяйства. При сравнении агроклиматических условий различных территорий их аналоги устанавливаются не по общим климатическим характеристикам, а по обеспеченности тех факторов (агроклиматических, зооклиматических), которые оказывают наибольшее влияние на формирование урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивность сельскохозяйственных животных.

Оценка световых и термических ресурсов вегетационного периода. Большое значение для развития растений имеет продолжительность светового дня. Световые ресурсы (число часов солнечного сияния, продолжительность светового дня) зависят от географического положения местности, сезона и др. Например, на северной границе земледелия (приблизительно 65° с. ш.) летний световой день продолжается 22 ч, тогда как в экваториальных широтах 12 ч. Число часов солнечного сияния за вегетационный период на территории России и сопредельных стран изменяется от 500 в северных районах до 2000 — в южных.

Интенсивность солнечного света оценивается обычно по суммам ФАР — фотосинтетически активной радиации (см. раздел 1.1).

Термические (или тепловые) ресурсы — это количество тепла в течение вегетационного периода на конкретной территории, где возделываются сельскохозяйственные культуры, а естественная растительность используется под пастбища и сенокосы. Термические ресурсы территории являются основным фактором, определяющим дифференциацию и размещение сельскохозяйственного производства, возможность произрастания различных культур (холодостойких или теплолюбивых). Термические ресурсы вегетационного периода обычно оцениваются суммами положительных температур, а применительно к конкретным сельскохозяйственным культурам — суммами активных или эффективных температур (см. раздел 1.2).

В агроклиматологии расчет средних многолетних значений таких температур проводят графическим способом (метод гистограмм). Как правило, суммы температур конкретного года отличаются от их средних многолетних значений. При оценке территории под возделывание конкретной сельскохозяйственной культуры проводится расчет обеспеченности культуры суммой активных (или эффективных) температур, необходимых для ее полного (или частичного) цикла развития. Под неполным или частичным циклом развития культуры обычно подразумевается получение не конечно-го, а промежуточного продукта, например, выращивание кукурузы на силос, зеленый корм, а не на зерно.

Теплообеспеченностью растений (или посевов) называется количественная характеристика степени соответствия термических ресурсов климата потребности сельскохозяйственных культур в тепле.

Обеспеченность термическими ресурсами территории применительно к различным типам климата рассчитывается по графику, предложенному Ф. Ф. Давитая (рис. 5.1). Зная сумму температур, необходимую для созревания урожая какой-либо культуры, и среднюю многолетнюю сумму активных температур, с помощью этого графика по отклонению от нормы определяют, как часто исследуемая культура может созревать в заданном районе.

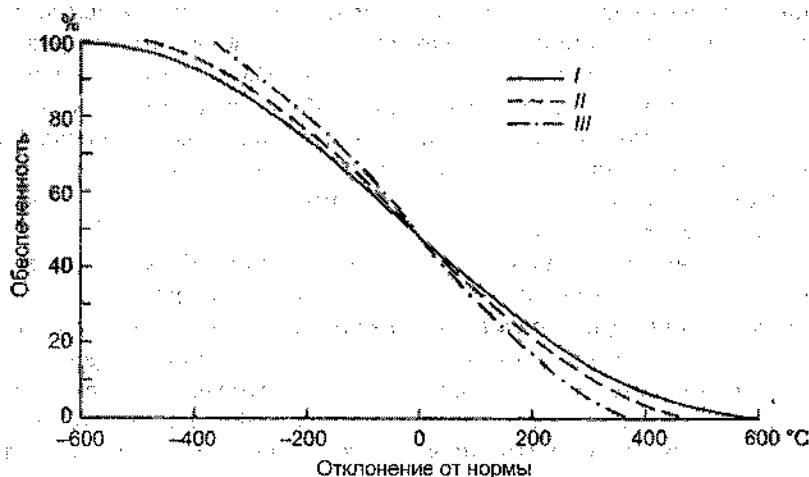


Рис. 5.1. Кривые расчета обеспеченности вегетационного периода суммой температур выше 10°C (по Ф. Ф. Давитая)

I — для климата неустойчивого типа; II — для климата устойчивого типа; III — для климата особо устойчивого типа

В качестве примера рассмотрим позднеспелые сорта подсолнечника. В период вегетации потребность этих сортов в тепле составляет 2300°C , а средняя многолетняя сумма активных температур составляет 2400°C . Следовательно, необходимая для полного созревания семян подсолнечника сумма активных температур меньше средней многолетней температуры на 100°C (т. е. -100°C). Чтобы определить, в каком проценте лет возделывание подсолнечника будет обеспечено суммой активных температур 2300°C , нужно: на оси абсцисс названного графика найти значение -100°C , из этой точки восстановить перпендикуляр до его пересечения с кривой обеспеченности соответствующего типа климата. Из найденной точки пересечения провести прямую линию параллельно оси абс-

цисс до оси ординат и снять значение средней обеспеченности (процент лет). В нашем примере это будет 65 % (кривая 1 на рис. 5.1), т. е. подсолнечник в данных климатических условиях будет созреть (при необходимой сумме активных температур 2300 °C) примерно в 7 годах из 10. Известно, что возделывание культуры считается рентабельным, если она обеспечена теплом не менее чем на 80 %, т. е. в 8 годах из 10. Такая агроклиматическая информация должна предоставляться агрономам для принятия хозяйственных решений об экономической целесообразности возделывания той или иной культуры в условиях хозяйства, района, области.

Однако знания суммы температур за весь вегетационный период еще недостаточно для представления о ходе накопления суммы температур в конкретном году на определенную дату (например, дату наступления фазы развития). С помощью номограммы, предложенной Ф. Ф. Давитая (рис. 5.2), можно определить сумму активных температур на любую дату вегетационного периода, если известна средняя многолетняя сумма температур для конкретного района. На оси абсцисс отложены декады вегетационного периода и

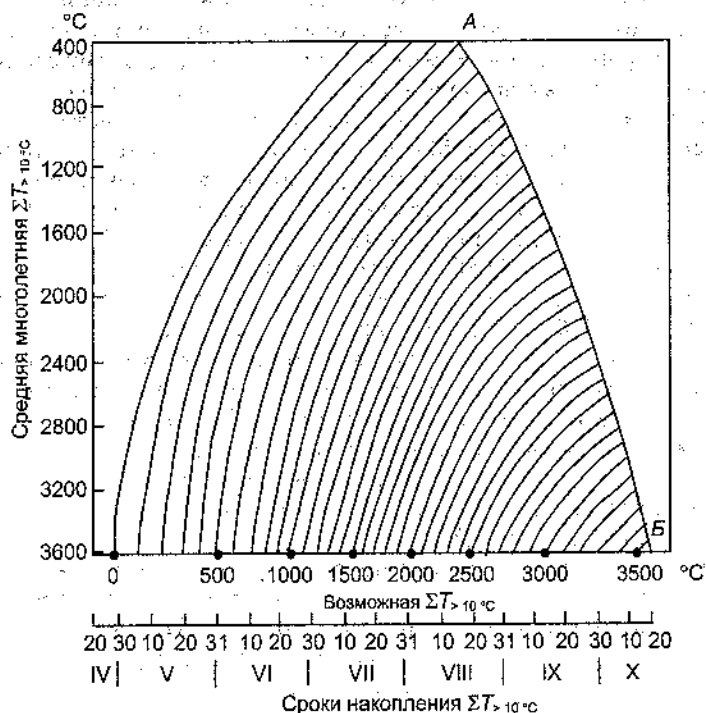


Рис. 5.2. Номограмма для определения сроков накопления сумм эффективных температур выше 10 °C (ΣT_{10}) в зависимости от средних многолетних сумм (по Ф. Ф. Давитая, 1964)

шкала сумм температур выше 10°C , на оси ординат — средние многолетние суммы температур за вегетационный период. На номограмме крайняя левая кривая, соответствующая сумме температур 0°C , указывает на начало периода с температурой выше 10°C , а замыкающая кривая (AB) — конец вегетационного периода. Например, для наступления стадии восковой спелости позднеспелого сорта проса необходима сумма активных температур 1900°C . Средняя многолетняя сумма температур выше 10°C в исследуемом районе равна 2460°C . Для определения даты созревания проса на оси ординат находим значение 2460°C , от которого проводим прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с кривой суммы температур 1900°C . Из точки пересечения опускаем перпендикуляр на ось абсцисс и определяем дату наступления фазы восковой спелости проса — 25 августа.

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.

Оценка условий увлажнения вегетационного периода. Для оценки условий увлажнения территории обычно используют значения средней многолетней суммы осадков за год, за вегетационный период или отдельные его временные подпериоды, за холодный или теплый периоды года. Но среднее многолетнее количество осадков дает представление лишь о 50-процентной обеспеченности территории осадками, так как количество осадков очень изменчиво от года к году. Агроклиматические исследования ресурсов влаги (осадки минус испаряемость), выполненные Е. Н. Романовой, Г. И. Мосоловой, И. А. Бересневой (1983) на территории Российской Федерации и сопредельных стран, позволили построить карту-схему зон увлажнения (рис. 5.3). При агроклиматической оценке условий увлажнения небольших территорий необходимо учитывать особенности рельефа местности, оказывающего большое влияние на характер распределения влажности почвы даже при одинаковом количестве осадков, выпавших на изучаемом участке. На рис. 5.4 приведен пример, отражающий значительную пестроту в степени увлажнения почвы одного из участков Среднерусской возвышенности (по Е. Н. Романовой, 1967).

Чтобы дать оценку обеспеченности сельскохозяйственных культур влагой, нужно рассчитать количество осадков различной обеспеченности по номограмме, предложенной А. Н. Лебедевым для теплого периода года (рис. 5.5). На этом графике по оси ординат отложены значения средних многолетних сумм осадков за год, по оси абсцисс — возможные суммы осадков в отдельные годы, в поле графика — линии различной обеспеченности (%). Зная среднюю многолетнюю сумму осадков изучаемой территории, по номограмме

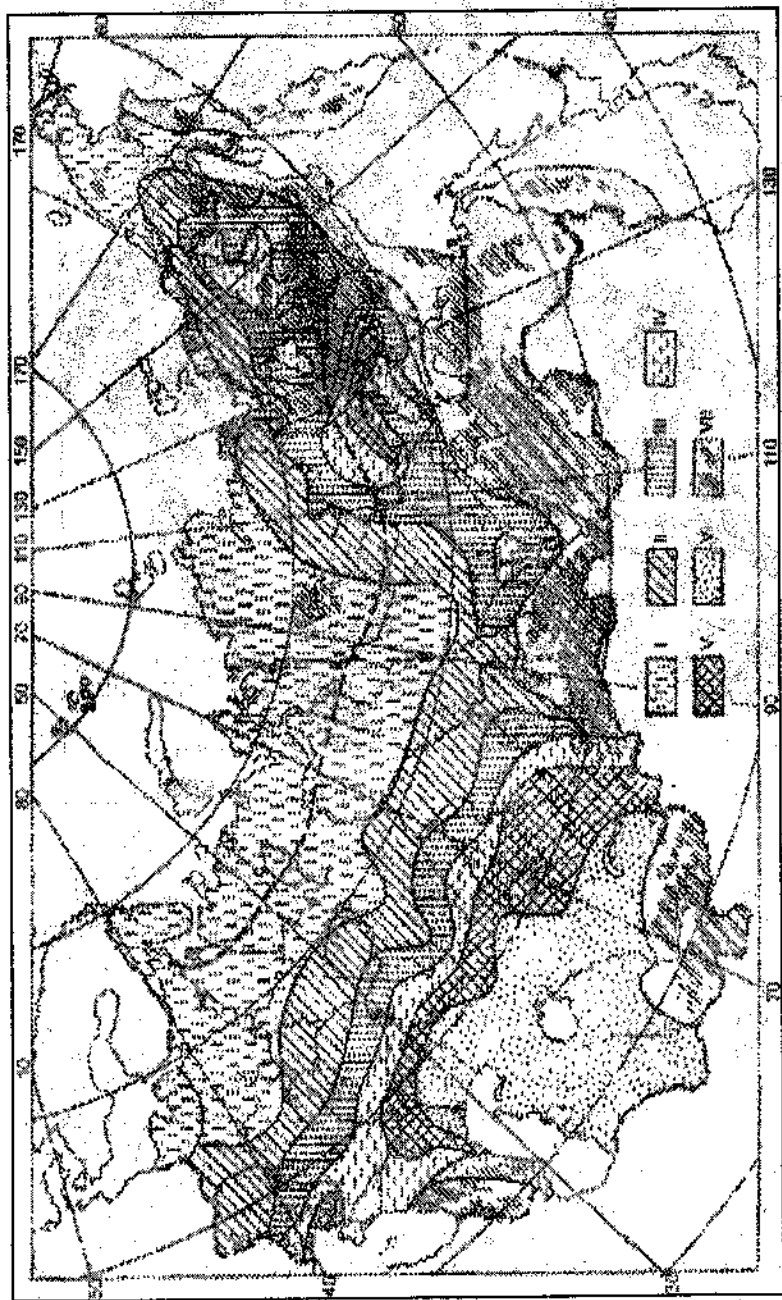


Рис. 5.3. Карта-схема зон увлажнения на территории Российской Федерации и сопредельных государств (по Е. Н. Романовой, Г. И. Мосоловой, И. А. Березневой, 1983)

I — избыточно влажным; II — достаточно влажная; III — слабозасушливая; IV — засушливая; V — очень засушливая; VI — сухая; VII — горные районы



Рис. 5.4. Схематическая карта условий увлажнения (участок Среднерусской возвышенности)

1 — недостаточное увлажнение (39...40 % полевой влагоемкости); 2 — нормальное увлажнение (50...80 %); 3 — близкое к полевой влагоемкости (80...90 %); 4 — избыточное (100 % и более); 5 — склоны крутизной более 15°, для которых условия увлажнения не оценивались (по Е. Н. Романовой, 1967)

легко определить обеспеченность выпадения различного количества осадков. Например, чтобы узнать, сколько осадков в год выпадает с 80 %-ной обеспеченностью при средней многолетней норме 560 мм, нужно на оси ординат от точки, соответствующей 560 мм, провести линию, параллельную оси абсцисс, до пересечения в поле графика с прямой 80 %. Из точки пересечения опускают перпендикуляр на ось абсцисс. Получаем 430 мм. Следовательно, в 80 % лет на изучаемой территории в теплый период года выпадает такое количество осадков. Подобные графики могут быть построены для декадных, месячных и других искомых сумм осадков. Располагая знаниями о потребности культур в осадках за определенный период

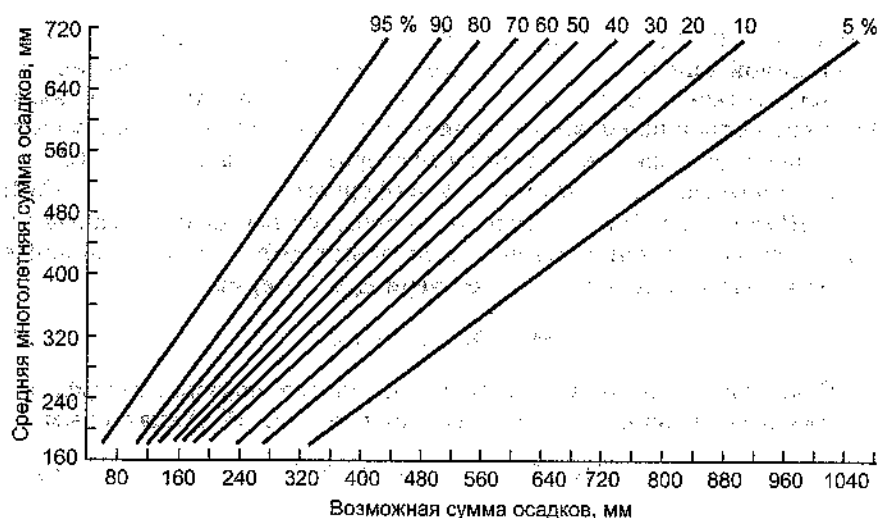


Рис. 5.5. График для расчета годовых сумм осадков различной обеспеченности в теплый период года (по А. Н. Лебедеву)

вегетации и обеспеченностью такого количества осадков за этот же период, можно оценить влагообеспеченность посевов.

Однако оценка условий увлажнения только по количеству выпавших осадков недостаточна для составления объективной характеристики какой-либо территории или вегетационного периода. Необходимо учитывать *испаряемость* в исследуемых районах (см. раздел 1.3).

В агроклиматических исследованиях для оценки условий увлажнения сельскохозяйственных территорий используются различные косвенные показатели, обычно представляющие собой отношение количества поступающей влаги (осадки, запасы влаги в почве) к ее расходу (испаряемости) за конкретный период времени. Широко распространенным показателем является предложенный Г. Т. Селяниновым *гидротермический коэффициент (ГТК)* — *относительный (безразмерный) показатель увлажненности территории, используемый также для агроклиматической характеристики влагообеспеченности растений*. Он рассчитывается как отношение суммы осадков (R) в мм за период со средней температурой воздуха выше 10°C к сумме средних суточных температур (ΣT) за этот же период, уменьшенной в 10 раз (что весьма близко характеризует испаряемость):

$$\text{ГТК} = \Sigma R / 0,1 \Sigma T_{>10^{\circ}\text{C}} \quad (5.1)$$

По Г. Т. Селянинову, суммарное значение ГТК за июнь—август больше 1,6 соответствует избыточно влажной зоне; 1,6...1,3 — лесной влажной зоне, 1,3...1,0 — зоне недостаточного увлажнения (ле-

состепи), 1,0...0,7 — засушливой зоне (степи), 0,7...0,4 — очень засушливой зоне (сухой степи), коэффициент 0,4...0,3 характеризует полупустыню, менее 0,3 — пустыню. Гидротермический коэффициент нельзя применять для оценки условий увлажнения весной и осенью, когда средняя суточная температура воздуха ниже 10 °С.

В качестве показателя атмосферного увлажнения (M_d) Д. И. Шашко (1967) предложил отношение суммы осадков за год ΣP (мм) к сумме средних суточных значений дефицитов насыщения воздуха водяным паром за тот же период $\Sigma(E - e)$, мм:

$$M_d = \Sigma P / \Sigma(E - e). \quad (5.2)$$

Широкое применение в агроклиматологии получил коэффициент влагообеспеченности (КВ), предложенный А. М. Алдатовым:

$$KB = W_1 - W_2 + R / 0,65 \Sigma d, \quad (5.3)$$

где W_1 — запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в начале вегетации, мм; W_2 — то же в конце вегетации, мм; R — количество осадков за период вегетации, мм; Σd — сумма средних суточных дефицитов насыщения за период вегетации, мм.

В различных агроклиматических и агрометеорологических работах применяются разнообразные показатели увлажнения, предложенные Н. В. Бова, М. И. Будыко, Н. Н. Ивановым, Ю. И. Чирковым, А. П. Федосеевым и многими другими. При оценке условий увлажнения вегетационного периода следует учитывать обеспеченность показателей увлажнения в отдельные годы, а также повторяемость засух и суховеев в изучаемом районе. Оценка условий увлажнения по значениям ГТК и вероятности числа лет с различной влажностью по природным зонам приведена в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Значение ГТК и вероятность числа лет с различной влажностью по природным зонам

Природная зона	Среднее многолетнее значение ГТК	Вероятность числа лет, %					
		су-хих	очень засуш-ливых	засуш-ливых	слабо засуш-ливых	влаж-ных	избы-точно влажных
Тайга	> 1,6	0	0	5	10	25	60
Смешанные леса	1,6...1,3	0	5	10	25	30	30
Лесостепь	1,3...1,0	0	15	25	30	20	10
Типичная степь	1,0...0,7	10	25	35	20	5	5
Южная степь	0,7...0,4	35	45	15	5	0	0
Полупустыня	0,4...0,2	75	20	5	0	0	0
Пустыня	< 0,2	98	2	0	0	0	0

Оценить влагообеспеченность сельскохозяйственных культур можно также по запасам продуктивной влаги в почве, которые комплексно, более точно, чем суммы осадков, характеризуют уровень увлажнения сельскохозяйственных полей. Сопоставление фактических запасов продуктивной влаги в почве с потребностью растений в ней (см. раздел 1.3) позволяет дать количественную оценку влагообеспеченности посевов.

Влагообеспеченность растений называется степень обеспеченности потребности растений во влаге. Обычно влагообеспеченность растений характеризуется влажностью почвы, выраженной в процентах наименьшей влагоемкости, или запасами продуктивной влаги в корнеобитаемых горизонтах почвы.

Создаются агроклиматические карты, отражающие средние многолетние значения запасов продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см под сельскохозяйственными культурами на заданную дату. Фрагмент такой карты приведен на рис. 5.6.

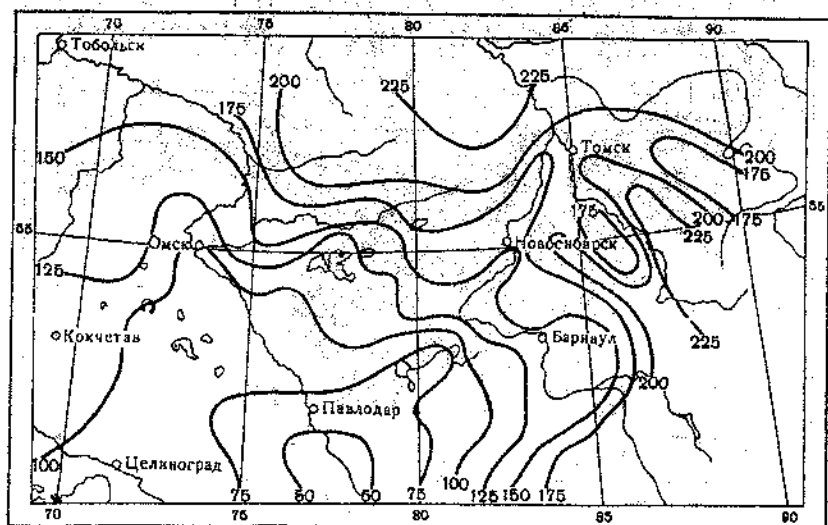


Рис. 5.6. Средние многолетние запасы продуктивной влаги (мм) в метровом слое почвы под яровой пшеницей по дате посева (по В. А. Сенинскому, А. П. Сладневу, 1972)

В условиях нечерноземной зоны Российской Федерации средние запасы влаги за вегетационный период, равные 80...100 % наименьшей влагоемкости почвы, считаются оптимальными. Иногда влагообеспеченность растений рассчитывают как процентное отношение фактического суммарного испарения (см. раздел 1.3) за период вегетации той или иной культуры к оптимальному суммарному испарению или как отношение фактического запаса продуктивной

влаги в почве к ее оптимальному запасу для конкретной фазы развития растения. Известны и другие методологические подходы к расчету показателя влагообеспеченности культур.

Оценивая влагообеспеченность конкретных сельскохозяйственных культур по запасам продуктивной влаги в почве, необходимо учитывать особенности севооборота (предшественники) в отдельные годы и различные межфазные периоды вегетации растений (рис. 5.7).

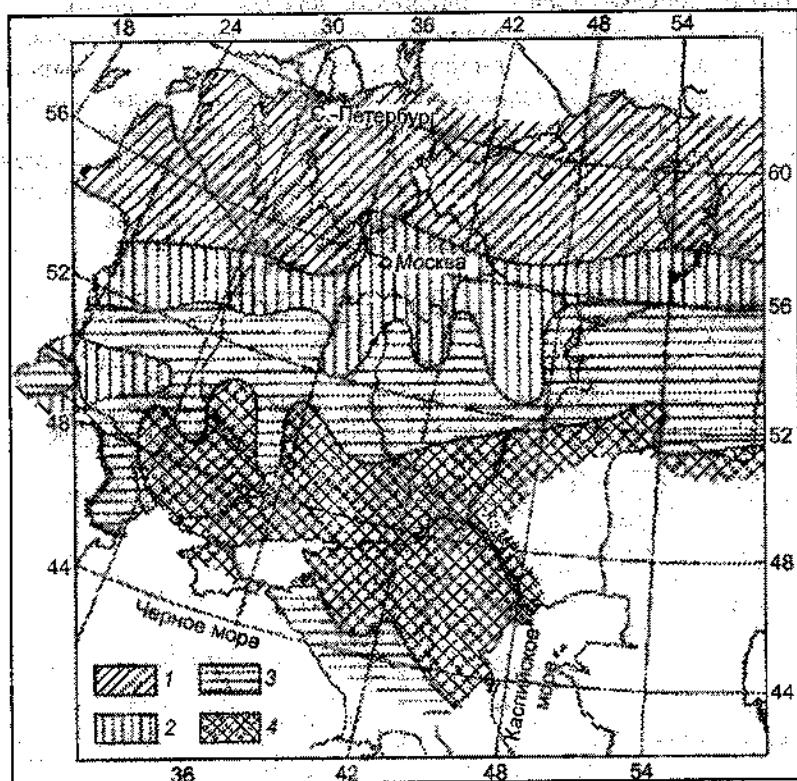


Рис. 5.7. Средние многолетние запасы продуктивной влаги (мм) под озимыми при посеве по непаровым предшественникам в слое почвы 0...100 см в декаду средних оптимальных сроков сева

1 — более 160; 2 — 121...160; 3 — 81...120; 4 — менее 80

Большую помощь в работе агрометеорологов и работников сельскохозяйственного производства может оказать „Атлас запасов влаги под озимыми и равными яровыми зерновыми культурами на европейской части России”, подготовленный группой сотрудников ВНИИСХМ под руководством Л. С. Кельчевской (1983, 1987). В атласе помещена карта „Агрогидрологическое районирование Европейской части СССР”, составленная Л. С. Кельчевской. В атласе

представлены многочисленные карты средних многолетних запасов продуктивной влаги в пахотном и метровом горизонтах почвы, рассчитанных на третью декаду каждого месяца начиная с осеннего периода вегетации озимых зерновых культур и кончая весенне-летним периодом вегетации озимых и ранних яровых культур. Приведены также карты средних многолетних дат сева и наступления основных фаз развития этих культур.

Поскольку значений средних многолетних величин, представленных на картах атласа, недостаточно для определения данных по годам, в атласе приведены специальные номограммы, по которым несложно рассчитать различную обеспеченность (в %) возможных запасов продуктивной влаги на конкретной территории. Сведения, помещенные в атлас, позволяют обосновывать рациональное размещение сельскохозяйственных культур и соответствующие мелиоративные и агротехнические мероприятия (орошение, осушение, различные виды обработки почвы, определение сроков и доз внесения минеральных удобрений), правильное их распределение по административным территориям и хозяйствам. Этот атлас может быть использован широким кругом специалистов, связанных с сельскохозяйственным производством, в научно-исследовательских и учебных учреждениях.

Сотрудниками ВНИИСХМ (Е. К. Зондзе, Л. И. Овчаренко, 2000) выполнена комплексная агроклиматическая оценка сельскохозяйственных угодий всех субъектов Российской Федерации по условиям увлажнения, термическим ресурсам и приходу солнечной радиации. Известно, что чем выше агроклиматический потенциал угодий, тем больше и разнообразнее возможности его использования в сельскохозяйственном производстве. Комплексная характеристика агроклиматического потенциала сельскохозяйственных угодий страны была выполнена по многолетним материалам наблюдений метеорологической и агрометеорологической сети станций Росгидромета. Результаты расчетов выражены в баллах; за 100 баллов принята оценка оптимально возможных агроклиматических ресурсов.

На территории Российской Федерации нет сельскохозяйственных угодий, которые характеризовались бы оптимальными режимами увлажнения, термическими ресурсами и приходом солнечной радиации (рис. 5.8). Как видно из рис. 5.8, наилучшие агроклиматические условия для сельскохозяйственного производства на землях Краснодарского края и в Республике Адыгея (более 80 баллов); весьма благоприятны условия на сельскохозяйственных угодьях региона Северного Кавказа и Центрально-Черноземных областей.

В большинстве субъектов Российской Федерации, расположенных в Поволжье, нечерноземной зоне европейской части России, а также в Республике Калмыкия, Новосибирской области, Алтайском и Приморском краях, сельскохозяйственные угодья характе-

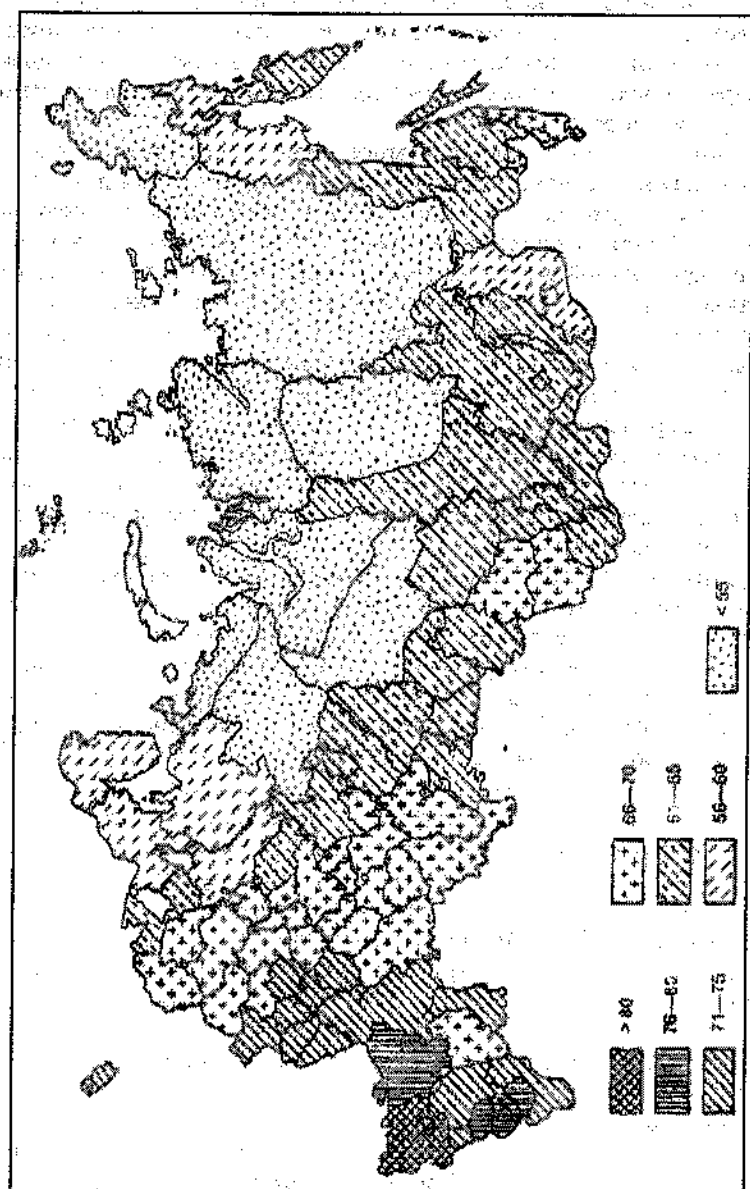


Рис. 5.8. Комплексная оценка (баллы) сельскохозяйственных угодий Российской Федерации по режиму увлажненности, термическим ресурсам и солнечной радиации (по Е. К. Зойдзе, Л. И. Овчаренко, 2000)

ризуются менее благоприятными условиями увлажнения, термическими ресурсами и солнечной радиацией (66...70 баллов), однако имеющиеся ресурсы обеспечивают успешное ведение сельскохозяйственного производства. Еще менее благоприятны агроклиматические условия угодий Ленинградской, Костромской, Кировской, Пермской областей, а также большинства регионов, расположенных на юге и востоке азиатской части Российской Федерации (61...65 баллов). Крайне неблагоприятными условиями (менее 55 баллов) характеризуются сельскохозяйственные угодья северных регионов России.

Оценка условий перезимовки сельскохозяйственных и плодовых культур. Основным фактором, определяющим границы возделывания большинства зимующих культур, являются низкие температуры воздуха и почвы в течение зимы. При этом абсолютный минимум температуры воздуха лишь условно можно рассматривать в качестве критерия вымерзания зимующих культур. Частота вымерзания зависит от повторяемости критических температур, различных для разных культур. Поэтому в агроклиматологии для оценки климата в холодный период в качестве показателя используют средний из абсолютных годовых минимумов температуры, предложенный Г. Т. Селяниновым. Например, за границу возможного возделывания винограда без укрытия на зиму принята изолиния этого показателя -15°C . Граница наиболее морозостойких субтропических культур определена изолинией -10°C , цитрусовых -5°C . Средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха вычисляется путем деления суммы абсолютных минимумов за зимние месяцы (в течение 30 лет и более) на число лет наблюдений.

Для определения повторяемости низких температур строят кривые вероятности наступления минимальных температур по данным метеорологических наблюдений на конкретной территории (рис. 5.9). Пользуясь этим графиком, можно рассчитать вероятность повреждения морозами зимующих растений. Например, если критическая температура вымерзания кроны яблони -35°C , то в районе, где средний из абсолютных минимумов температуры воздуха -32°C (разность температур -3°C), вероятность повреждения составит 20 %. Критические температуры вымерзания плодовых культур приведены в табл. 5.2.

Для оценки условий перезимовки плодовых культур на территории Казахстана Г. Г. Белобородовой (1982) предложен коэффициент суровости зимы ($K_{с.з.}$):

$$K_{с.з.} = N / n, \quad (5.4)$$

где N — число дней, в которые наблюдалась температура воздуха, вызывающая повреждения культур за зимний период; n — продолжительность холодного периода, сут.

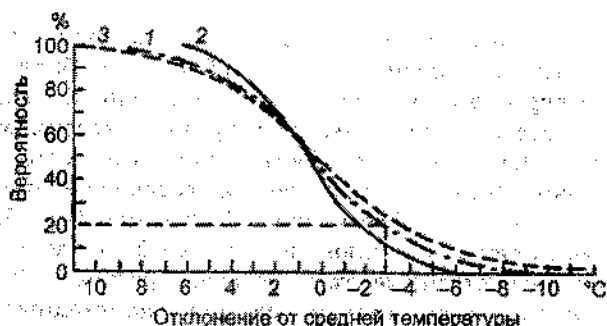


Рис. 5.9. График для расчета вероятности низких минимальных температур воздуха по отклонениям от средней температуры

1 — европейская часть Российской Федерации и сопредельных государств, Западная Сибирь; 2 — Забайкалье; 3 — территория азиатских республик СНГ

Таблица 5.2

Критические температуры вымерзания ($\bar{T}_{\text{мин}}$ °C)

при перезимовке плодовых культур (по С. А. Сапожниковой)

Тип зимы (по средним многолетним данным)	Россия, кроме Дальнего Востока	Дальний Восток	Культуры, обеспеченные благоприятной перезимовкой
Очень мягкая	Выше -10 (0)	—	Субтропические культуры
Мягкая	-10...-20 (0)	—	Грецкий орех, персик, виноград (без укрытия в более теплых районах)
Умеренно мягкая	-20...-25 (0...10)	—	Абрикосы, южные сорта яблонь, груш и слив, холодостойкие сорта персиков
Умеренно холодная	-25...-30 (10...50)	—	Среднехолодостойкие сорта яблонь, груш, слив, холодостойкие сорта абрикосов
Холодная	-30...-35 (50...70)	Ниже -25	Среднерусские и мичуринские сорта яблонь, груш, холодостойкие сорта абрикосов
Очень холодная	-35...-40 (70...100)	-25...-30	Холодостойкие сорта яблонь, вишен, слив
Суровая	-40...-45 (100)	-30...-40	Яблони-ранетки, более холодостойкие сорта вишен, слив, стелющиеся формы яблонь
Очень суровая	Ниже -45 (100)	Ниже -40	Самые холодостойкие формы тех же культур с применением специальной агротехники возделывания

Примечание. В скобках приведена доля (%) зим, в которые абсолютный минимум температуры составлял -30 °C и ниже.

Этот коэффициент характеризует „насыщенность” холодного периода критическими для плодовых культур температурами. Чем больше значения $K_{с.з.}$, тем хуже (суровее) условия перезимовки. Белобородовой установлено, что для слабоморозостойких сортов $K_{с.з.} < 0,07$; для среднеморозостойких $K_{с.з.} < 0,05$, для сортов повышенной морозостойкости $K_{с.з.} < 0,03$ (рис. 5.10).

Для территории Южного Казахстана Г. Г. Белобородовой (1982) выделены зоны, различные по условиям перезимовки плодовых культур (рис. 5.11). Характерно, что наиболее благоприятными для перезимовки являются предгорные и среднегорные высотные пояса, а самыми неблагоприятными — равнинные и котловинные, где зимой часто скапливается и застаивается холодный воздух.

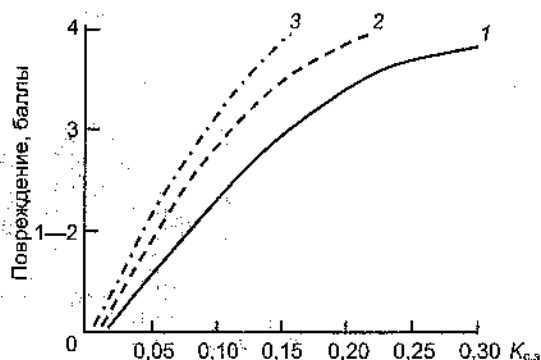
Так как сроки установления устойчивого снежного покрова и его высота варьируют от года к году, то для озимых зерновых культур и многолетних сеяных трав показатель суровости зимы — средний из абсолютных минимумов температуры воздуха — не в полной мере характеризует условия их перезимовки.

Более универсальным показателем агроклиматических условий перезимовки этих культур является минимальная температура почвы на глубине залегания узла кущения (3 см), так как она зависит от температуры воздуха, высоты и продолжительности залегания снежного покрова, его плотности, толщины притертой к почве ледяной корки и продолжительности ее залегания (см. раздел 1.3) (рис. 5.12). Согласно исследованиям В. А. Моисейчик и А. М. Шульгина, наиболее благоприятные условия для перезимовки озимых культур складываются при температуре почвы на глубине залегания узла кущения $-7...-8^{\circ}\text{C}$.

В различных регионах Российской Федерации и сопредельных стран (Беларусь, Украина, Казахстан) температура почвы на глубине залегания узла кущения, повреждающая озимые зерновые, определяется сортом культуры и условиями предзимней закалки (см. раздел 3.1), что хорошо иллюстрируют данные табл. 5.3.

Рис. 5.10. Степень повреждения плодовых культур в период перезимовки в зависимости от коэффициента суровости зимы

1 — семечковые культуры; 2 — абрикос, слива, вишня; 3 — персик (по Г. Г. Белобородовой, 1982)



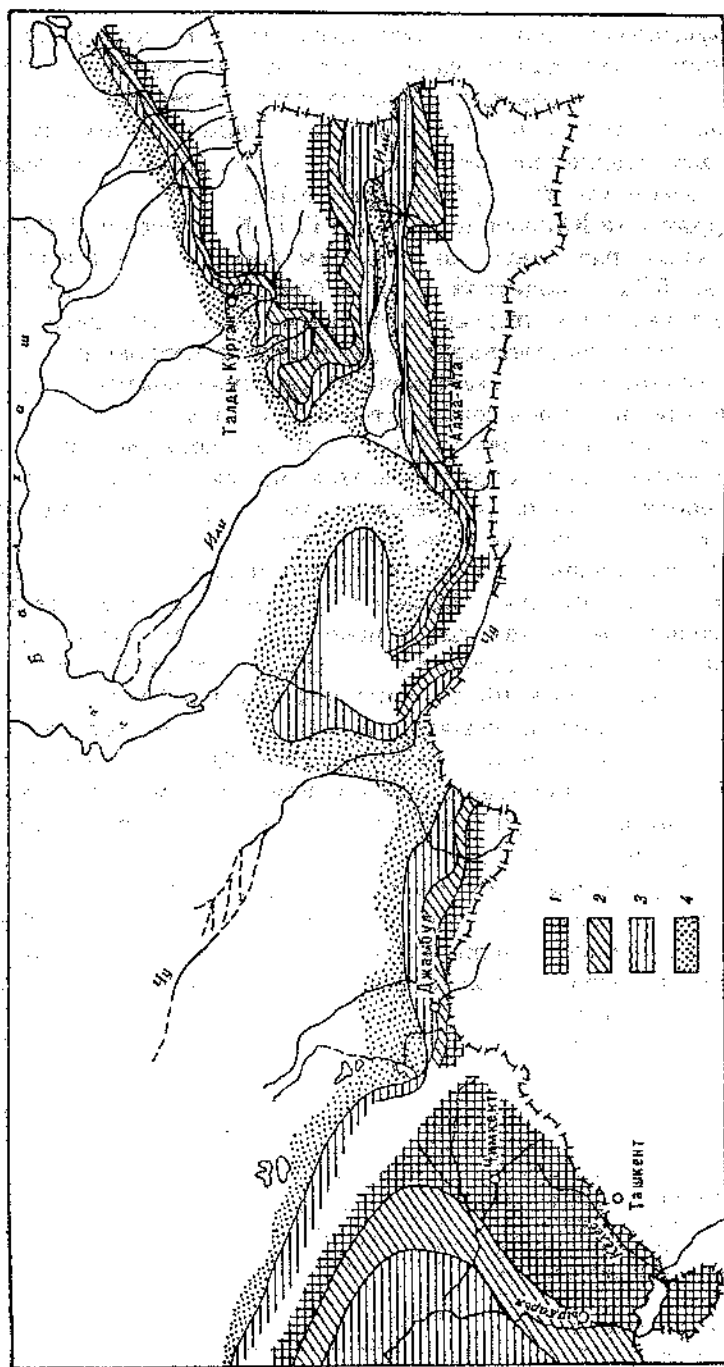


Рис. 5.11. Зоны, различающиеся по условиям перезимовки плодовых (семенных) культур в Южном Казахстане и на сопредельной территории (по Г. Г. Белобородовой, 1982)

1 — благоприятные условия; 2 — удовлетворительные; 3 — не вполне удовлетворительные; 4 — неудовлетворительные

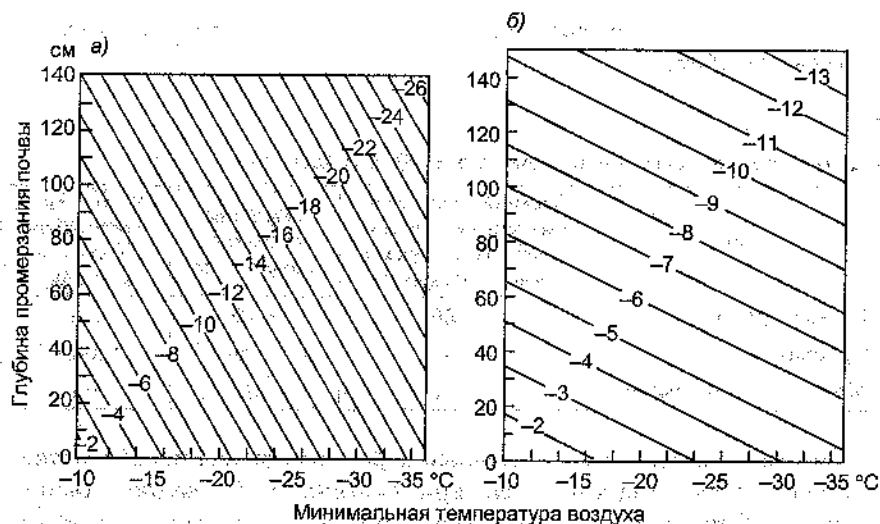


Рис. 5.12. Зависимость минимальной температуры почвы на глубине узла кушения (3 см) от минимальной температуры и глубины промерзания почвы при высоте снежного покрова 5 см (а) и 10 см (б)

А. М. Шульгин предложил комплексный показатель K для агроклиматической оценки условий перезимовки озимых культур:

$$K = T_{\text{min}}/C, \quad (5.5)$$

где T_{min} — средний из абсолютных минимумов температуры воздуха за самый холодный месяц, °C; C — средняя высота снежного покрова за тот же период, см.

Таблица 5.3

Температуры почвы (на глубине 3 см), повреждающие озимую пшеницу при различных условиях закалки (°C)

Территория	Условия закалки		
	хорошие	средние	плохие
Северный Кавказ, Северо-Запад ЕЧС, Беларусь, Украина	-18...-20	-16...-18	-14...-16
Центрально-Черноземные области, центральные и северные области нечерноземной зоны	-20...-22	-18...-20	-16...-18
Поволжье, юг Урала, Западная Сибирь, северные области Казахстана	-22...-25	-20...-23	-18...-21

В табл. 5.4 приведены значения этого показателя для условий Западной Сибири.

Таблица 5.4

Оценка степени суровости зимы (по А. М. Шульгину)

Зима	Средний из абсолютных минимумов температуры воздуха за месяц или зиму, °С	Средняя высота снежного покрова, см	Комплексный показатель суровости зимы (K)
Весьма суровая	< - 30	< 10	> 3
Суровая	< - 30	от 10 до 30	от 1 до 3
Мягкая (малосуровая)	> - 30	> 30	< 1

Рассмотренные выше основные агроклиматические показатели наиболее часто применяются при сельскохозяйственной оценке климата. Сопоставляя показатели с потребностью сельскохозяйственных культур в тепле, влаге и с их устойчивостью к неблагоприятным условиям перезимовки, определяют степень соответствия *агроклиматических ресурсов территории* (см. раздел 5.3) возможностям возделывания различных культур, их сортов и гибридов.

Оценка условий проведения полевых работ. Сельскохозяйственная оценка климата применительно к проведению полевых работ нужна для обоснования возможности выполнения различных агротехнических мероприятий в оптимальные сроки, обеспечивающие наилучшие условия роста, развития и формирования продуктивности, а также уборки сельскохозяйственных культур в зависимости от агроклиматических условий конкретной территории.

При проведении сельскохозяйственной оценки климата применительно к весенним полевым работам используются сведения о вероятности (с обеспеченностью не менее 70...80 %) наступления средних многолетних сроков снеготаяния, оттаивания и просыхания верхних горизонтов почвы, мягкопластичного состояния почвы, температурного режима воздуха и почвы, прекращения заморозков различной интенсивности. Известно, например, что при оттаивании почвы на глубину 10 см можно приступать к боронованию полей, а на глубину 30 см — к весенней пахоте. Качество обработки почвы и производительность сельскохозяйственных машин и орудий определяются степенью увлажнения пахотного слоя почвы — наилучшее качество обработки обеспечивается при мягкопластичном состоянии почвы.

Сроки сева сельскохозяйственных культур зависят от температуры воздуха и верхних слоев почвы, от запасов в них продуктив-

ной влаги, от сроков прекращения заморозков, от заморозкоустойчивости высеваемых культур и т. п. Для оценки этого периода полевых работ часто привлекаются данные о средних многолетних датах устойчивого перехода температуры воздуха и почвы (на глубине 5 и 10 см) через 5, 10 и 15 °С, а также о самых ранних и самых поздних датах перехода через эти уровни.

Общие условия проведения сельскохозяйственных работ оцениваются числом дней с осадками различной интенсивности и различным состоянием верхнего слоя почвы за каждую декаду. В качестве примера в табл. 5.5 представлен фрагмент такой оценки для северных районов Тамбовской области.

Таблица 5.5

Подекадная оценка числа дней с различными условиями для проведения сельскохозяйственных работ (фрагмент)

	Апрель			Июнь			Август		
	1-я	2-я	3-я	1-я	2-я	3-я	1-я	2-я	3-я
Почва									
покрыта снегом	5	1	0	0	0	0	0	0	0
мерзлая, без снежного покрова	2	3	0	0	0	0	0	0	0
переувлажненная	3	4	4	1	1	1	1	0	0
мягкопластичная	0	3	7	6	6	5	6	6	6
Число дней									
без осадков	0	2	5	8	7	7	6	8	8
с осадками 1...5 мм	0	0	1	1	2	2	2	2	2
с осадками 6...10 мм	0	0	0	0	0	0	1	0	1
с осадками более 10 мм	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Сельскохозяйственная оценка климата в период уборки урожая выполняется с целью обоснования оптимальных сроков проведения уборки и снижения возможного ущерба от неблагоприятных агрометеорологических условий (см. главу 2). Период уборки зерновых культур обычно характеризуется с помощью показателя агроклиматических условий для работы комбайнов, разработанного А. В. Процеровым. В основу этого показателя положена зависимость влажности убираемой массы хлебов и, следовательно, производительности комбайна от дефицита насыщения воздуха водяным паром. При понижении дефицита насыщения до 3 гПа и менее уборка и обмолот хлебов комбайном непроизводительны или даже невозможны из-за больших потерь зерна. С повышением дефицита

насыщения от 3 до 8 гПа комбайн работает с возрастающей производительностью. В среднем работа комбайна в таких условиях считается удовлетворительной. При дальнейшем увеличении дефицита насыщения условия уборки считаются хорошими, а производительность комбайна достигает проектной мощности.

Как известно, дефицит насыщения воздуха водяным паром имеет четко выраженный суточный ход, с которым аналогично изменяется и производительность работы комбайна. По среднему суточному значению дефицита насыщения рассчитывается время (в часах) возможной работы комбайна за сутки, неделю или декаду. Для удобства расчета можно пользоваться данными табл. 5.6.

Таблица 5.6

Количество часов в сутки с различными условиями для работы комбайна по средним суточным значениям дефицита насыщения воздуха в период уборки зерна (по А. В. Процерову)

Среднее суточное значение дефицита насыщения, гПа	Количество часов с условиями			
	хорошими	средними	плохими	условно хорошими
3	0	10,5	13,5	5,3
4	3,5	9,0	11,5	8,0
5	6,5	7,5	10,0	10,2
6	8,5	7,0	8,5	12,0
7	10,0	7,0	7,0	13,5
8	11,0	8,0	5,0	15,0
9	12,0	9,0	3,0	16,5
10	13,0	11,0	0	18,5
11	14,0	10,0	0	19,0
12	15,0	9,0	0	19,5
13	15,5	8,5	0	20,0
14	16,5	7,5	0	20,3
15	17,5	6,5	0	20,8
16	18,5	5,5	0	21,3
17	20,0	4,0	0	22,3
18	22,0	2,0	0	23,0

„Условно хорошие” условия рассчитываются как сумма хороших и 50 % средних условий. Для оценки условий уборки позднеспелых сельскохозяйственных культур учитываются также даты наступления ранних, средних и поздних осенних заморозков, даты перехода средней суточной температуры воздуха через 10 и 5 °С в

сторону понижения и их вероятностные характеристики, даты образования устойчивого снежного покрова.

Агроклиматические сезоны. Лучистая энергия, поступающая от Солнца на Землю, определяет тепловой баланс и температурный режим нашей планеты. Благодаря наклону оси земного шара (условная линия, соединяющая Северный и Южный полюсы) $23^{\circ}27'$ к плоскости небесного экватора, солнечные лучи попадают на земную поверхность под различным углом. Шарообразная форма Земли, ее движение вокруг Солнца и наклон земной оси определяют неодинаковое нагревание ее поверхности. *Неравномерное распределение тепла в атмосфере приводит к изменению атмосферного давления, от которого, в свою очередь, зависит движение воздуха — атмосферная циркуляция.* В нижних слоях атмосферы (30...40 км) и у поверхности Земли происходят многообразные, непрерывно меняющиеся физические процессы, формирующие условия погоды в каждом конкретном месте.

Тесная связь циркуляционных атмосферных процессов с годовым обращением Земли вокруг Солнца приводит к периодической, последовательной смене времен года, или сезонов. Растения и животные особенно четко реагируют на смену сезонов. Например, при увеличении продолжительности весеннего дня, температуры воздуха начинается возобновление роста и развития растений, восстанавливается жизненная активность в мире животных, возвращаются мигрирующие птицы и животные. С наступлением осеннего, короткого, светового дня, снижением температуры воздуха заканчивается вегетационный период большинства растений умеренных широт; опадают листья, готовятся к перезимовке или мигрируют в теплые страны отдельные представители класса птиц и млекопитающих.

С так называемыми сезонными ритмами в природе связано явление *фотопериодизма*, т. е. реакция растений (и животных) на продолжительность светового дня (см. раздел 1.1). Сезонные ритмы наиболее контрастно проявляются в климатических условиях умеренных широт.

В тропических странах, где продолжительность светового дня в течение года составляет около 12 ч, сезонность в природе выражена менее заметно. В субтропических странах сезонность в развитии природных процессов обусловлена в основном режимом увлажнения. Так, во многих странах Африканского континента различают сухой и влажный (дождливый) сезоны.

В зонах умеренного климата с сезонностью тесно связаны все виды сельскохозяйственной деятельности людей. В этих географи-

ческих зонах, располагающихся между субтропическими и субполярными зонами (примерно от 40 до 65° в Северном полушарии и от 42 до 58° — в Южном), переходные сезоны (весна, осень) выражены наиболее четко по освещенности, температурному режиму, количеству и характеру выпадающих осадков.

Для умеренных широт в России и сопредельных странах выделены агроклиматические сезоны: предвесенье, весна, лето, осень, предзимье, зима. Условные границы этих сезонов установлены по средним многолетним датам устойчивого перехода средней суточной температуры через определенные пороговые значения. Так, согласно исследованиям А. А. Шиголева, Л. Н. Бабушкина, И. Г. Грингофа, *предвесенье начинается от даты устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0 °С в сторону повышения и заканчивается датой устойчивого перехода через 5 °С. Эта дата одновременно знаменует начало весны, когда средняя суточная температура устойчиво превышает 5 °С. В южных регионах весна заканчивается и начинается лето, когда средняя суточная температура воздуха устойчиво превышает 20 °С, в средней полосе России — 15 °С. Даты, когда средняя суточная температура устойчиво переходит через эти пороги в сторону понижения, считаются началом осени (осеннего сезона). Окончанием осени считается дата устойчивого перехода температуры через 5 °С в сторону понижения. Период времени, ограниченный датами устойчивого перехода средней суточной температуры через 5 °С и через 0 °С, называется предзимьем. Зима — это сезон с устойчивой средней суточной температурой ниже 0 °С.*

Совершенно очевидно, что от года к году даты устойчивого перехода средней суточной температуры через названные пороговые значения изменяются под влиянием конкретных условий погоды. Поэтому в агроклиматологии, в частности при установлении агроклиматических сезонов, используются средние многолетние значения.

5.3. Агроклиматические ресурсы территории

В любой стране размещение различных видов сельскохозяйственного производства складывалось в результате многовекового практического опыта и изучения агроклиматических условий конкретных территорий. *Агроклиматическими условиями называются сочетания агрометеорологических факторов, осредненных за многолетний период. Агрометеорологические факторы рассмотрены в главе 1. Совокупность агроклиматических условий, опре-*

деляющих количество получаемой сельскохозяйственной продукции на конкретной территории, называют *агроклиматическими ресурсами*. Это определение приводится в Государственном стандарте 17713—89.

Как известно, все природные ресурсы условно делятся на *возобновляемые и невозобновляемые*. К последним относятся, например, полезные ископаемые, многие минералы и т. п. Для возобновления некоторых природных ресурсов, например для восстановления почвенного плодородия, популяций животного мира, лесных массивов, требуется весьма длительное время. В отличие от них, агроклиматические ресурсы возобновляются непрерывно (солнечная радиация, тепло) или почти непрерывно (влага, ветер и т. п.).

Разница в агроклиматических ресурсах определяет зональные особенности сельскохозяйственного производства и его экономическую и социальную эффективность. В связи с этим изучение агроклиматических ресурсов любой территории — от континентов до административных областей и районов — для рационального размещения сельскохозяйственных культур и пород животных, проведения различных мелиоративных мероприятий с целью наиболее полного использования имеющихся ресурсов является большой научной и практической задачей.

Детальному изучению агроклиматических ресурсов посвящено множество работ крупнейших ученых: А. И. Воейкова, П. И. Броунова, С. А. Сапожниковой, П. И. Колоскова, И. А. Гольцберг, Д. И. Шапко, Ф. Ф. Давитая, А. М. Шульгина, Л. Н. Бабупкина, Ю. И. Чиркова, — а также многих их учеников и последователей.

Рассмотрим в основных чертах агроклиматические ресурсы Российской Федерации и некоторых сопредельных стран.

Радиационные и термические ресурсы. Солнечная радиация, поступающая на поверхность Земли, является основным энергетическим источником жизнедеятельности растений, животных и человека. Энергетической основой земледелия служит суммарная солнечная радиация, особенно ее часть — фотосинтетически активная радиация (ФАР) (см. раздел 1.1). Например, приход ФАР за период с температурой воздуха выше 10°C в зоне тундры составляет $400\ldots 450 \text{ МДж/м}^2$, а в пустынях умеренных широт $1900\ldots 2300 \text{ МДж/м}^2$. Распределение ФАР по территории Российской Федерации и сопредельных стран приведено на рис. 1.4.

Основным фактором, определяющим разнообразие сельскохозяйственных культур и пород животных на той или иной территории, является количество тепла за период вегетации или сезон. На территории России и сопредельных стран термические ресурсы ве-

гетационного периода изменяются в широких пределах в зависимости от географической широты и высоты местности над уровнем моря. Так, у северной границы земледелия сумма активных температур выше 10°C составляет около 300°C , на крайнем юге Туркменистана она увеличивается до 5000°C (см. рис. 1.12). Продолжительность периода с температурой выше 10°C изменяется от 60 дней на севере России до 250 дней на юге азиатских государств, входивших в состав СССР. В умеренных широтах период со средней суточной температурой воздуха выше 10°C соответствует вегетационному периоду большинства сельскохозяйственных культур. Ограничивающим фактором являются весенние и осенние губительные заморозки. Беззаморозковый период (см. раздел 2.1) на юге Узбекистана и Туркменистана составляет 250...320 дней, а в зоне тундры — 40...50 дней. В ряде мест Арктического побережья России заморозки могут наблюдаться в течение всего лета.

В соответствии с распределением ресурсов тепла обеспеченность созревания зерновых культур на территории основных зерносеющих районов колеблется в значительных пределах. Например, в северных районах обеспечено созревание только наименее требовательных к теплу ранних яровых культур и озимой ржи, в южных — таких теплолюбивых культур, как просо, кукуруза, рис. На юге вызревают также хлопчатник, многие бахчевые культуры и др.

По термическому режиму территорию России и сопредельных стран подразделяют на следующие пояса (табл. 5.7): *арктический*,

Таблица 5.7

Термические пояса на территории России и сопредельных стран
(по С. А. Саложниковой)

Пояс	ΣT за период с температурой выше 10°C		Характер земледелия
	Европейская часть России, Западная Сибирь, республики Азии	Восточная Сибирь, Дальний Восток	
Арктический	Менее 400	Менее 400	Закрытый грунт
Субарктический	400...1000	400...800	Оазисное
Умеренный	1000...5000	800...2600	Открытый грунт теплого периода
Субтропический	Более 3600 (при среднем из абсолютных минимумов выше -10°C)	—	Субтропические многолетние культуры
Горные районы	Более 1000	—	Открытый грунт с учетом экспозиции склонов

субарктический, умеренный, субтропический, а также горные районы, внутри которых выделяют вертикальную зональность (поясность). *Вертикальная зональность, или поясность, является основной географической закономерностью разделения сложного комплекса природных условий в горах, сформировавшегося под влиянием абсолютной высоты местности над уровнем моря (Мирового океана), ориентации хребтов по отношению к влагонесущим потокам воздуха, экспозиции и крутизны склонов, режима горно-долинной циркуляции воздуха и других факторов.*

Ресурсы влаги. Ресурсы почвенной влаги в районах неорошаемого земледелия формируются в основном за счет атмосферных осадков. Общая закономерность распределения по территории среднего многолетнего количества осадков за год известна: происходит их сокращение с северо-запада на юго-восток. Вследствие возрастания испаряемости в этом же направлении обеспеченность сельскохозяйственных культур влагой уменьшается в значительно большей степени, чем количество осадков.

В горных районах количество осадков зависит от расположения основных хребтов по отношению к влагонесущим потокам воздуха и от абсолютной высоты над уровнем моря. Хребты, расположенные вдоль основных влагонесущих потоков, получают незначительное количество осадков. Горные хребты, расположенные поперек влажных воздушных потоков, особенно наветренные склоны гор, оказываются сильно увлажненными. В таких горах общей закономерностью является увеличение количества осадков от предгорий до абсолютных высот 3...4 тыс. м над ур. м. Выше количество осадков уменьшается, что связано с уровнем (высотой) облачных систем, несущих осадки.

Всю территорию России и республик СНГ условно подразделяют на три зоны: влажную, засушливую и сухую, каждую из которых, в свою очередь, делят на подзоны (табл. 5.8). Карта-схема зон увлажнения этой территории представлена на рис. 5.3.

Во влажной зоне годовое количество осадков превышает испаряемость, поэтому урожайность сельскохозяйственных культур снижается обычно от переувлажнения почвы и недостатка тепла. В засушливой зоне сумма осадков за год меньше испаряемости; зачастую в этих условиях посевы сельскохозяйственных культур испытывают недостаток во влаге, что приводит к значительным колебаниям урожайности от года к году. В сухой зоне количество осадков в несколько раз меньше испаряемости, поэтому возделывание сельскохозяйственных культур без орошения нерентабельно.

Для возделывания сельскохозяйственных культур принципиальное значение имеет не только количество атмосферных осадков, но и их распределение в течение года. Одним из показателей годо-

Таблица 5.8

Зоны, подзоны и вероятность числа лет с различным увлажнением

Зона	Подзона	ГТК за июнь— август	Природная зона	Вероятность числа лет, %					
				сухих	очень засуш- ливых	засуш- ливых	слабо засуш- ливых	влаж- ных	перебыва- но увлаж- ных
Влаж- ная	Избыточно влажная	> 1,6	Тайга (глебово-подзолистые и подзолистые почвы)	0	0	5	10	25	60
	Влажная	1,6...1,3	Тайга и лиственные леса (подзолистые почвы)	0	5	10	25	30	30
Засуш- ливая	Слабо засуш- ливая	1,3...1,0	Лесостепь	0	15	25	30	20	10
	Засушливая	1,0...0,7	Типичная степь (обыкновен- ные черноземы)	10	25	35	20	5	< 5
Сухая	Очень засушливая	0,7...0,4	Степь (южные черноземы и темно-каштановые почвы)	35	45	15	5	< 5	0
	Сухая	0,4...0,2	Полупустыня (светло-кашта- новые почвы)	75	20	< 5	0	0	0
	Очень сухая	< 0,2	Пустыня (песчаные и серо- бурые почвы)	100	< 5	0	0	0	0

вого хода осадков является соотношение сумм осадков теплого (апрель—сентябрь) и холодного (октябрь—март) периодов.

В северных регионах годовое количество осадков распределяется практически равномерно по сезонам (и месяцам). В теплое полугодие в умеренных широтах на европейской части России выпадает в 1,5...2 раза больше осадков, чем в холодное, в Сибири — в 2...3 раза больше, а в Забайкалье и на юге Дальнего Востока — в 4 раза больше. Естественно, что большие суммы осадков в теплое полугодие улучшают влагообеспеченность растений в вегетационный период.

Для южных регионов описываемой территории характерно неравномерное распределение осадков в течение года: максимум осадков приходится на зимне-весенние месяцы, минимум — на летне-осенние. Часто в июле—августе осадки вообще не выпадают. Поэтому в южных и юго-восточных районах недостаток естественного увлажнения ограничивает использование сельскохозяйственными посевами больших ресурсов тепла, солнечной энергии и плодородия почв для формирования высоких урожаев. В отдельные годы в северных и северо-западных районах нечерноземной зоны наблюдается избыточное увлажнение в вегетационный период.

Годовые суммы осадков в пределах зон, подзон, областей, районов и по пунктам варьируют от года к году в широких пределах (табл. 5.9). Весьма важен также характер выпадения осадков в теплое полугодие. Ливневые дожди большой интенсивности нередко в сочетании с сильным ветром неблагоприятны для растений. В таких случаях потоки воды, быстро стекающие в понижения рельефа, способствуют развитию процессов эрозии почвы. Сильные ливни вызывают полегание посевов, повреждают растения, мешают проведению различных сельскохозяйственных работ. Спокойное выпадение осадков (обложные дожди) наиболее благоприятно для посевов; почва успевает впитывать влагу, не нарушается ее структура, не смыывается верхний, наиболее плодородный слой. Однако затяжные, продолжительные дожди, вызывающие переувлажнение почвы, становятся причиной полегания созревающих культур, прекращения полевых работ (см. раздел 2.4).

Для летних осадков характерна большая изменчивость их количества даже в пределах небольшой территории. Так, по данным сектора сельскохозяйственной метеорологии ИЭМ, в Калужской области на специально созданном метеорологическом полигоне, каждая сторона которого была равна 60 км, суммы летних осадков колебались в пределах 200 %.

В южных регионах (сухая зона) эффективность земледелия обеспечивается орошением. Высокий уровень мелиорации засушливых земель в суверенных государствах Азии и Закавказья позво-

Таблица 5.9

Примеры распределения осадков в различных зонах и пунктах

Зона	Пункт	Период		средняя	Сумма осадков за год		Максимум за сутки
		холодный	теплый		максимальная	минимальная	
Влажная	Батуми (Аджария)	1239	1460	2699	3943	1299	261
	Владивосток	121	710	831	1076	371	210
	Вологда	132	397	529	804	403	73
Засушливая	Херсон (Украина)	112	231	343	517	161	72
	Саратов	141	273	414	—	—	—
	Новосибирск	131	275	406	512	188	47
Сухая	Ашгабад (Туркменистан)	144	100	244	377	147	77
	Ширабад (Узбекистан)	117	37	154	231	72	52
	Бузаубай, Кызылкум (Узбекистан)	53	25	78	165	30	29

ляет выращивать большой ассортимент сельскохозяйственных культур высокого качества.

Условия перезимовки сельскохозяйственных культур. Для зимующих сельскохозяйственных культур, в том числе плодовых, ягодных, наряду с ресурсами тепла и влаги большое значение имеют условия холодного периода. Для территории Российской Федерации и сопредельных стран характерны большие контрасты зимних условий.

Агроклиматические условия перезимовки озимых культур обычно характеризуются такими показателями, как средняя температура воздуха самого холодного месяца (январь), средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха и почвы, длительность зимнего периода (сезона), высота и число дней устойчивого снежного покрова. Для общей характеристики условий перезимовки используют показатели суровости и снежности зимы. Например, А. М. Шульгин предложил определять *степень суровости зимы* по средней месячной температуре января: теплая ($> 5^{\circ}\text{C}$), очень мягкая ($0...-5^{\circ}\text{C}$), умеренно мягкая ($-5...-10^{\circ}\text{C}$), умеренно холодная ($-10...-20^{\circ}\text{C}$), холодная ($-15...-25^{\circ}\text{C}$), очень холодная ($-20...-25^{\circ}\text{C}$), умеренно суровая ($-25...-30^{\circ}\text{C}$), суровая ($-30...-35^{\circ}\text{C}$), очень суровая ($-35...-40^{\circ}\text{C}$), жестокая ($-40...-45^{\circ}\text{C}$), очень жестокая (ниже -45°C).

П. И. Колосков предложил другой показатель оценки степени суровости зимы — средняя многолетняя сумма отрицательных средних суточных температур воздуха — и выделил семь типов зимы: очень мягкая (меньше -500°C), мягкая ($-500...-1000^{\circ}\text{C}$), типично русская ($-1000...-1500^{\circ}\text{C}$), более холодная ($-1500...-2000^{\circ}\text{C}$), холодная ($-2000...-4000^{\circ}\text{C}$), суровая ($-4000...-6000^{\circ}\text{C}$), жестокая (больше -6000°C).

Снежность зимы определяют по высоте снежного покрова в середине зимнего периода. По этому показателю выделяют зимы: бесснежную (менее 5 см), очень малоснежную (5...10 см), малоснежную (10...20 см), умеренно снежную (20...40 см), достаточно снежную (40...60 см), многоснежную (более 60 см).

Незначительный снежный покров в сочетании с суровыми зимами препятствует возделыванию озимых культур в таких регионах, как юг Западной Сибири, северная часть Казахстана, юго-восток России и др.

Для озимых зерновых культур и многолетних трав комплексным агроклиматическим показателем условий перезимовки служит среднее значение из абсолютных годовых минимумов температуры почвы на глубине залегания узла кущения злаков и корневой шей-

ки трав. Оно изменяется на описываемой территории от -4°C на юге до -32°C на северо-востоке. Изотерму средних из абсолютных минимумов температуры воздуха $-15\ldots-18^{\circ}\text{C}$ принято считать границей между укрываемой и не укрываемой на зиму культурой винограда.

Зооклиматические ресурсы и животноводство. Одно из научных направлений зоометеорологии — зооклиматология. Зооклиматология изучает климатические условия применительно к сельскохозяйственным животным, выявляет степень благоприятности климатических условий конкретной территории для содержания и выпаса животных, получения продукции (мясо, молоко, шерсть и т. п.) с учетом биологических особенностей пород животных.

На территории России и сопредельных государств сложились различные формы специализации животноводства в соответствии с особенностями природных и экономических условий. Например, в северо-западных регионах преобладает мясо-молочное животноводство (крупный рогатый скот и свиньи), в азиатских республиках основу составляет овцеводство; большое значение имеет разведение коз, верблюдов и домашней птицы.

В северных регионах с холодной, снежной и продолжительной зимой преобладает *стойловое содержание* животных, в летний период — *пастбищное*. В южных регионах овцы содержатся на пастбищах круглогодично с использованием в периоды ненастья временных укрытий от непогоды. В случаях сильных похолоданий и снегопадов скот укрывают в загонах или на теплых фермах (кутанах).

При круглогодичном содержании животных на пустынных и полупустынных пастбищах особенно необходим учет влияния на животных неблагоприятных условий. В южных регионах весеннее отрастание трав и возможность перехода выпасаемого поголовья на зеленый подножный корм обычно совпадает с началом окота овец. На животноводческих фермах, благодаря внедрению системы искусственного осеменения овец, периоды весеннего окота планируются с учетом биологических особенностей пород животных и зооклиматических условий территории. Однако первая половина весеннего периода (март—апрель) обычно отличается неустойчивостью; часты возвраты дождливой, холодной и ветреной погоды, особенно опасной для новорожденных ягнят. Для принятия хозяйственных решений на фермах используются зооклиматические карты наиболее вероятных декад начала пастбищного периода и рациональных сроков окота овец (рис. 5.13, 5.14).

Зимой неблагоприятными факторами являются низкие температуры, ветер, снежный покров, летом — высокие дневные температу-

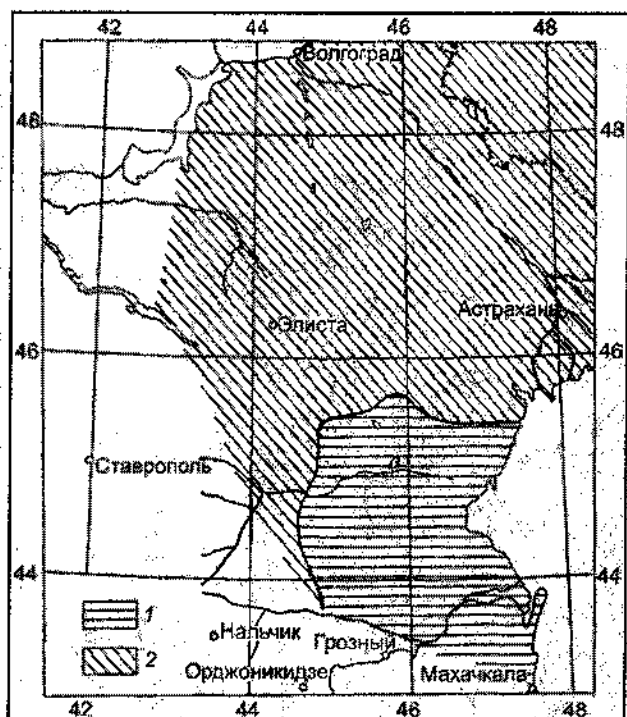


Рис. 5.13. Зоны наиболее вероятных декад начала пастбищного периода и рациональных сроков оюта овец в Западном Прикаспии.

1 — начало выпаса в первой декаде апреля, массовый оют овец в начале апреля; 2 — начало выпаса во второй декаде апреля, массовый оют овец в середине апреля (по Н. А. Конюхову, 1959)

ры воздуха и почвы, горячий ветер, высокая интенсивность солнечной радиации, штиль, низкая относительная влажность воздуха.

В 1960—1970-е годы в Казахстане широкое развитие получили зоометеорологические и зооклиматические исследования применительно к пастбищному животноводству (Н. А. Конюхов, А. П. Федосеев, А. И. Чекерес и др.). Известно, что в летние месяцы температура воздуха 24...27 °С угнетает овец, находящихся на выпасе. Для характеристики условий летнего выпаса овец А. И. Чекерес предложил климатический индекс K_{λ} :

$$K_{\lambda} = N_{\lambda} / L_{\lambda}, \quad (5.6)$$

где N_{λ} — число жарких летних дней с температурой воздуха днем выше 24...27 °С; L_{λ} — продолжительность периода между первым и последним жарким днем.

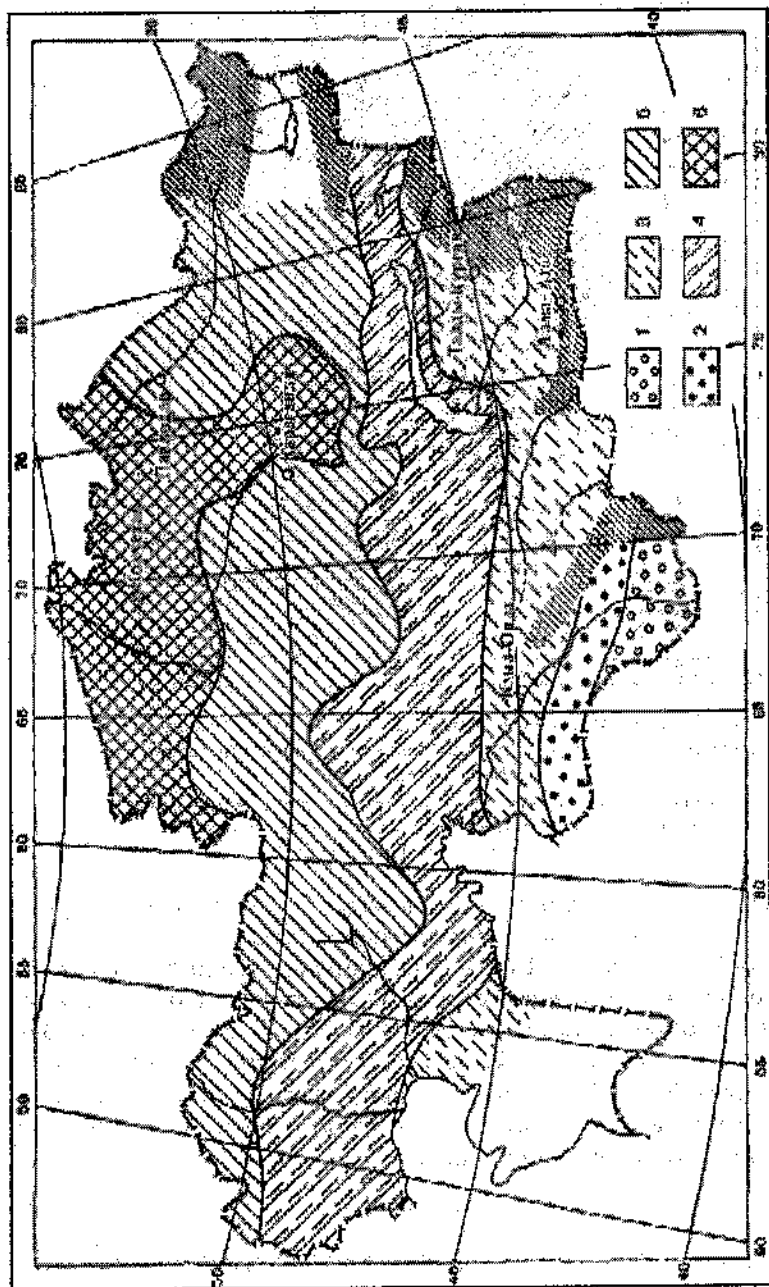


Рис. 5.14. Зоны наиболее вероятных декад начала пастбищного периода и рациональных сроков оюта овец в Казахстане.
 1 — вторая декада марта (южная пустынная зона); 2 — третья декада марта (предгорно-пустынная зона); 3 — первая декада апреля (пустынная зона); 4 — вторая декада апреля (пустынно-степная зона); 5 — третья декада апреля (степная зона); 6 — первая декада мая (северная степная зона) (по Н. А. Конюхову, 1956)

В качестве примера изменчивости индекса K_d приведем табл. 5.10.

Таблица 5.10

Значения индекса K_d в зависимости от географической широты. Казахстан (по А. И. Чекересу, 1972)

Метеостанция	Географическая широта, ...° с. ш.	Продолжительность периода между первым и последним жарким днем	Число жарких дней ($T > 24...27^\circ\text{C}$)	Индекс K_d
Булаево	54	97	27	0,22
Тургай	49	112	43	0,38
Челкар	47	119	50	0,42
Аккум	43	165	107	0,65
Орнбасар	41	164	121	0,74

Как видно из этой таблицы, с увеличением географической широты местности влияние неблагоприятной жаркой погоды снижается ($K_d = 0,22$), а с уменьшением — возрастает ($K_d = 0,74$).

Характеристика условий зимнего содержания овец выражается индексом K_s :

$$K_s = N_s/L_s. \quad (5.7)$$

Распределение индекса K_s по территории Казахстана характеризуется ростом его значения к северу и убыванием к югу. Так, например, на 54° с. ш. (Благовещенск) среднее многолетнее значение K_s составляет 0,63, а на 42° с. ш. (Чардара) — 0,10. Следовательно, большим многолетним значениям K_d соответствуют меньшие значения K_s и наоборот. Критерием суровости климатических условий применительно к овцеводству в Казахстане принят общий биоклиматический индекс R (по А. И. Чекересу): $R = K_s/K_d$; раскрыв значения K , получим:

$$R = N_s L_n / N_d L_s. \quad (5.8)$$

Средние многолетние значения критерия суровости R изменяются в зависимости от комплекса физико-географических условий Казахстана, уменьшаясь с севера на юг и с востока на запад. Биоклиматический индекс R применительно к овцеводству в Казахстане хорошо отражает особенности наиболее ответственных периодов (летнего и зимнего) содержания овец на пастбищах. Пространственное распределение значений индекса R на территории Казахстана позволило выделить четыре зоны, различающиеся степенью благоприятности содержания овец. Эти зоны, ограниченные с юга соответствующим значением R , представлены на рис. 5.15: зона 1 — преоб-

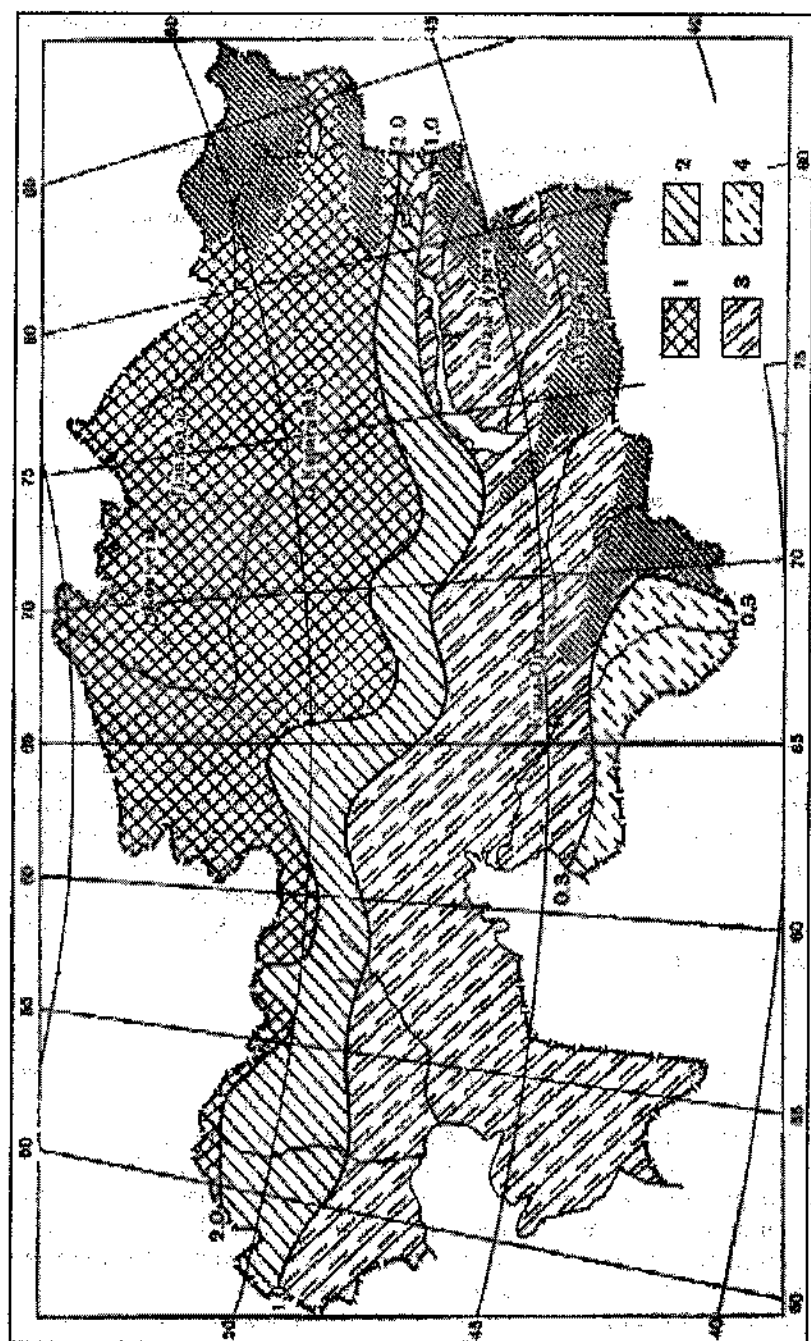


Рис. 5.15. Климатическое районирование территории Казахстана применительно к пастбищному овцеводству
Зоны выделены по значениям биоклиматического индекса K (по А. И. Чекареву, 1972)

ладающее непрерывное стойловое содержание овец зимой и благоприятные условия в период летнего выпаса ($R = 2,00$); зона 2 — стойлово-пастбищное содержание овец зимой и затрудненные условия летнего выпаса тонкорунных овец ($R = 1,00$); зона 3 — пастбищно-полустойловое содержание овец зимой, затрудненные условия летнего выпаса для грубошерстных и неблагоприятные условия для тонкорунных овец ($R = 0,30$); зона 4 — преобладающее пастбищное содержание зимой и крайне жесткие условия в период летнего выпаса для всех пород овец ($R < 0,30$).

Исторически сложившаяся в Казахстане система содержания овец хорошо согласуется с районированием по биоклиматическому индексу R .

5.4. Методы агроклиматического районирования территории

Различия в агроклиматических ресурсах определяют зональные особенности сельскохозяйственного производства. Изучение и оценка агроклиматических ресурсов любых территорий, связанных с сельскохозяйственным производством, относятся к задачам большой научной и практической значимости. Планирование крупных сельскохозяйственных мероприятий, таких как внедрение новых культур, подбор сортов и гибридов, применение новых приемов агротехники, освоение новых производственных площадей и тому подобное, должно сопровождаться научным агроклиматическим обоснованием экологической и экономической целесообразности.

Сопоставление агроклиматических ресурсов различных территорий по степени их благоприятности для сельскохозяйственного производства составляет сущность агроклиматического районирования. *Агроклиматическое районирование — это деление той или иной территории по признаку соответствия агроклиматических ресурсов потребностям сельскохозяйственных культур.* Главная задача такого районирования заключается в выделении территорий, характеризующихся агроклиматическими особенностями, выраженными агроклиматическими показателями и спецификой сельскохозяйственного производства. Результатом агроклиматического районирования является составление агроклиматических карт заданного масштаба различных территорий — от мировых до отдельных административных районов и хозяйств. Содержание агроклиматических карт представляет собой картографическое выделение различных таксономических агроклиматических единиц: пояса, провинции, зоны, области, районы, подрайоны, хозяйства и т. п.

Таким образом, агроклиматическое районирование дает научное обоснование размещения современных сортов сельскохозяйственных культур и различных систем землепользования.

Деление территории по степени однородности климатических условий применительно к различным отраслям животноводства — овецоводству, оленеводству и т. п. — а также к различным породам животных называется зооклиматическим районированием. При проведении зооклиматического районирования прежде всего учитывается сочетание неблагоприятных для сельскохозяйственных животных экстремальных метеорологических условий, например, соотношения числа невыпасных дней в зимний период или неблагоприятных жарких дней летом. Различают два вида агроклиматического районирования — общее и частное.

Общее агроклиматическое районирование характеризует распределение по территории основных элементов климата, количественно выражающих степень благоприятности климата (по показателям обеспеченности теплом и влагой вегетационного периода, по условиям перезимовки и т. д.) для всех или большинства отраслей сельского хозяйства.

Впервые карта общего агроклиматического районирования территории СССР была составлена в 1933 г. Г. Т. Селяниновым. Условия теплообеспеченности территории страны были оценены им по суммам температур выше 10 °С. На этой основе были выделены четыре термических пояса: арктический, полярный, умеренный и субтропический с разделением на 16 климатических областей по режиму увлажнения (годовому ходу обеспеченности растений влагой, характеру осадков, повторяемости засух, интенсивности стока и испарения). Области разделены на 32 провинции по степени континентальности климата, которая определяется продолжительностью вегетационного периода, времени залегания снежного покрова и повторяемостью засух. Условия влагообеспеченности территории оценивались по гидротермическому коэффициенту (ГТК) — коэффициенту Селянинова. Позднее вопросы агроклиматического районирования разрабатывались в трудах П. И. Колоскова, С. А. Сапожниковой, Д. И. Шашко, Л. Н. Бабушкина, А. М. Шульгина и других, предложивших свои агроклиматические показатели. Так, П. И. Колосков в основу агроклиматического районирования СССР (1958) положил оценку тепловых и водных ресурсов, а также степень суровости и снежности зимнего периода. Он выделил семь агроклиматических регионов, подразделяющихся на провинции. Регион охватывает территорию, имеющую более или менее однородный климат, определенную специализацию сельского хозяйства и систему земледелия. Провинции выделены по климати-

ческим условиям зимы (суммам отрицательных температур воздуха и высоте снежного покрова).

В 1920—1960-е годы было выполнено общее агроклиматическое районирование отдельных крупных регионов страны. Назовем в качестве примера некоторые наиболее крупные работы: территория Дальнего Востока (П. И. Колосков, 1925); субтропиков СССР (Г. Т. Селянинов и др., 1938); Казахстана (П. И. Колосков, 1947; А. П. Федосеев, 1964); Алтайского края (А. М. Шульгин, 1948); Украины (С. А. Сапожникова, 1964); Средней Азии (Л. Н. Бабушкин, 1964) и др. Разными авторами при региональном агроклиматическом районировании зачастую применялись свои собственные агроклиматические показатели. Например, при оценке холодного времени года в Средней Азии Л. Н. Бабушкин разработал и применил следующие показатели: процент „вегетационных“ зим, коэффициент использования термических ресурсов различными сортами хлопчатника, время наступления почвенной засухи на богарных посевах и др.

Выполненное Д. И. Шапко агроклиматическое районирование СССР (1967, 1985) отличается большой детальностью и сопряженностью с природным и почвенным районированием страны. Это направление получило дальнейшее развитие в совместных трудах исследователей ВАСХНИЛ (ныне Российская академия сельскохозяйственных наук — РАСХН), Московского университета (МГУ). Коллективом ученых (Д. И. Шапко, А. Н. Каптанов, Н. Н. Розов, Г. В. Добровольский и др.) была разработана и опубликована (1984) карта „Природно-сельскохозяйственное районирование земельного фонда СССР“, научная и практическая значимость которой чрезвычайно велика. Это был первый и весьма удачный опыт составления комплексной карты, охватывающей все разнообразие природных условий, в том числе почвенных, агроклиматических и других условий, а также особенности сельскохозяйственных культур и спецификацию сельскохозяйственного производства. На карте выделены три природно-сельскохозяйственных пояса: *холодный, умеренный, теплый субтропический*. Главный признак выделения поясов — теплообеспеченность сельскохозяйственных культур суммами температур выше 10 °С. Внутри поясов выделено 14 равнинных природно-сельскохозяйственных зон и 8 горных областей. Зона рассматривается авторами как основная единица районирования, характеризующаяся определенным соотношением тепла и влаги. Горные области имеют высотную зональность и связанные с ней особенности сельскохозяйственного использования земель.

Зоны подразделяются на природно-хозяйственные провинции, которые различаются по степени континентальности климата, суровости и снежности зимы, по тепло- и влагообеспеченности веге-

тационного периода и биологической продуктивности земель. На территории бывшего СССР было выделено 21 горная и 47 равнинных провинций; провинции подразделены на 256 равнинных и 28 горных округов, различающихся геоморфологическими и гидрологическими особенностями, типом почвообразования и климатическими характеристиками.

Частное агроклиматическое районирование характеризует условия произрастания отдельных сельскохозяйственных культур, их сортов и гибридов, а также специализацию сельскохозяйственной продукции, приемов агротехники по их эффективности в различных почвенно-климатических зонах. При районировании используются агроклиматические показатели, выражающие потребность конкретных сортов и гибридов высеваемых культур в факторах климата. Учитываются также неблагоприятные явления погоды, такие как засухи, суховеи, условия перезимовки, сроки наступления поздних весенних и ранних осенних заморозков, степень их вероятности и т. п.

Частное агроклиматическое районирование проводилось многими учеными: Г. Т. Селяниновым (1930-е гг.) по субтропическим цитрусовым культурам Черноморского побережья Кавказа; Ф. Ф. Давитая (1948, 1952 гг.) — по винограду, Л. Н. Бабушкиным (1960 г.) — по хлопчатнику, А. И. Руденко (1963 г.) — по картофелю, Л. С. Кельчевской (1964 г.) — по сахарной свекле, Ю. И. Чирковым (1969 г.) — по кукурузе, В. М. Степановой (1972 г.) — по сое. В качестве примера частного агроклиматического районирования на рис. 5.16 представлена карта зон обеспеченности теплом и влагой различных по скороспелости сортов и гибридов кукурузы, выполненная Ю. И. Чирковым. Пояснения к карте приведены в табл. 5.11 и 5.12.

В 1960—1990-е годы широкое развитие получили работы по агроклиматическому обоснованию проведения агротехнических мероприятий в различных регионах страны. Было выполнено частное агроклиматическое районирование по срокам и нормам высева семян, внесения удобрений, поливов с учетом агроклиматических ресурсов (М. С. Кулик, А. П. Федосеев, В. П. Дмитренко, М. Г. Лубнин, З. А. Шостак, Н. В. Гулинова и др.).

На рис. 5.17 показан пример районирования территории по повторяемости лет, в которые целесообразно проводить весеннюю подкормку озимых культур (А. П. Федосеев, 1979).

Широкое распространение получило совместное применение элементов общего и частного агроклиматического районирования при подготовке агроклиматических справочников по территориям республик, краев, областей и отдельных хозяйств. Такие справочники, изданные в 1970—1980-х годах практически по всем республикам,

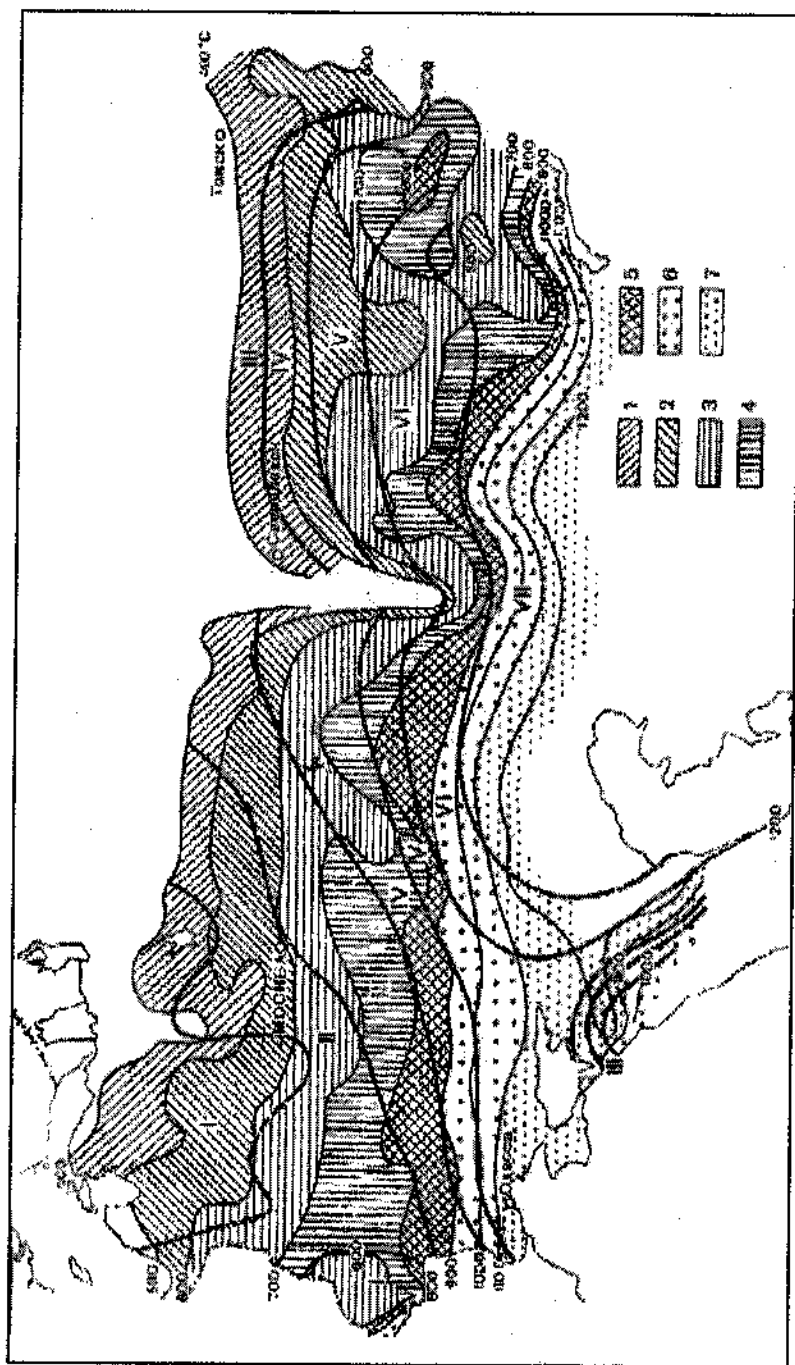


Рис. 5.16. Зоны обеспеченности теплом и влагой различных по скорости созревания сортов и гибридов кукурузы на территории Российской Федерации и сопредельных государств (по Ю. И. Чиркову, 1969)
Пояснения см. табл. 5.11 и 5.12

краям и областям бывшего СССР, содержат три основных раздела: 1. Агроклиматические ресурсы территории; 2. Агроклиматические условия проведения полевых работ; 3. Агроклиматические условия произрастания сельскохозяйственных культур, возделываемых на описываемой территории.

Таблица 5.11

Обеспеченность теплом различных по скороспелости сортов и гибридов кукурузы в фазах выметывания (числитель) и восковой спелости (знаменатель), % лет (по Ю. И. Чиркову, 1969)

Термическая зона	$\Sigma T_{>10^{\circ}\text{C}}$, обеспеченные в 80 % лет, $^{\circ}\text{C}$	Сорта и гибриды			
		средне-ранние	средне-спелые	средне-поздние	поздне-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
		100	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...1000	100	100	100	100
		100	82...100	55...90	40...80
7	> 1000	100	100	100	100
		100	100	90	80

Таблица 5.12

Ресурсы влаги, обеспеченные в 80 % лет (весенние запасы в слое почвы 0...100 см плюс осадки за период вегетации), в зонах увлажнения I—VII (по Ю. И. Чиркову, 1969)

Зона	Ресурсы влаги, мм	Зона	Ресурсы влаги, мм
I	400	V	200...250
II	350...400	VI	150...200
III	300...350	VII	150
IV	250...300		

Агроклиматическое районирование территории в этих справочниках проведено по условиям тепло- и влагообеспеченности на основе их оценки по суммам температур выше 10°C и среднему зна-

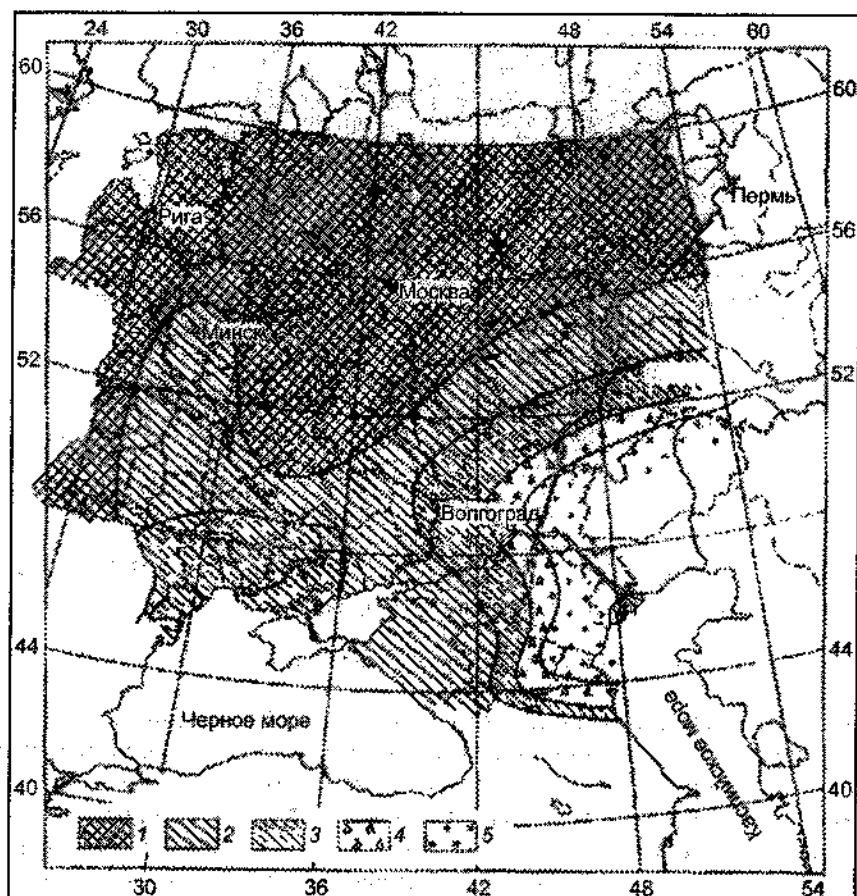


Рис. 5.17. Районирование территории по повторяемости лет целесообразности весенней подкормки озимых культур азотом (по А. П. Федосееву, 1979).

1 — 90...100 %, 2 — 70...89 %, 3 — 50...69 %, 4 — 30...49 %, 5 — менее 30 %

чению ГТК за вегетационный период. В качестве примера на рис. 5.18 приводится агроклиматическое районирование Актыбинской области, неоднородной по агроклиматическим условиям. В ней выделено пять агроклиматических районов, их характеристика приведена в табл. 5.13. Малая изменчивость рассматриваемых показателей на небольших равнинных территориях не позволяет выделить более мелкие таксономические единицы. Действительное разнообразие факторов, определяющих уровень урожайности сельскохозяйственных культур в различных частях территории, обусловлено (помимо применяемой агротехники) неодинаковыми физико-географическими условиями (рельеф, почвы, уровень их засо-

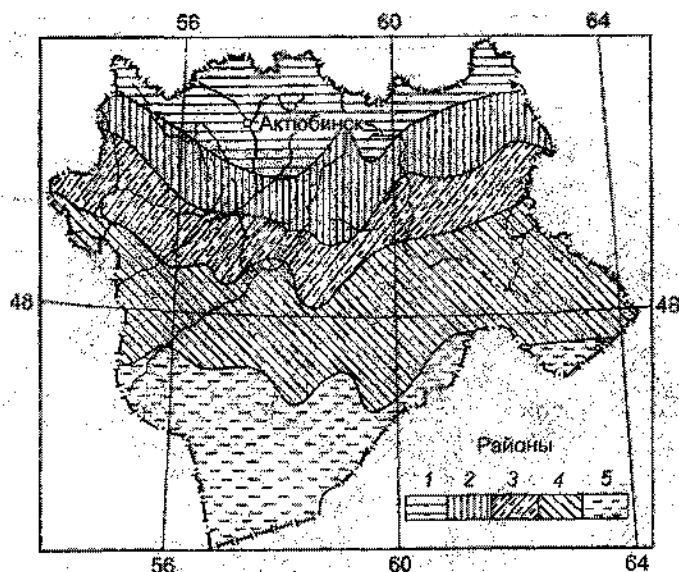


Рис. 5.18. Агроклиматическое районирование Актюбинской области

Характеристики агроклиматических районов см. в табл. 5.13

ленности, степень облесенности, характер заболоченности и т. п.). Для учета всех особенностей изучаемой территории используются детальные почвенные и агрохимические карты, материалы геоморфологических съемок и другие дополнительные материалы.

Агроклиматическое районирование территорий отдельных хозяйств проводится на крупномасштабных почвенных картах. При этом привлекаются данные ближайших метеорологических станций, агрометеорологических постов и материалы специальных микроклиматических съемок (см. раздел 5.8).

Таблица 5.13

Агроклиматическая характеристика районов Актюбинской области

Номер района на рис. 5.18	Характеристика районов	Сумма температур выше 10 °С, °С	ГТК (по Г. Т. Селянинову)
1	Очень засушливый, теплый	2500...2700	0,5...0,6
2	Сухой, теплый	2600...2800	0,3...0,5
3	Сухой, очень теплый	2800...3000	0,3...0,5
4	Очень сухой, умеренно жаркий	3000...3400	0,2...0,3
5	Очень сухой, жаркий	3400...3800	0,2...0,3

Агроклиматическая характеристика отдельного хозяйства должна включать следующие материалы (по Н. И. Сеницыной, И. А. Гольцберг, Э. А. Струнникову, 1970):

описание расположения угодий в связи с рельефом местности и типами почвы;

описание сезонов года в районе и сельскохозяйственных работ в конкретном хозяйстве;

описание микроклиматических особенностей территории на основе крупномасштабной карты;

справочные данные в таблицах, рассчитанные для конкретной территории.

Для агроклиматического районирования необходимы следующие материалы:

требования отдельных отраслей сельского хозяйства или отдельных его объектов (сортов и гибридов сельскохозяйственных культур) к климатическим условиям в виде агроклиматических показателей;

географическое распределение полученных агроклиматических показателей по изучаемой территории;

данные по фенологии выращиваемых сельскохозяйственных культур и основным пастбищно-сенокосным растениям.

Кроме того, необходимо правильно выбрать масштаб и гипсометрическую основу карты, исходя из конкретных задач районирования и размеров изучаемой территории. Агроклиматические показатели должны быть приведены к однородным рядам наблюдений общепринятыми климатологическими методами. После этого приведенные агроклиматические показатели наносятся на карту-основу. При анализе изменения агроклиматических показателей следует учитывать географические координаты (широта, долгота и высота над уровнем моря) расположения метеорологических станций, а также формы рельефа и ориентацию склонов. Изолинии соответствующих показателей проводятся по методикам, принятым в агроклиматологии (Л. С. Кельчевская, 1971; Н. В. Гулинова, 1974). Составление агроклиматической карты завершается разделением или объединением различных территорий по признакам различия или сходства агроклиматических и иных показателей, использованных в работе.

5.5. Агроклиматические аналоги

Территории, сходные по климатическим условиям существования определенных экологических групп растений, сельскохозяйственных животных и приемам земледелия, называются *агроклиматическими аналогами* (А. М. Шульгин, 1978). Теория

агроклиматических аналогов была разработана Н. И. Вавиловым, Г. Т. Селяниновым и Ф. Ф. Давитая. Она основывается на выявлении общности тех ведущих элементов климата, которые определяют оптимальные условия вегетации сельскохозяйственных культур или приемы земледелия. Существенное значение при выявлении агроклиматических аналогов имеет учет таких неблагоприятных, лимитирующих произрастание растений элементов климата, как весенние и осенние заморозки, низкие температуры, сухие или засушливые периоды, периоды переувлажнения почвы и т. п. Эти ограничивающие условия приобретают решающее значение на климатических границах возделывания культур. Например, на несколько дней более раннее или более позднее наступление ранних осенних заморозков при прочих равных условиях обуславливает невозможность возделывания отдельных культур. Следовательно, при перемещении (интродукции) сельскохозяйственных культур из одной климатической зоны в другую необходимо выявлять степень обеспеченности их климатическими ресурсами в новых районах.

Известно, что полных климатических и почвенных аналогов не существует. Поэтому подбор агроклиматических аналогов проводится с учетом не только основных факторов периода вегетации в целом, но и наиболее ответственных в жизни растений (критических) межфазных периодов развития. *В критический период растению присуща максимальная чувствительность к фактору, находящемуся в минимуме*, например, почвенная засуха в фазе купчения или выхода в трубку или низкие температуры почвы на глубине залегания узла купчения при отсутствии или малой высоте снежного покрова (см. раздел 3.2).

Практика интродуцирования сельскохозяйственных культур с использованием теории агроклиматических аналогов имеет много убедительных примеров. Так, абиссинская пшеница и горох, произрастающие в горных условиях Эфиопии, хорошо вызревают в условиях Ленинградской области, поскольку условия вегетационного периода там вполне обеспечивают потребности этих культур: средняя месячная температура около 15°C , сумма температур вегетационного периода 1700°C , достаточный режим увлажнения почвы в критические периоды жизни растений. Картофель, родиной которого являются горные районы Перу и Колумбии, широко распространен в зоне умеренного климата России — агроклиматического аналога для картофеля.

Имеются примеры и безуспешного интродуцирования растений: попытки разведения чайного куста на Дальнем Востоке и в азиатских республиках, где даже дополнительные агротехнические приемы (поливы, траншейный метод посадки) не дали положительных

результатов. Также не удалось расширить ареал хлопководства на территорию Украины, кукурузы на зерно — в северные районы России (Вологодская и Кировская области). Эти неудачи связаны с недоучетом агроклиматических условий, в частности режима увлажнения, термических условий, продолжительности светового дня и т. п.

Агроклиматическое районирование той или иной территории является завершающим этапом сельскохозяйственной оценки климата.

Отметим в заключение, что агроклиматической информации принадлежит исключительно ответственная роль при выработке *проектных решений*, нацеленных на перспективу от одного года до нескольких лет, например, при агроклиматическом обосновании рационального размещения различных сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, выборе специализации сельскохозяйственного производства для конкретных территорий, введении новых систем земледелия, создании крупных гидромелиоративных систем, размещении различных производственных объектов по переработке сельскохозяйственной продукции и др.

В качестве вспомогательной агроклиматическая информация привлекается специалистами при принятии *плановых решений*, например, при определении уровня урожайности на текущий год, потребностей в объемах оросительной воды, минеральных удобрений и ядохимикатов, при разработке сезонного графика полевых работ и т. п. В этих случаях в качестве основной используется оперативная агрометеорологическая информация о сложившихся и ожидаемых условиях. В процессе принятия плановых решений агроклиматическая информация используется в вероятностной форме. Вероятность того или иного агроклиматического показателя (или явления) выражается обычно в процентах от его повторяемости за многолетний ряд наблюдений: например, вероятность наступления фенологических фаз развития растений на определенную дату и т. д.

Климатическая и агроклиматическая информация, необходимая потребителю, содержится в различных справочниках по климату, в серии справочников „Агроклиматические ресурсы”, составленных в советские годы по всем республикам, краям и областям СССР. Карты агроклиматического районирования и карты распределения по территории основных элементов климата помещены в „Атласе сельского хозяйства СССР” (1960), в „Агроклиматическом атласе мира”, выпущенном Гидрометеониздатом в 1972 г., а также в ряде других специальных агроклиматических изданиях.

Весьма полезна для практического использования агроклиматическая информация, содержащаяся в календарях природы, календарях сезонных явлений и полевых работ. В них приводятся обычно даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0, 5 и 10 °С, даты последних весенних заморозков, фенология естественной растительности и сельскохозяйственных культур и т. п. Такие агроклиматические данные позволяют потребителю в конкретных условиях места и времени оценить возможные отклонения наблюдаемых значений от средних многолетних.

5.6. Мезоклимат, микроклимат и фитоклимат

Понятие о мезоклимате, микроклимате и фитоклимате. Агроклиматические ресурсы больших территорий неоднородны, они варьируют в пространстве под влиянием особенностей рельефа местности, значительных по площади водных поверхностей, крупных лесных массивов, в совокупности называемых *местными условиями*. Некоторыми исследователями (С. А. Сапожникова, С. П. Хромов) выделяется „местный” климат, или *мезоклимат*, в качестве промежуточного звена между *микроклиматом* больших территорий (страна, географическая зона, пояс) и *микроклиматом*, характеризующим приземный слой воздуха и почвы на ограниченной территории. В широком понимании *мезоклимат* — это климат крупных географических ландшафтов, достаточно однородных по комплексу природных условий; характеризуется обычно данными одной или двух метеорологических станций.

В значительной степени мезоклимат определяется особенностями земной поверхности в изучаемом районе, например, мезоклимат отдельного лесного массива, участка речной долины, части морского побережья и т. п. Под воздействием городских зданий формируется мезоклимат города, в пределах которого нетрудно выделить микроклимат отдельных площадей, улиц, дворов, парков и т. д.

В 1970—1980-е годы институтами гидрометеорологической службы страны проводились исследования климатических условий больших городов. Было установлено, что основное влияние на формирование мезоклимата города оказывают его расположение на местности (в котловине, на возвышенности, на склонах и т. д.), общая планировка города, направление улиц по отношению к преобладающему ветровому потоку, степень озеленения города. Так, в городах, расположенных в жарких и засушливых регионах, зеленые зоны — скверы, бульвары, аллеи, цветники — смягчают микроклимат.

Например, в знойные летние дни в Ташкенте температура воздуха под кронами деревьев на 1,4...4,7 °С ниже, чем на открытых площадях, а средние значения относительной влажности воздуха днем на 10...17 % выше по сравнению с открытыми солнечным лучам улицами и площадями (Б. А. Айзенштат, Л. П. Лукина). Установки микродождевания газонов, цветников, крон деревьев, различные виды фонтанов существенно смягчают летний зной, повышают влажность воздуха, снижают температуру воздуха, обеспечивают благоприятный водный режим для растений, создают условия для более активного воздухообмена, а в целом значительно улучшают микроклиматические условия для жизни людей в различных частях города.

Таким образом, *микроклимат* — это климат приземного слоя воздуха (обычно до высоты 2 м над поверхностью почвы) небольшой территории — района, поля, склонов возвышенностей, котловин и т. п., — обусловленный неоднородностью подстилающей поверхности, на которой неодинаково протекают процессы нагревания, охлаждения, увлажнения, высыхания, формирования снежного покрова, его таяния и т. д. Следовательно, микроклимат формируется под воздействием особенностей рельефа, режима освещенности, характера почвы, растительного покрова, близости водоемов, застроек и других объектов. Все эти факторы определяют своеобразие радиационного баланса, режима температуры и влажности воздуха и почвы, скорости ветра. Методика проведения микроклиматических наблюдений описана в главе 16.

Наиболее отчетливо микроклиматические особенности прослеживаются в приземном слое воздуха при устойчивой ясной безветренной погоде. При пасмурной, дождливой и ветреной погоде микроклиматические различия сглаживаются за счет отсутствия прямой солнечной радиации, активного перемешивания воздуха как по вертикали, так и по горизонтали. С увеличением высоты от поверхности почвы микроклиматические различия в температуре, влажности воздуха и скорости ветра также сглаживаются под влиянием турбулентного перемешивания.

Научные основы изучения микроклимата были заложены в трудах А. И. Воейкова, В. В. Докучаева, А. И. Кайгородова. Существенный вклад в развитие микроклиматологии внесли работы Г. Т. Селянинова, С. А. Сапожниковой, И. А. Гольдберг, Е. Н. Романовой, З. А. Мищенко и многих других исследователей.

Микроклимат поля, т. е. микроклимат растительного покрова и корнеобитаемого слоя почвы (ГОСТ 17713—89), часто называют *фитоклиматом*. Он формируется под влиянием динамического нарастания массы растительного покрова на климат приземного слоя

воздуха и почвы. Изучению фитолимата сельскохозяйственных полей посвящена обширная научная литература. В многочисленных исследованиях показано, что каждая сельскохозяйственная культура формирует свой фитолимат. Если сравнить несколько выровненных смежных полей, на которых посеяны пшеница, кукуруза, подсолнечник, люцерна и хлопчатник, то в период посев—всходы, когда подстилающей поверхностью является лишь обработанная почва, микроклиматические условия на этих полях будут практически идентичны. В последующие фазы развития растений, по мере нарастания их надземной массы, в среде каждой культуры формируются свои фитолиматические особенности за счет различных структуры растений, плотности посадок, высоты, облиственности, создающих неодинаковые условия затенения поверхности почвы. Кроме этого, по мере нарастания высоты и массы однородного посева растений (особенно высокостебельных и плотноростовых) на каждом отдельном поле влияние растительного покрова на изменения метеорологического режима в среде растений заметно возрастает.

Радиационный и тепловой режимы приземного слоя воздуха и почвы. Как уже отмечалось в главе 1 (раздел 1.1), большая часть солнечной радиации достигает земной поверхности, частично ею поглощается, частично отражается. Поверхность суши и водоемов излучает длинноволновую радиацию, которую поглощает атмосфера, нагреваясь при этом. Деятельный слой поверхности Земли испытывает суточные и годовые колебания температуры. Эти колебания особенно существенны на поверхности почвы, в ее верхних слоях и в приземном слое воздуха. Напомним, что *деятельный слой (или деятельная поверхность)* — это условное название поверхностного слоя, формирующего собственное тепловое излучение всех элементов подстилающей поверхности. *Подстилающей поверхностью* называется территория суши совместно с растительным покровом, водными объектами, сельскохозяйственными угодьями, с которыми соприкасается атмосфера.

Разность между значениями лучистой энергии, поступающей к деятельному слою земной поверхности и уходящей от него, называется *радиационным балансом деятельного слоя*. Уравнение радиационного баланса имеет следующий вид:

$$B = S' + D - R_{\text{в}} - E_{\text{з}} + E_{\text{а}}, \quad (5.9)$$

где B — радиационный баланс; S' — прямая солнечная радиация, приходящая на горизонтальную поверхность; D — рассеянная радиация; $R_{\text{в}}$ — отраженная радиация; $E_{\text{з}}$ — излучение земной поверхности; $E_{\text{а}}$ — встречное излучение атмосферы.

При положительном радиационном балансе (днем в теплое полугодие) деятельный слой поверхности Земли нагревается, при отрицательном (ночью в холодное полугодие) — охлаждается.

Совокупность прямой и рассеянной солнечной радиации, поступающей в естественных условиях на горизонтальную земную поверхность, называется суммарной радиацией:

$$Q = S + D. \quad (5.10)$$

Отношение отраженной части солнечной радиации $R_{\text{в}}$ ко всей приходящей (суммарной) радиации Q называется отражательной способностью деятельной поверхности, или альбедо (A):

$$A = (R_{\text{в}} / Q) \cdot 100 \%. \quad (5.11)$$

Альбедо — безразмерная величина, характеризующая отражательную способность тела или поверхности (системы тел); выражается в процентах, т. е. это — процентное отношение интенсивности солнечной радиации, отраженной поверхностью, к интенсивности радиации, приходящей на данную поверхность. Альбедо всех поверхностей зависит от угла высоты солнца над горизонтом и характера деятельной поверхности (табл. 5.14).

Таблица 5.14

Альбедо различных естественных поверхностей

(по В. Л. Гаевскому и М. И. Бudyко; А. А. Скворцову)

Поверхность	Альбедо, %	Поверхность	Альбедо, %
Свежий сухой снег	80...95	Свежая зеленая трава	Около 25
Мокрый (влажный) снег	60...70	Поля ржи и пшеницы	10...25
Загрязненный снег	40...50	Картофельное поле	15...25
Чернозем влажный	Около 8	Хлопковое поле	20...25
Чернозем сухой	Около 15	Луга с плотной растительностью	15...25
Сухая глинистая почва	20...35	Сухая степь	20...30
Сухая песчаная почва	25...45	Хвойные леса	10...15
Песок с растительностью	25	Лиственные леса летом	15...20
Вода (при самом высоком стоянии солнца)	6...10	Люцерна	19...23

Влажная поверхность почвы имеет меньшее альбедо, чем сухая. Под влиянием солнечной радиации различные участки почвы нагреваются неодинаково: влажная почва нагревается медленнее, чем сухая, оголенная — быстрее, чем покрытая растительностью. Темные почвы нагреваются быстрее, чем светлые, глинистые медленнее, чем песчаные и супесчаные, и т. д.

Водная поверхность нагревается медленнее, чем поверхность почвы, поскольку теплоемкость воды в 3...4 раза больше теплоемкости почвы. Но она и охлаждается медленнее, чем почва. С этим связаны более резкие колебания температуры поверхности почвы, чем водоемов, находящихся в идентичных условиях.

Различные типы почв характеризуются разной теплопроводностью, зависящей от минерального и механического составов почвы, ее влажности, пористости и т. п. С увеличением плотности сухих почв их теплопроводность увеличивается. Разрыхленные почвы пахотного горизонта днем теплее, чем плотные, а ночью холоднее, так как в рыхлых почвах больше воздуха, являющегося плохим проводником тепла.

Эти общезначимые закономерности, наиболее характерные для верхних слоев почвы и приземного слоя воздуха, зависят от сезона года, значения радиационного баланса, комплекса геоморфологических, почвенных условий и характера растительного покрова.

Метеорологический режим приземного слоя формируется в основном под влиянием процессов тепло- и влагообмена между почвой, растительным покровом и воздухом. Знание особенностей теплового и водного режимов приземного слоя воздуха, растительного покрова (агрофитоценоза) и корнеобитаемых горизонтов почвы позволяет разрабатывать методы активного воздействия на формирование оптимального микроклимата (фитоклимата) для сельскохозяйственных посевов. Изучение метеорологического режима, формирующегося в посевах сельскохозяйственных культур (агроценозы) и в среде естественных (природных) растительных сообществ (фитоценозы), имеет большое научно-познавательное и практическое значение.

Метеорологический режим различных сельскохозяйственных посевов и ландшафтов. Структура каждого растительного сообщества и даже его отдельных компонентов оказывает существенное влияние на формирование микроклимата окружающей среды. В свою очередь, изменение микроклимата обуславливает не только различия в развитии, росте и формировании продуктивности растений, но и неоднородность характера растительного и почвенного покровов.

Фитоклимат, формирующийся внутри травостоя, изменяется в процессе роста и развития растений, а также в зависимости от применяемой агротехники, складывающихся условий погоды. Например, в начальный период вегетации посевов микроклиматические различия определяются только влиянием рельефа местности или ориентацией склонов. Разность температур воздуха на высоте 20 см на южном и северном склонах может достигать 3...5 °C, а на поверхности почвы 10...12 °C.

По мере развития растений меняются радиационный и тепловой режимы в среде растений. Плотные посевы препятствуют проник-

новению радиации к почве, затрудняют турбулентный обмен и испарение с поверхности почвы под пологом растений. Почва меньше нагревается и меньше теряет тепла. В табл. 5.15 приводятся данные натурных фитоклиматических градиентных наблюдений за суточным ходом температуры воздуха на полях, занятых различными сельскохозяйственными культурами.

Таблица 5.15

Суточный ход температуры воздуха по высотам на полях, занятых картофелем, кукурузой и люцерной
(данные Ф. А. Муминова; среднее за 8—26 июля 1955 г.)

Время наблюдений, ч	Высота измерений, см	Температура, °С			
		пашня без растительности	картофель	кукуруза	люцерна
00	20	16,2	17,2	17,1	14,8
	50	16,4	18,0	17,7	15,5
	150	16,5	19,8	17,8	16,5
04	20	16,0	16,9	16,5	14,3
	50	16,1	17,2	17,1	15,3
	150	16,2	18,7	17,5	16,2
08	20	26,8	25,7	24,5	22,7
	50	26,4	25,8	25,0	24,1
	150	26,6	25,7	24,5	22,8
12	20	35,3	33,3	32,8	28,1
	50	34,0	33,0	32,5	28,9
	150	33,8	33,3	32,3	31,2
16	20	36,6	33,7	32,8	27,4
	50	36,7	33,8	32,8	28,7
	150	35,2	34,6	33,2	32,3
20	20	22,4	20,1	20,6	17,4
	50	22,8	20,4	20,3	17,4
	150	23,3	24,2	22,5	22,6

Высота ботвы картофеля в период наблюдений (фаза роста клубней) была 50...55 см; высота кукурузы (фаза созревания) — около 200 см; высота люцерны (фаза цветения) в начале периода была около 60...65 см, к концу периода — около 100 см.

Разность температур по срокам наблюдений между пашней и в среде различных сельскохозяйственных культур изменялась в течение суток от 3 до 9 °С. Более низкие температуры воздуха в среде посева люцерны объясняются интенсивным испарением, характерным для этой культуры. Средние суточные амплитуды оказались наибольшими на открытой пашне, на высоте 20 см; с высотой амплитуды убывают.

Многолетние фитоклиматические наблюдения, выполненные на посевах хлопчатника в Узбекистане, показали, что по характеру распределения температуры воздуха на высоте в течение вегетации выделяются три периода. В первом периоде (от начала вегетации до начала цветения хлопчатника) разности между температурами на высотах 20 и 200 см имеют положительный знак, т. е. температура с высотой понижается. Во втором периоде (от цветения до раскрытия первых коробочек) знак разностей меняется на обратный (температура с высотой повышается). В третьем периоде (от раскрытия первых коробочек до прекращения вегетации) температура вновь понижается с высотой. Динамика вертикальных градиентов характерна и для других параметров микроклиматического режима посевов сельскохозяйственных культур.

Известно, что для наступления каждой очередной фазы развития растений требуется накопление определенных сумм температур (А. А. Шиголев, Л. Н. Бабушкин и др.). Например, для прохождения периода от цветения до раскрытия первых коробочек среднеспелого сорта хлопчатника необходима сумма эффективных температур (выше 13 °C) 700...710 °C. Однако анализ многолетних наблюдений показал, что эта сумма эффективных температур, рассчитанная по данным, полученным на стандартной высоте 2 м (в метеорологической будке), изменяется от 620 до 850 °C (Ф. А. Муминов). Если же для расчета использовать данные по температуре воздуха в среде растений (на высоте 50 см), то для названного межфазного периода хлопчатнику необходимо накопление суммы эффективных температур 590 °C.

Аналогичные расчеты, выполненные в различных районах хлопкосеяния Узбекистана и Таджикистана, показали, что сумма 590 °C для этого межфазного периода является практически постоянной при измерениях в среде хлопчатника на высоте 50 см. Некоторая изменчивость этой суммы связана с условиями влагообеспеченности растений. Снижение суммы эффективных температур воздуха по сравнению с суммой, набранной по данным метеорологической будки, в засушливые годы составляет в среднем 86 °C, в годы, средние по условиям влагообеспеченности, — 134 °C, в годы оптимальной влагообеспеченности — 199 °C.

Многочисленные исследования микроклиматического режима в посевах различных сельскохозяйственных культур в разных почвенно-климатических зонах доказали, что данные о температуре и влажности воздуха на уровне 2 м не могут с достаточной точностью характеризовать формирующиеся в среде растений условия.

Особенно велика изменчивость микроклиматических условий в горах. Идея А. И. Воейкова о необходимости „получения коли-

чественных характеристик изменения режима климата в условиях горного рельефа" получила широкое развитие в исследованиях 50—70-х годов XX столетия (И. А. Гольцберг, Б. А. Айзенштата, З. А. Миценко, И. Г. Грингофа, П. А. Ана и многих других ученых). Разнообразие географического положения горных хребтов, сильное расчленение рельефа, различия в крутизне и ориентации горных склонов, большие относительные разности высот, специфика почвенного и растительного покровов определяют исключительную пространственную неоднородность радиационного и теплового режимов и условий увлажнения в горных регионах.

Режим испарения на западных и восточных склонах также неодинаков за счет различий в количестве солнечной радиации, неоднородности почвенного и растительного покровов. Например, в долине р. Ала-Арча (Киргизский хребет) в июле (по данным Б. А. Айзенштата) испарение с поверхности дна горной долины составило 150 мм, на западном склоне 147 мм, на восточном 121 мм. При этом количество испарившейся воды оказалось в 2...2,5 раза больше, чем сумма выпавших за этот месяц осадков (56 мм). Следовательно, в летние месяцы склоны и дно долины теряли запасы влаги, накопленные в почве за более влажные периоды.

Детальные микроклиматические исследования, проведенные в различных ландшафтах Киргизского хребта (П. А. Ан, И. Г. Грингоф), показали существенные различия в температурном режиме склонов и дна долины по сравнению с данными стационарных метеорологических наблюдений на станциях (табл. 5.16).

Таблица 5.16

Пространственная изменчивость сумм положительных температур воздуха в долине р. Ала-Арча (Киргизский хребет) (по П. А. Ану, И. Г. Грингофу, 1972)

Местоположение	Абсолютная высота над ур. м.	Сумма температур, °С				
		май	июнь	июль	август	май—август
Метеостанция Байтык (дно долины)	1579	410	474	655	642	2181
Профиль I						
дно долины (луг)	1850	313	389	531	427	1660
западный склон (ардовый лес)	1930	332	402	544	441	1719
восточный склон (степь)	1930	351	418	549	454	1772
Профиль II						
дно долины (горный луг)	2100	282	350	489	390	1511
западный склон (ардовый лес)	2180	308	376	512	412	1609
Метеостанция Ала-Арча (дно долины)	2945	122	187	291	245	845

Велики также градиентные различия в температуре воздуха. В горных районах Центральной Азии, где летний период достаточно сухой, распределение характеристик теплового баланса по поперечному профилю долины определяется в основном ориентацией и крутизной склонов. Преобладающая доля энергии радиационного баланса расходуется на турбулентный теплообмен.

Изучение теплового баланса и микроклимата различных ландшафтов пустынь Центральной Азии позволило выявить их особенности (Б. А. Айзенштат, М. Нурбердиев, К. Артыков, И. Г. Григгоф, П. А. Ан и др.). Характерной чертой теплового баланса незакрепленных песков летом являются интенсивный турбулентный теплообмен (85 % тепла), слабые потоки тепла в почву (песок имеет низкую теплопроводность) и отсутствие затрат тепла на испарение в связи с сухостью деятельной поверхности.

На закрепленных растительностью песках сильное влияние на тепловой баланс оказывают крупные кустарниковые формы и пустынные деревья (белый и черный саксаул, кандым и др.). Кроны этих 2...3-метровых растений задерживают от 50 до 95 % суммарной радиации, что создает неодинаковые условия нагрева почвы. Поэтому днем в песках под кронами крупных кустарников температура поверхности почвы на 9...13 °C ниже, чем на открытых незатененных участках. Суточная амплитуда температуры поверхности почвы под кронами уменьшается на 25...30 °C по сравнению с открытыми участками.

Лесопосадки в пустыне оказывают заметное влияние на скорость ветра. Так, в условиях открытого пространства при скорости ветра 9...10 м/с в саксаульнике на высоте 2 м она снижается до 2...3 м/с.

Древесно-кустарниковые формы влияют и на перераспределение выпадающих осадков: в зависимости от структуры и степени развития растений они задерживают от 10 до 55 % жидких осадков. Это перераспределение осадков кронами растений сказывается и на формировании запасов влаги в почве. В зависимости от условий весеннего увлажнения почвы в пустыне по-разному развивается эфемерный травяной покров.

Отдельные агротехнические приемы, используемые в пустынях при создании искусственных древесно-кустарниковых насаждений, позволяют несколько улучшить влагообеспеченность растений. Например, нарезка специальных песконакопительных борозд на серобурых почвах гипсовых пустынь показала, что почва в бороздах промокает от зимне-весенних осадков на глубину 120...130 см, тогда как на целине лишь на 40...60 см.

Однако более существенно изменяется микроклимат в пустыне под влиянием крупных мелиоративных мероприятий, коренным

образом меняющих водный режим территории. Увлажнение деятельного слоя почвы при орошении приводит к значительному перераспределению составляющих водного, радиационного и теплового балансов. В свою очередь, это приводит к изменению микроклиматических (а в отдельных случаях и мезоклиматических) условий. Так, под влиянием орошения температура воздуха днем в оазисах на 2...4 °С ниже, чем в прилегающей пустыне; в период очень жаркой погоды эта разность достигает 10...12 °С. Разность относительной влажности воздуха между орошаемым оазисом и пустыней в вечерние часы достигает 25...30 %, в дневные часы она сглаживается (А. А. Скворцов, Ю. А. Скворцов, Н. С. Орловский и др.).

С практической точки зрения микроклиматические исследования в горах и пустынях необходимы прежде всего для разработки и внедрения научно обоснованных методов улучшения и обогащения естественных пастбищно-сенокосных угодий и создания более комфортных условий для жизнедеятельности человека в этих регионах.

5.7. Понятие о климате почвы

При оценке агроклиматических ресурсов территории особое значение имеет учет климата и микроклимата почвы. Впервые о необходимости изучения климата почвы высказался известный русский ученый А. П. Костычев. В XX в. это новое научное направление развивалось в трудах П. И. Колоскова, А. М. Шульгина, В. Н. Димо и ряда других ученых. *Климат почвы — это многолетний тепловой, водный, воздушный режим почвы, имеющий суточную, годовую, многолетнюю и вековую цикличность, складывающийся под влиянием климата местности, почвообразующих пород, рельефа, растительности и производственной деятельности людей.* Таким образом, климат почвы имеет специфические особенности по сравнению с климатом приземного слоя атмосферы. Климат почвы, особенно пахотного горизонта, изменяется под влиянием обработки почвы, мелиораций, чередования культур в процессе севооборота.

Благодаря большой пространственной изменчивости климат почвы является одной из основных составляющих микроклимата в условиях ровного рельефа. Климат почвы влияет на сроки наступления „спелости“ почвы, на скорость прорастания семян, на рост корневой системы; а в зимний период от климата почвы в значительной мере зависит перезимовка растений. Температурный режим почвы, ее теплофизические свойства рассмотрены в разделе 1.2, а вопросы, касающиеся почвенной влаги, в разделе 1.5.

В процессе изучения климата почвы на территории Российской Федерации и сопредельных стран были выявлены закономерности географического распределения температуры и влажности, составлены карты распределения температуры почвы на разных глубинах, запасов продуктивной влаги в почве под различными сельскохозяйственными культурами по декадам и основным периодам вегетации и т. п. А. М. Шульгин предложил количественные характеристики основных типов климата почвы (табл. 5.17).

Таблица 5.17

Основные количественные характеристики типов климата почвы (по А. М. Шульгину, 1978)

Тип	$T_{\text{сред}}$ почвы на глубине 20 см в теплый период, °С	Тип	Средние запасы продуктивной влаги (мм) на глубине	
			0...100 см	0...20 см
Холодный	0...5	Избыточно влажный	200	50
Умеренно теплый	5...10	Влажный	150...200	30...50
Теплый	10...15	Умеренно влажный	100...150	20...30
Весьма теплый	15...20	Недостаточно влажный	50...100	10...20
Жаркий	20	Сухой	50	10

Районирование территории по климату почвы является составной частью агроклиматического районирования. В соответствии с типизацией климата почвы (см. табл. 5.17) А. М. Шульгиным была составлена схематическая карта геотермических поясов и зон увлажнения, отражающая в обобщенном виде ресурсы почвенного климата на изученной территории (рис. 5.19).

На равнинных территориях микроклиматические различия связаны в основном с резко выраженной пестротой почвенного покрова, особенно характерной для нечерноземной зоны. Например, в Ленинградской области разности значений температуры песчаной и тяжелосуглинистой почв на глубине 10...20 см составляли 3,0...4,0 °С при расстоянии между участками всего 20 м. Весной тяжелые почвы с высоким содержанием влаги просыхают медленно, поэтому на глубине 20 см температура 5 °С наступает на 10...15 дней позже, чем на воздухе. Легкие почвы прогреваются до 5 °С на 7...10 дней раньше, чем воздух. Температура осушенной торфяной почвы на 3...5 °С выше, чем температура неосушенного торфяника.

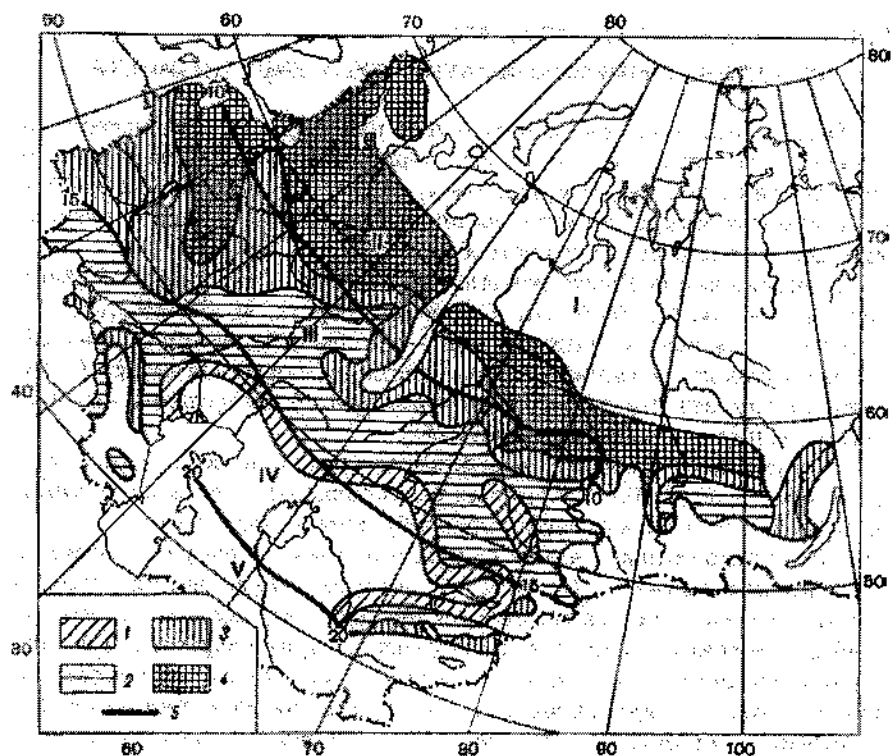


Рис. 5.19. Схема геотермических поясов и зон увлажнения Российской Федерации и сопредельных государств (по А. М. Шульгину, 1978)

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

Детальное изучение микроклимата в нескольких областях нечерноземной зоны показало большую пестроту в сроках весеннего прогревания почвы. Например, в Псковской области суммы температур почвы выше 10°C на глубине 20 см в разных районах на конкретную дату различались более чем на 800°C .

Пестрота значений влагозапасов, обусловленная свойствами почв, также весьма существенна. Например, при сравнительно одинаковом количестве выпавших осадков и „пестром” распределении влагозапасов на различных типах почв диапазон цифровых значений этих запасов по территории может составлять 200 %. Пространственная и временная изменчивость влажности почв на европейской части России нашла свое убедительное подтверждение в „Атласе запасов продуктивной влаги в почве под озимыми зерновыми культурами” (1983), разработанном специалистами ВНИИСХМ (Л. С. Кельчевская и др.).

5.8. Изучение микроклимата и составление микроклиматических карт хозяйств

Осредненные данные многолетних наблюдений сети метеорологических станций характеризуют общие климатические особенности той или иной территории, зоны, района, пункта. Такие данные не отражают микроклиматические особенности сельскохозяйственных полей, тех или иных местообитаний.

В учреждениях Росгидромета — в Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (Санкт-Петербург), во ВНИИСХМ (Обнинск), а также в Узбекистане — в Среднеазиатском научно-исследовательском гидрометеорологическом институте им. В. А. Бугаева (Ташкент) и в ряде других организаций выполнены крупные исследования в области микроклимата.

Микроклиматические особенности различных ландшафтов, местообитаний и полей, занятых разнообразными сельскохозяйственными культурами, столь многообразны и многочисленны, что изучить микроклимат каждого участка земной поверхности практически невозможно. Поэтому при микроклиматических исследованиях основное внимание следует обращать на изучение особенностей физических процессов приземного слоя атмосферы и верхних горизонтов почвы в наиболее *типичных участках* сельскохозяйственных полей, ландшафтов или участков изучаемой местности. *Типичность участка* — это условное понятие, используемое при выборе наблюдательных участков по комплексу внешних признаков окружающей среды: рельефу, почвам, растительному покрову или осредненному состоянию сельскохозяйственных культур — *густоте стояния растений на единице площади, их высоте, фазе развития и т. п.* Поскольку наблюдательные участки выбираются визуально, то понятие типичность всегда отражает субъективную оценку лица, выбравшего участок.

Для исследования микроклимата территорий или фитолимата сельскохозяйственных полей в качестве опорных пунктов наблюдений выбираются одна-две метеорологические станции, наиболее близко расположенные к изучаемой территории. Затем в соответствии с заданием и реальными возможностями (число наблюдателей, оснащенность необходимыми приборами) выбираются места для организации пунктов микроклиматических наблюдений, например, участки среди посевов сельскохозяйственных культур, склоны разной ориентации, участки, различно удаленные от кромки леса, водоема, лесной ползащитной полосы и т. п. На каждом пункте устанавливаются стойка для градиентных наблюдений, коленчатые термометры Савинова, определяются места для взятия образцов влажности почвы и т. д.

В программу наблюдений включаются измерения температуры воздуха и почвы, влажности воздуха и почвы, направления и скорости ветра, интенсивности солнечной радиации, количества осадков. Эти измерения проводятся на стандартной высоте (2 м) и в стандартные сроки для возможности сравнения с данными метеорологических наблюдений, выполняемых на станциях. Кроме того, проводятся градиентные наблюдения (синхронные измерения метеорологических величин на разных уровнях над поверхностью почвы и в почвенных горизонтах). В зависимости от задач исследования и особенностей растительного покрова выбираются уровни установки приборов на градиентной стойке: например, 20, 50, 150 и 200 см над уровнем поверхности земли.

Микроклиматические наблюдения осуществляются круглосуточно: в ночное время через каждые 3...4 ч, в дневное — через 2...3 ч. Их проводят обычно сериями (циклами) продолжительностью по 1,5...2 сут один раз в 5...7 дней в течение отдельных сезонов или всего вегетационного периода.

Для проведения микроклиматических (градиентных) наблюдений используются: стандартные, аттестованные, срочные, минимальные и максимальные термометры, комплект коленчатых термометров Савинова, аспирационные психометры, анемометры, гелиографы, различные актинометрические приборы, а также самописцы. Самописцы, установленные на различных высотах, позволяют сократить число сроков обязательного участия наблюдателя в снятии показаний с метеорологических приборов, что облегчает процесс получения данных особенно в ночные сроки наблюдений.

Методы микроклиматических наблюдений разработаны такими выдающимися учеными, как М. И. Будыко, И. А. Гольцберг, Д. Л. Лайхтман, С. А. Сапожникова, А. Ф. Чудновский, Б. А. Айзенштат и многими их учениками и последователями.

Регрессионный анализ массовых материалов микроклиматических наблюдений и опорных метеорологических станций позволяет установить количественные связи между сравниваемыми значениями метеорологических и агрометеорологических величин. В дальнейшем, после прекращения микроклиматических (градиентных) наблюдений, с помощью полученных уравнений регрессии можно по данным опорных метеорологических станций рассчитывать метеорологические и другие величины для пунктов, где ранее проводились микроклиматические наблюдения. При этом следует помнить, что коэффициенты уравнений связи варьируют в зависимости от сезона года.

В качестве примера в табл. 5.18 приведены некоторые уравнения регрессии, характеризующие связь между значениями метеорологических параметров, полученных на сети опорных метеорологических станций и в пунктах микроклиматических наблюдений.

Таблица 5.18

Статистические характеристики связи средней суточной температуры воздуха опорных метеорологических станций (x) и пунктов микроклиматических наблюдений экспедиций САРНИГМИ (y) (по П. А. Ану, И. Г. Григору, Н. С. Коноваловой, 1972, 1974)

Опорная метеорологическая станция	Пункт микроклиматических наблюдений	Уравнение регрессии	Ошибка уравнения	Коэффициент корреляции
Юго-Западный Кызылкум				
Джангельды	Стационар АН Узбекистана „Аяк-Гужумды“	$y = 1,00x - 0,23$	0,77	$0,97 \pm 0,01$
Аяк-Агитма	То же	$y = 1,01x - 0,50$	0,81	$0,96 \pm 0,01$
Киргизский хребет, профиль I (1850 м над ур. м.)				
Ала-Арча (2945 м над ур. м.)	Дно долины	$y = 1,05x + 6,90$	1,20	$0,86 \pm 0,03$
	Восточный склон	$y = 0,99x + 8,00$	1,10	$0,89 \pm 0,02$
	Западный склон	$y = 1,00x + 7,70$	1,16	$0,91 \pm 0,02$
Киргизский хребет, профиль II (2100 м над ур. м.)				
Ала-Арча	Дно долины	$y = 0,95x + 5,70$	1,06	$0,89 \pm 0,02$
	Западный склон	$y = 1,15x + 4,99$	0,89	$0,95 \pm 0,01$

Материалы микроклиматических наблюдений используются при составлении микроклиматических карт отдельных хозяйств или сельскохозяйственных районов. Для этого необходимы данные: 1) термического режима дня и ночи приземных слоев воздуха и верхних горизонтов почвы (пахотного или корнеобитаемого слоя); 2) радиационного режима склонов различной ориентации (по натурным наблюдениям или рассчитанные по соответствующим номограммам или формулам); 3) ветрового режима дня и ночи; 4) режима влажности почвы или запасов продуктивной влаги в n -м горизонте почвы.

Удобным масштабом микроклиматической карты-схемы считается 1:10 000 для исследуемых участков площадью 5...10 га или 1:25 000 для участков 10...20 га. На такой карте-схеме должны быть нанесены общепринятыми топографическими знаками рельеф, контуры полей севооборотов, лесных массивов, лугов, неудобий, населенных пунктов. На рис. 5.20 приведен пример карты-схемы земельных угодий n -го хозяйства, на которой показаны участки различной морозоопасности.

Желательно также иметь почвенную карту исследуемой территории с характеристиками типов почв, их агрогидрологических и агрохимических свойств.

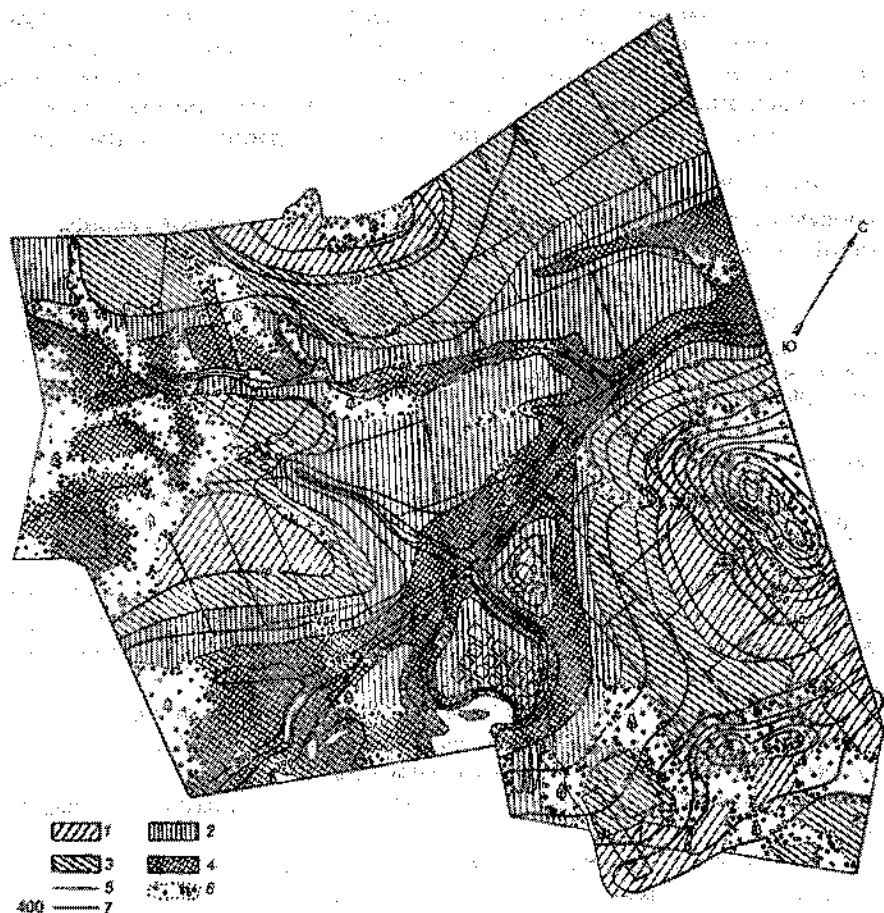


Рис. 5.20. Карта-схема морозоопасности земельных угодий л-го хозяйства

1 — самые теплые участки (в верхней части склонов и на плоских возвышенностях); 2 — теплые участки (в средней части склонов); 3 — средние по морозоопасности участки (на ровных местах и в нижней части склонов); 4 — самые морозобойные участки (в низинах, догах и на лесных полянах); 5 — границы полей севооборота; 6 — лес; 7 — высотные горизонталы

Наиболее ярко микроклиматические различия проявляются в условиях холмистого и горного рельефа (см. табл. 5.16; 5.18). В равнинных условиях основной вклад в микроклиматические различия вносят лесные массивы, водоемы, структура растительного покрова (его ярусность, плотность) и т. п.

При детальном исследовании распределения влажности почвы на равнине выявляется значительная пестрота по элементам микро-рельефа. Особенно заметны эти различия в засушливых регионах. Так, по наблюдениям Н. Н. Желтой, в юго-восточной части европей-

ской части рассматриваемой территории весенние запасы продуктивной влаги в значительных понижениях рельефа (впадинах) в 3 раза больше, чем в микропонижениях (табл. 5.19). Эта особенность распределения запасов влаги привела к созданию своеобразной формы сельскохозяйственного производства — „падинного” земледелия.

Таблица 5.19

Запасы почвенной влаги (мм) в различных элементах микрорельефа (по Н. Н. Желтой)

Характеристика	Впадины	Склоны микропонижения	Микропонижения	Большие впадины
Запасы влаги в слое почвы 0...100 см к весне, мм	88	65	32	—
Весенние запасы продуктивной влаги, мм	110	85	35	115
Глубина весеннего промачивания почвы, см	90...150	20...100	10...40	50...150

Производственные микроклиматические карты отдельных территорий или хозяйств составляются во многих республиканских и территориальных УГМС. Наибольшее практическое значение микроклиматические карты имеют для оценки:

заморозкоопасности отдельных участков территорий или сельскохозяйственных полей применительно к требованиям конкретных сельскохозяйственных культур;

радиационных и термических ресурсов вегетационного периода;

вагообеспеченности сельскохозяйственных культур;

условий перезимовки озимых культур;

условий возделывания отдельных сельскохозяйственных культур при различной агротехнике.

5.9. Пути и методы улучшения мезоклимата и микроклимата сельскохозяйственных угодий

Комплекс технических (и агротехнических) мероприятий, направленных на улучшение мезоклимата и микроклимата, в том числе водного и теплового режимов почв, радиационного и теплового режимов сельскохозяйственных угодий, называется *мелиорацией*. Мелиорация осуществляется путем проведения работ по осушению заболоченных территорий, созданию оросительных систем, посадке полезащитных лесных полос, а также планировке и озеленению территории и т. п. Целью проведения подобных

мероприятий является улучшение комплекса микроклиматических условий для выращивания сельскохозяйственных культур, повышения продуктивности природных пастбищных фитоценозов, снижения возможных потерь от неблагоприятных условий, создания благоприятных условий жизни и трудовой деятельности людей.

Разнообразие подобных приемов связано с учетом широкого диапазона экологических условий в районах, где осуществляется преобразование мезо- и микроклимата. Географическое положение района, общие климатические условия, рельеф местности, климат почвы являются главными составляющими для анализа при выборе путей и методов улучшения мезо- и микроклимата территории, сельскохозяйственных угодий и полей.

На территории России в северных и северо-западных районах земледелия к задачам мелиорации мезо- и микроклимата в первую очередь относятся приемы, устраняющие (или снижающие) степень переувлажнения почвы и повышающие теплообеспеченность растений. Например, создание гребневой поверхности почвы для посадки картофеля и томатов (по гребням) способствует улучшению теплового режима почвы и аэрации корневых систем за счет увеличения деятельной поверхности почвы на 20...25 %. При этом очень важно правильно определить ориентацию гребней для лучшего их прогрева в солнечные дни. Летом практикуется также посадка кулис из быстрорастущих высокорослых культур, защищающих в определенной степени посевы низкорослых культур от холодных ветров. Применение темной полиэтиленовой пленки для укрытия почвы в предпосевной период способствует повышению температуры верхних горизонтов почвы на 4...8 °C.

Одним из путей развития тепловой мелиорации является выращивание растений в защищенном грунте (*теплицах, парниках, оранжереях*). Благодаря тепловой защите участков земли (различные виды светопроницаемых пленок и стекла) в замкнутом пространстве создаются благоприятные микроклиматические условия для выращивания ранней рассады весной, а также теплолюбивых сельскохозяйственных культур, для которых сумма температур вегетационного периода в открытом грунте оказывается недостаточной. Существует большое разнообразие теплиц с искусственным микроклиматом, создаваемым и регулируемым с помощью современных технических комплексов. В них используется солнечное или искусственное освещение и обогрев, капельное или веерное орошение, естественная или искусственная аэрация, минеральная подкормка и гидропоника и т. п.

В засушливых земледельческих регионах главной задачей улучшения мезо- и микроклимата является повышение влагообеспеченности посевов и пастбищных фитоценозов. Для этого проводится снегозадержание в период максимальной высоты снежного

покрова, крупномасштабное (или местное) орошение, создаются полезащитные лесные полосы.

В южных регионах России и сопредельных государств основные сельскохозяйственные культуры выращиваются на орошаемых полях: хлопчатник, люцерна, овощи, бахчевые, многие фрукты и некоторые зерновые культуры. Крупномасштабное орошение возможно только при развитии мощного гидротехнического и ирригационного строительства, при правильной эксплуатации водохранилищ, современных, технически оснащенных оросительных каналов, водораспределительных гидроузлов и т. п. Однако при орошении неизбежны непроизводительные потери влаги путем испарения с открытой водной поверхности (в условиях жаркого климата), поверхностного стока и фильтрации воды в глубокие горизонты почвогрунтов.

Наиболее прогрессивный и экономичный способ орошения — так называемое *капельное орошение*: нормированная подача воды к растениям по специально проложенным по земле трубкам. Нормы расхода воды рассчитываются с учетом агрогидрологических свойств почвы и требований к условиям влагообеспеченности выращиваемой культуры. Этот способ позволяет снизить расходы дорогостоящей оросительной воды на 30 % по сравнению с расходом при традиционных методах орошения.

Снегозадержание — эффективный метод накопления дополнительной влаги в районах недостаточного увлажнения вегетационного периода. Приемы снегозадержания различны: сохранение на зиму стерни, посев высокостебельных растений (кукуруза, подсолнечник, горчица и др.), снегопахота, установка снегозадерживающих щитов, полезащитные лесные полосы и т. п. В зимний период лесные полосы способствуют накоплению снега, более равномерному его распределению на полях, постепенному стаиванию весной, более глубокому промачиванию почвы. Экспериментально установлено, что расстояние между лесными полосами не должно превышать 25-кратной высоты взрослых деревьев (в среднем 20 м), т. е. примерно 500 м.

Все методы обработки почвы способствуют улучшению микроклиматических условий в верхних горизонтах почвы. Например, при рыхлении почвы улучшаются условия аэрации и теплообмена в пахотном слое, а при вспашке повышается температура верхних горизонтов почвы на 3...5 °С и лучше сохраняется почвенная влага.

Полезащитное лесоразведение, включая посадки древесно-кустарниковых форм в пустынных и полупустынных районах, лесомелиоративные мероприятия на сильно эродированных почвах, а также на засушливых горных склонах существенно смягчают мезо- и микроклимат, способствуют повышению продуктивности фитоценозов и сельскохозяйственных культур.

5.10. Моделирование микроклимата в камерах искусственного климата

Камерой искусственного климата называется специальное технически оборудованное помещение для выращивания растений в искусственно регулируемых условиях. Иногда такие камеры называют *фитотроном* или *климатотроном*. В них изучают процессы жизнедеятельности растений в зависимости от задаваемых параметров освещенности, влажности воздуха и почвы, температуры среды, газового состава воздуха, минерального питания. Камеры позволяют имитировать различные климатические условия, ускорять селекционный процесс, исследовать возможность районирования новых сельскохозяйственных культур, сортов и гибридов.

Модификацией камеры искусственного климата является *морозильная камера*, предназначенная для исследования влияния низких температур на растения. В агрометеорологии она используется при изучении морозоустойчивости растений и для оперативного определения хода перезимовки озимых культур.

Газометрическая камера — другая модификация камеры искусственного климата — представляет собой передвижную или стационарную техническую лабораторию. Она предназначена для исследования газового режима сельскохозяйственных посевов путем непрерывного контроля и регистрации параметров, характеризующих процессы фотосинтеза, дыхания и транспирации на изолированном специальной „ростовой“ камерой участке посева. Камера оснащена датчиками контроля температуры воздуха и почвы, влажности воздуха, суммарной солнечной радиации, концентрации CO_2 , системами кондиционирования и блоком дистанционного управления. В камере предусмотрена возможность регулирования и поддержания заданных параметров с целью количественного определения их влияния на рост, развитие и формирование продуктивности сельскохозяйственных культур. Подобные камеры применяются в экспериментальной агрофизике и агрометеорологии.

В камерах можно создавать как оптимальные условия для развития растений, так и неблагоприятные: засуху, суховей, заморозок и т. п. В таких фитотронах (камерах) возможно моделирование любых заданных микроклиматических условий, позволяющих изучать степень приспособляемости различных сортов к заданным климатическим условиям для определения, например, оптимальных сроков сева, цветения и формирования урожая, проведения минеральных подкормок и др.

В фитотронах можно получать несколько урожаев за один год. Это ускоряет установление агроклиматических показателей (сумм температур, необходимых для прохождения фаз развития, коэффици-

циентов потребления и др.) для рационального, климатически обоснованного размещения растений по территории страны, региона, для прогнозирования продуктивности сельскохозяйственных культур и т. п. Фитотроны используются также для исследования жизнедеятельности, активности и уровня плодовитости вредителей и болезней сельскохозяйственных культур, при разработке методов борьбы с вредителями и болезнями растений.

5.11. Использование данных наблюдений за микроклиматом в процессе сельскохозяйственного производства

Все виды микроклиматических наблюдений относятся к числу трудоемких, требующих высокой точности, аккуратности и синхронности их выполнения. Как отмечалось в разделе 5.8, практическим выходом микроклиматических наблюдений является составление специализированных микроклиматических карт хозяйств и отдельных территорий, выявление количественных связей между данными опорной метеорологической сети и пунктов наблюдений, установление поправочных коэффициентов к агрометеорологическим параметрам в среде растений. Сфера практического применения данных микроклиматических наблюдений весьма обширна и разнообразна.

Изучение микроклимата позволяет:

детализировать оценки агроклиматических ресурсов;

выявлять заморозкоопасные зоны, участки переувлажнения или раннего иссушения почвы;

уточнять схемы землепользования конкретных районов и хозяйств с учетом потребностей возделываемых культур в тепле и влаге;

корректировать схемы размещения основных сельскохозяйственных культур с учетом влияния на них неблагоприятных условий;

осуществлять подбор сортов культур (ранних, средних, поздних) и их рациональное размещение с целью удлинения сезона выращивания свежих овощей и фруктов;

обосновывать мелиоративные и агротехнические мероприятия с целью создания оптимальных микроклиматических условий в приземном слое воздуха и в почве для повышения продуктивности растений;

уточнять агрометеорологические оценки и прогнозы состояния, роста, развития и формирования продуктивности сельскохозяйственных культур и естественной пастбищной растительности, прогнозы распространения вредителей;

использовать информацию о микроклимате в целях создания оптимальных условий для растений в теплично-парниковых хозяйствах, а также для сельскохозяйственных животных при их стойловом содержании; при создании парковых зон и городского „зеленого строительства“, при архитектурно-планировочных работах;

реализовать идею создания широкомасштабного природного „зеленого конвейера“ — почти круглогодичного снабжения населения свежими овощами и фруктами.

Таким образом, изучение микроклимата имеет большое научно-прикладное и практическое значение в хозяйственной деятельности и жизни людей.

5.12. Изменения климата и их влияние на сельскохозяйственное производство

Естественная климатическая изменчивость. На протяжении геологической истории Земли (по оценке ученых — около 4,65 млрд. лет) в результате активной вулканической деятельности многократно менялись ее природные условия: площади океанов и суши, очертания материков, высота и площади горных систем, состав атмосферы; при этом существенно менялся и климат. По современным представлениям, в различные геологические периоды истории на нашу планету огромное влияние оказывали астрономические изменения, такие как: наклон оси вращения Земли к плоскости эклиптики, колебания земной орбиты, изменения светимости (интенсивности радиации) Солнца и др.

Достоверные материалы об этих изменениях были получены в результате исследований ученых в области *палеогеографии, палеогеологии, палеоклимата, палеонтологии, палеоботаники* и т. п. Первая часть этих сложных слов *палео* происходит от греческого слова *palaios* — „древний“. Данные о климате отдаленных эпох (сотни миллионов лет) ученые смоделировали на основании палеогеографических исследований. Ими использовались зависимости жизнедеятельности растений и животных от метеорологических и гидрологических условий прошедших эпох, от изменений поверхности суши, связанных с геологическими процессами, и т. п. Существенным дополнением к палеогеографическим данным при изучении климатических условий ушедших эпох явились материалы, полученные в результате массовых анализов изотопного состава органических остатков.

Сведения о климатических условиях для периода, охватывающего несколько прошедших тысячелетий, были получены из обобщения разрозненных материалов неинструментальных наблюдений, нашедших отражение в различных исторических письменных источниках.

Наиболее надежными данными о климатическом режиме отдельных регионов и планеты в целом человечество стало располагать с начала массовых метеорологических инструментальных наблюдений, насчитывающих немногим более 150 лет (отдельные инструментальные наблюдения стали проводиться около 200 лет назад).

Исследования климата прошлых эпох показали, что несколько миллионов лет назад климатические условия значительно отличались от современных условий. Существующие в настоящее время большие контрасты температур на экваторе и полюсах Земли сформировались около 70 млн. лет назад, в начале третичного периода. Процесс шел довольно медленно, и к началу четвертичного периода (около 1 млн. лет назад) разность температур в высоких и низких широтах была гораздо меньше существующей в настоящее время. В четвертичном периоде температура на полюсах снизилась, в результате чего произошло оледенение полярных областей планеты. Масштабы оледенения изменялись несколько раз; в периоды максимального снижения температуры оледенение достигало в Северном полушарии умеренных широт (в современном понимании), затем льды отступали в высокие широты, оставляя на своем пути следы разрушения древних ландшафтов, изменяя поверхность Земли. Последнее наступление ледников на территории Евразии закончилось около 10 тыс. лет назад, после чего постоянный ледяной покров в Северном полушарии сохранился только в Северном Ледовитом океане и на островах в высоких широтах.

В последние 10 тыс. лет термические условия в высоких и умеренных широтах продолжали изменяться в связи со значительными колебаниями площади ледяного полярного покрова (по М. И. Будыко, 1971).

В последние полтора столетия, когда проводились инструментальные наблюдения за метеорологическими условиями, колебания климата продолжались. В первой половине XX в. было отмечено потепление, наиболее заметное в 20...30-е годы. В 40-х годах это потепление сменилось похолоданием, затем, в середине 70-х годов, снова произошло потепление, особенно заметное в умеренных и высоких широтах Северного полушария.

Естественная климатическая изменчивость связана с внешними и с внутренними факторами. Внешними естественными факторами, влияющими на изменения климата планеты, являются те, которые не связаны с процессами теплообмена в системе океан—атмосфера: это вулканическая деятельность и солнечная постоянная. *Метеорологическая солнечная постоянная соответствует значению прямой солнечной радиации на верхней границе атмосферы при среднем расстоянии между Землей и Солнцем. Соглас-*

по заключению *Международной комиссии по радиации 1982 г.*, она равна $1,367 \text{ кВт/м}^2$. Колебания значений солнечной постоянной составляют $\pm 1,5 \%$.

При крупных вулканических извержениях в атмосферу выбрасывается большое количество газообразного диоксида серы, который, попадая в стратосферу, превращается в аэрозоль серной кислоты. Время жизни аэрозольных частиц в стратосфере составляет около 1 года; это время, достаточное для существенного воздействия на радиационный баланс Земли. За последние 100 лет было отмечено пять крупных вулканических извержений; последствием каждого из них стало снижение средней глобальной температуры воздуха в течение 1...2 лет на несколько десятых градуса Цельсия.

К *внутренним* факторам, вызывающим климатические изменения, относятся в первую очередь особенности взаимодействия атмосферы и океана. Одной из форм естественного изменения климата является теплое океаническое течение, получившее название Эль-Ниньо — южное колебание, центр которого находится в экваториальной части Тихого океана. Нерегулярно, примерно каждые 3...7 лет, аномально теплые воды этого течения распространяются из экваториальных районов Тихого океана, удаляясь от западного побережья Южной Америки. Продолжительность этого явления составляет обычно 1...2 года. В результате изменений температуры обширных поверхностей океана происходит изменение атмосферной и океанической циркуляции во многих регионах земного шара. При этом в одних регионах возникают жестокие засухи с характерными для них тяжелыми последствиями гибели посевов и естественной растительности, используемой при выпасе скота. В других регионах, наоборот, наблюдаются длительные обильные осадки, следствием которых являются наводнения, активизация процессов водной эрозии, гибель посевов сельскохозяйственных культур, смыв плодородных слоев почвы и т. п.

Антропогенное изменение климата. В течение многих тысячелетий хозяйственная деятельность людей приспосабливалась к естественным климатическим условиям. Когда население земного шара было относительно небольшим, а уровень энергетической и технической вооруженности людей — низким, влияние всей хозяйственной деятельности на окружающую природу было незначительным. Однако объемы изъятия природных ресурсов для нужд быстро растущего населения Земли неуклонно возрастают. В результате научно-технического прогресса, создания мощных технологий и стремительного роста промышленного производства в XX в. гигантские масштабы антропогенного загрязнения земель, водных объектов и воздуха достигли глобальных размеров (рис. 5.21). Еще в 1944 г.

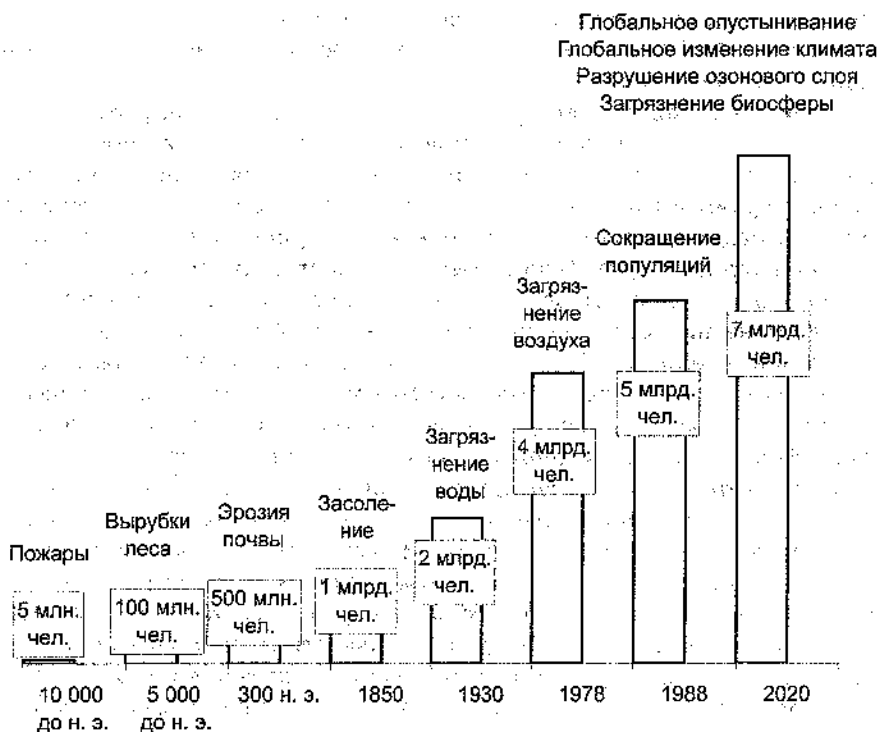


Рис. 5.21. Рост населения Земли и его влияние на изменение состояния биосферы (по М. А. Д. Вильямс и Р. К. Валлинг Юр, 1966)

академик В. И. Вернадский писал: „Человечество, взятое в целом, становится мощной геологической силой“. Воздействие техники, созданной человеческим разумом, стало соизмеримым с разрушительными силами природы. Все это ведет к нарушению процессов саморегулирования и равновесия, свойственных природе.

На Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.) в разделе „Повестка дня на XXI век“ сказано: „Ученые все больше расширяют свои знания в таких областях, как изменение климата, повышение уровня потребления ресурсов, демографические тенденции и ухудшение состояния окружающей среды. Для содействия устойчивому развитию необходимы более обширные знания о потенциальной емкости экосистемы Земли... Возрастают потребление людьми энергии, воды и других возобновимых ресурсов ... и их нехватка может возникнуть во многих частях мира“.

Суммарные масштабы такого воздействия складываются из различных форм хозяйственной деятельности людей:

распахивание миллионов гектаров земли под посевы сельскохозяйственных культур и улучшение естественных пастбищ вызывает изменение альbedo земной поверхности, быструю потерю влаги, подъем пыли в атмосферу;

уничтожение лесов, называемых „легкими планеты“, особенно тропических, на больших площадях сокращает воспроизводство кислорода, изменяет альbedo, усиливает испарение с оголенной поверхности земли, ухудшает водный режим территории;

чрезмерная численность выпасаемого поголовья скота на единицу пастбищной площади (перевыпас) превращает степи и саванны в пустыни, при этом происходит резкое снижение численности и разнообразия биологических видов экосистем; ухудшаются водно-физические свойства почв, развиваются процессы водной и ветровой эрозии, увеличивается альbedo;

возрастание объемов сжигаемого ископаемого органического топлива (уголь, нефть, газ) усиливает загрязнение атмосферы его продуктами;

значительный рост объемов промышленных и автотранспортных отходов, выбрасываемых в атмосферу, приводит к изменению состава атмосферы, увеличению содержания в ней радиационно-активных газов и аэрозолей, создающих так называемый парниковый эффект, загрязнению водных объектов, губительно сказывается на состоянии растительных, животных организмов и здоровье человека.

Парниковый эффект — это свойство атмосферы пропускать солнечную радиацию, но задерживать земное излучение и тем самым способствовать аккумуляции тепла Землей. Земная атмосфера сравнительно хорошо пропускает коротковолновую солнечную радиацию, которая почти полностью поглощается земной поверхностью, поскольку ее альbedo мало. Нагреваясь за счет поглощения солнечной радиации, земная поверхность становится источником земного, в основном длинноволнового теплового излучения; прозрачность атмосферы для этих волн мала и они почти полностью поглощаются в атмосфере, преимущественно водяным паром. Только около 10...20 % земного излучения, проникая сквозь атмосферу, уходит в космическое пространство. Таким образом, парниковый, или тепличный, эффект атмосферы аналогичен действию стекол теплицы при их нагревании солнечными лучами. Накопление в атмосфере углекислого газа, метана, фторхлоруглеводородов, закиси азота, тропосферного озона, других газов и аэрозолей, пропускающих коротковолновые солнечные лучи, препятствует, подобно покрытиям теплицы, длинноволновому излучению, в результате чего происходит постепенное потепление климата.

В последние годы учеными разработано большое количество моделей изменения климата — от самых простых до сложных моделей

общей циркуляции атмосферы. Практически все модели прогнозируют постепенный рост средней глобальной температуры в основном благодаря увеличению концентрации газов, связанных с хозяйственной деятельностью человека. Оценки уровня повышения температуры воздуха, полученные по расчетам разных моделей на различную временную перспективу, варьируют от 1,5 до 5,5 °C. Такое потепление, безусловно, будет влиять на ускорение таяния ледников планеты. Расчеты показывают, что в этих условиях уровень Мирового океана может повыситься на 25...165 см, вследствие чего произойдет частичное затопление многих прибрежных регионов материков (части северной Европы, Индостана, островных государств и др.).

При потеплении климата улучшатся условия для полярной навигации и хозяйственной деятельности людей в полярных областях, снизится уровень затрат на отопление помещений и т. п.

В районах с относительно холодным и влажным климатом произойдет смягчение агроклиматических условий для возделывания сельскохозяйственных и плодовых культур, продуктивность которых станет более высокой и стабильной за счет увеличения продолжительности вегетационного периода и роста сумм активных температур в условиях достаточной влагообеспеченности посевов. Такое изменение агроклиматических условий позволяет значительно продвинуть к северу районы с интенсивным земледелием, произвести смену сортов сельскохозяйственных культур на более теплолюбивые и урожайные. Произойдет смещение границ почвенно-климатических (географических) зон к северу.

Наряду с такими положительными изменениями в центральных и северных сельскохозяйственных регионах России, в более южных регионах, с режимом неустойчивого увлажнения, в результате потепления возможны отрицательные последствия изменения климатических условий. Уменьшение количества осадков будет проявляться через снижение влагообеспеченности посевов, учащение повторяемости засух, засушливых явлений и суховеев, произойдет понижение уровня внутренних водоемов и грунтовых вод, ухудшится общий баланс пресной воды.

Все это будет отрицательно сказываться не только на сельскохозяйственном производстве, но и на других отраслях экономики. Например, изменятся гидрологические условия на реках и водохранилищах, от которых зависит возможность и продолжительность речной навигации, работа гидроэлектростанций и т. п. В то же время в связи с ростом уровня теплообеспеченности растений в центральных и южных регионах России станет возможным возделывание теплолюбивых сельскохозяйственных культур в условиях искусственного орошения.

В последние 10...15 лет появилось много исследований российских и зарубежных ученых, доказывающих, что социальные по-

следствия потепления климата будут значительны и неоднозначны для различных регионов мира и государств.

Сценарии возможного изменения климата. Проблема изменения глобального климата настолько сложна и значима для человеческого сообщества, что ее исследованием занимаются крупные научные коллективы во многих странах, международные организации и специально созданные творческие группы. В 1988 г. Всемирной метеорологической организацией (ВМО) и Программой ООН по окружающей среде (ЮНЕП) была учреждена Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК). Учеными мира разработаны десятки различных сценариев возможных изменений климата Земли под влиянием антропогенных факторов — возрастающей хозяйственной деятельности человека, а также военных конфликтов различного масштаба.

Как уже отмечалось, климат геологических эпох Земли неоднократно менялся под влиянием естественных природных причин. При изучении палеоклиматов прошлых эпох российские ученые (М. И. Будыко, А. А. Величко и др.) показали возможность формирования в обозримом будущем климатических условий на Земле, аналогичных климату некоторых прошедших эпох. В основу разработанных *палеоклиматических сценариев* положены оценки газового состояния атмосферы отдельных геологических эпох и ожидаемых изменений концентрации CO_2 , метана и других газов в ближайшие 100 лет.

В основе большинства других сценариев теории климата лежат расчеты, выполненные по математическим моделям, учитывающим различные допуски временных изменений количества выбросов в атмосферу CO_2 , метана, инертных газов (фреона и др.), изменения содержания в тропосфере метана и других парниковых газов. В качестве примера в табл. 5.20 приведены фрагменты из трех сценариев эволюции климата к 2030 г. (температуры воздуха и количества осадков), два из которых — США (GFDL) и Канады (CCC) — аридные, а сценарий России — гумидный (палеоклиматический сценарий EMI).

Таблица 5.20

Изменение температуры (ΔT) и осадков (ΔR) по сценариям EMI, CCC и GFDL для центральных районов европейской части России (по О. Д. Сиротенко, Е. В. Абашинной, 1994)

Месяц	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$			$\Delta R (\%)$		
	EMI	CCC	GFDL	EMI	CCC	GFDL
Январь	9,8	4,3	2,1	16	15	10
Июль	0,2	1,8	2,2	16	0	5

Как видно из этой таблицы, общим для названных сценариев является потепление климата, однако уровень потепления и изменение количества осадков различны.

Наиболее достоверно изменения климата оцениваются по данным сети инструментальных метеорологических наблюдений. В результате научного обобщения данных XIX...XX вв. учеными МГЭИК было установлено реальное потепление среднего глобального климата — в течение XX в. средняя глобальная температура поверхности Земли увеличилась на $(0,6 \pm 0,2)^\circ\text{C}$. Такое повышение температуры в XX в. оказалось наибольшим за последнее тысячелетие. За период с 1950 по 1993 г. ночные минимальные температуры воздуха над сушей возрастали на $0,2^\circ\text{C}$ за каждое десятилетие, а дневные максимальные температуры на $0,1^\circ\text{C}$ за десятилетие. Это привело к увеличению продолжительности безморозного периода. По данным спутниковых снимков, с конца 1960-х годов произошло уменьшение площади снежного покрова на Земле на 10 %, наблюдалось сокращение площади горных ледников в неполярных районах.

В течение XX в. средний уровень Мирового океана повысился на 10...20 см за счет теплового расширения воды и таяния материкового льда. В XX столетии количество атмосферных осадков возрастало в среднем на $0,5...1\%$ за каждое десятилетие в основном в высоких и средних широтах Северного полушария. Повторяемость сильных засух или периодов переувлажнения варьировали по десятилетиям, но в отдельных районах Азии и Африки повторяемость и интенсивность засух заметно возросли. В Северном полушарии уменьшилась повторяемость экстремально низких температур и несколько увеличилась повторяемость экстремально высоких температур. В то же время в некоторых районах Южного полушария и в Антарктиде потепление климата не отмечено.

Все эти климатические изменения ученые связывают с антропогенным изменением концентрации парниковых газов. Например, концентрация CO_2 в атмосфере с 1750 по 2000 г. увеличилась на 31 %. Такого высокого уровня она не достигала за последние 420 тыс. лет. За последние 20 лет около $3/4$ поступления в атмосферу антропогенного CO_2 ученые связывают со сжиганием огромного количества органического топлива (нефть, газ, уголь), оставшая часть приходится на изменения в системах землепользования, сокращение площадей лесов. Только в 90-х годах XX в. концентрация CO_2 увеличивалась на $0,2...0,8\%$ в год. Концентрация метана (CH_4) в атмосфере начиная с 1750 г. увеличилась к началу XXI в. на 151 % и продолжает возрастать.

Основными источниками увеличения концентрации метана в атмосфере являются: сжигание органического топлива и мусора, рост отходов животноводческих хозяйств и др. За последние десяти-

тилетия в атмосфере значительно возрастают концентрация закиси азота (N_2O), связанная с сельскохозяйственной обработкой почвы и развитием химической промышленности, а также концентрации ряда других газов, так называемых малых примесей (хлористые, серные и др.).

Все эти и другие газы, непрерывно поступающие в атмосферу, образуют антропогенный аэрозоль, который изменяет радиационные условия. Так, начиная с 1750 г. приток солнечной радиации увеличился примерно на $0,3 \text{ Вт/м}^2$, причем большая часть этих изменений произошла в первой половине XX столетия.

Как отмечалось выше, сценарии эволюции климата разрабатываются на основе математических моделей, учитывающих основные физические законы природы. Наиболее сложные — глобальные климатические модели включают в качестве основных компонентов взаимодействующие друг с другом модели атмосферы, океана, верхних слоев суши, криосферы и биосферы. Расчеты по таким моделям проводятся с помощью мощной современной вычислительной техники в узлах регулярной (координатной) сетки или по различным регионам в заданном масштабе. В глобальном или субконтинентальном масштабе такие модели позволяют удовлетворительно воспроизводить наблюдаемые средние годовые значения и сезонный ход основных гидрометеорологических величин.

В последние годы ученым удалось реалистично воспроизвести некоторые состояния климатической системы за последние 20 тыс. лет, в том числе и явление Эль-Ниньо — южное колебание. Однако для расчетов по регионам и областям требуется привлечение значительного количества дополнительных параметров и продолжительных однородных рядов наблюдений.

В 2000 г. одна из рабочих групп МГЭИК представила специальный доклад об ожидаемом глобальном состоянии природной среды и климата, который содержит расчеты по социально-экономическим показателям (табл. 5.21).

Таблица 5.21

Ожидаемое состояние природной среды и климата
и социально-экономические показатели на период 1990—2100 гг.

Годы	Население Земли, млрд.	Глобальный национальный продукт, 10^{12} долл. США в год	Приземная концентрация озона, условные единицы	Концентрация CO_2 , условные единицы	Увеличение глобальной температуры, °C
1990	5,3	21	—	354	0
2000	6,1...6,2	25...28	40	367	0,2
2050	8,4...11,3	59...187	≈ 60	463...623	0,8...2,6
2100	7,0...15,1	197...550	> 70	478...1099	1,4...5,8

Таким образом, сельскохозяйственная деятельность в XXI в. будет проходить в условиях довольно быстрого изменения природной среды и климата. Это в свою очередь потребует разработки новых подходов и методов агроклиматического районирования и расчета показателей теплообеспеченности и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур и общего биологического потенциала.

Влияние глобального потепления на агроклиматические ресурсы и продуктивность сельскохозяйственного производства в России. Проблема изменения климата актуальна не только для России, она касается большинства стран мира, в особенности расположенных в Северном полушарии. Ученые Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной метеорологии (ВНИИСХМ) Росгидромета считают, что продовольственная безопасность России в ближайшие десятилетия будет зависеть от темпов и направленности усиливающегося процесса глобального потепления климата.

Согласно расчетам О. Д. Сиротенко, Е. В. Абашиной (1994), за период с 1970 по 1990 г. запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в июле возросли в среднем на европейской части России на 26 %. Это произошло вследствие увеличения осадков теплого периода на 20 %, уменьшения испаряемости на 4 %; в результате за указанный 20-летний период климатически обусловленная урожайность зерновых культур возросла на 14 %.

Исследуя проблему последствий влияния глобального парникового эффекта на сельскохозяйственное производство, ученые ВНИИСХМ убедились, что помимо влияния чисто климатических параметров необходимо учитывать и рост концентрации в атмосфере CO_2 как одного из важных составляющих процесса фотосинтеза (рис. 5.22, 5.23), а также возрастающую антропогенную деградацию почв и других компонентов. В ряде агрономических работ было показано, что запасы гумуса в пахотном слое почв России ежегодно уменьшаются на 0,3...0,7 % общих запасов гумуса в почве. В агроэкосистемах все эти (и другие) компоненты находятся в состоянии сложного пространственного и временного взаимодействия и изменения.

Согласно расчетам по трем названным сценариям (GFDL, CCC, EMI), агроклиматические ресурсы России могут существенно измениться к 2030 г. Продолжительность теплого периода (с температурой выше 5 °C) увеличится в различных регионах страны в среднем на 15...38 дней; возрастет испарение на 10...25 %. Развитие потепления по любому сценарию будет сопровождаться ростом теплообеспеченности сельскохозяйственных культур: увеличатся суммы температур за период выше 5 °C на 450...550 °C.

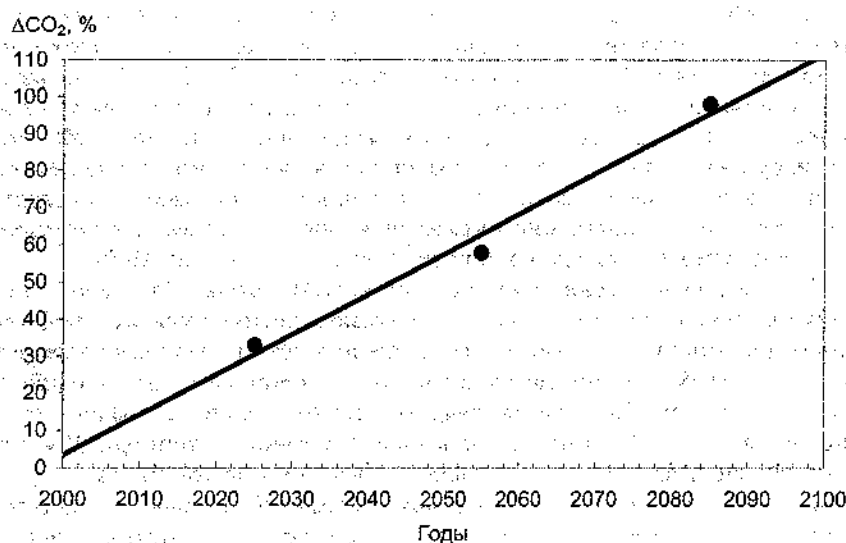


Рис. 5.22. Изменение концентрации углекислого газа (ΔCO_2) в атмосфере при ожидаемых изменениях климата в XXI в., по данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) ВМО

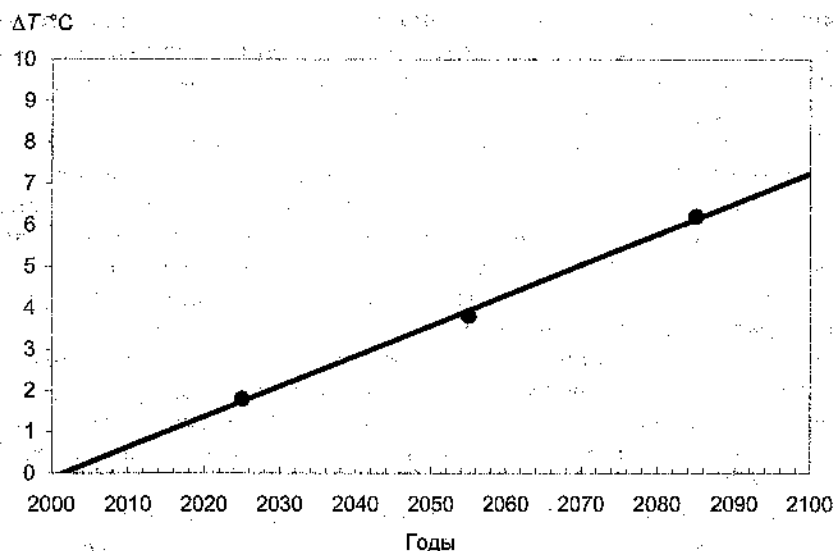


Рис. 5.23. Изменение средней годовой температуры воздуха в Московской области при ожидаемых изменениях климата в XXI в. (расчеты выполнены по сценарию, разработанному в Климатическом центре (Великобритания))

Важнейшим индикатором степени засухливости (аридности) климата является значение запасов продуктивной влаги в пахотном горизонте почвы. Так, по аридным сценариям (GFDL и CCC), ожидается повсеместное уменьшение запасов влаги в метровом слое почвы начиная с весны и до конца вегетационного периода. Максимум иссушения, по расчетам, приходится на июль, когда влажность почвы уменьшится на 20...23 % по сравнению с современным уровнем, особенно сильным оно окажется в таком важнейшем регионе, как Северный Кавказ, где влажность почвы снизится на 40 %.

По гумидному (влажному) сценарию (EMI) произойдет лишь незначительное иссушение почвы в весенние и летние месяцы. На фоне общего улучшения условий влагообеспеченности потепление вызовет смещение на более ранние сроки начала вегетации сельскохозяйственных культур. Увеличение осадков зимнего периода создаст лучшие условия увлажнения почвы к началу весеннего периода. Все это будет обеспечивать более интенсивное нарастание биомассы, а увеличение затрат воды на транспирацию растений приведет к некоторому снижению влагозапасов в корнеобитаемых горизонтах почвы в летние месяцы. Вся совокупность расчетных данных по выбранным сценариям убеждает, что при развитии потепления по ариднему варианту произойдет существенное повышение засухливости климата России, тогда как палеоклиматический (гумидный) сценарий изменения климата приведет к повсеместному улучшению влагообеспеченности посевов. Понятно, что в условиях лучшей тепло- и влагообеспеченности растений их продуктивность оказывается выше, чем в засухливых и жарких условиях.

Профессор О. Д. Сиротенко и его сотрудники с использованием разработанных ими динамических моделей „погода—урожай” и имитационной системы „климат—почва—урожай” выполнили расчеты возможной суммарной урожайности биомассы кормовых многоукосных трав и урожайности яровых зерновых культур на 2030 г. по избранным сценариям изменения климата. В табл. 5.22 приведены фрагменты этих расчетов по отдельным регионам России. Из таблицы видно, что при развитии потепления по аридным сценариям особенно сильно пострадает сельскохозяйственное производство Северного Кавказа и Поволжья, где увеличение засухливости приведет к падению урожайности зерновых культур и кормовых трав на 15...26 %.

Некоторый рост продуктивности сельского хозяйства может произойти в Северном и Северо-Западном регионах, где в условиях хорошей влагообеспеченности и недостатка тепла потепление климата окажется благоприятным. В целом по России урожайность зерновых снизится на 15 %, продуктивность кормопроизводства (травы) — на 4 %.

Таблица 5.22

Расчет потенциальной продуктивности посевов на 2030 г.
по различным сценариям изменения климата
(по О. Д. Сиротенко, Е. В. Абашиной, 1994)

Регионы России	Современная продуктив- ность, ц/га		Отклонение от современных значений, %					
			EMI		CCC		GFDL	
	травы	зерно	травы	зерно	травы	зерно	травы	зерно
Северный, Северо-Западный	51	12	12	0	9	2	8	-3
Центрально-Черноземный	66	13	18	3	-2	-9	-1	-9
Поволжский, юг	36	8	46	17	-18	-20	-15	-20
Северо-Кавказский	70	17	26	43	-26	-25	-23	-19
Россия в целом	56	13	22	9	-4	-14	-4	-15

При развитии потепления по гумидному сценарию продуктивность кормов в России возрастет повсеместно (по регионам на 12...46 %), а в среднем по стране на 22 %. Производство зерна увеличится в среднем на 9 %, в основном за счет Северного Кавказа, юга Поволжья, Урала и Западной Сибири, где прирост урожайности составит от 9 до 43 %.

Самый общий вывод из полученных авторами расчетов состоит в том, что реакция сельского хозяйства России будет иметь разные знаки на глобальное потепление в зависимости от того, по какому сценарию — ариднему или гумидному — будет происходить изменение климата. Условность этих расчетов очевидна, поскольку они не учитывали неизбежных к 2030 г. изменений таких факторов, как концентрация CO_2 в атмосфере и тропосферного озона (O_3), а также снижения уровня плодородия почвы (гумуса).

Как уже отмечалось, повышение температуры удлинит вегетационный период в тех регионах, где сельскохозяйственное производство в настоящее время ограничивается недостатком тепла. В результате потепления границы районов возможного растениеводства продвинулись в России к северу. Для зоны растениеводства северной границей считается средняя многолетняя сумма температур 1300°C (за период выше 5°C).

Расчеты показывают, что увеличение среднегодовой температуры на 1°C приведет к перемещению границы растениеводства в средних широтах Северного полушария на 150...200 км к северу и к повышению высотной границы пахотного земледелия примерно на 150...200 м.

В средних широтах страны благодаря потеплению произойдет некоторое снижение урожайности, поскольку высокие температуры способствуют более быстрому созреванию растений и сокращают период налива зерна.

Известно, что многие сельскохозяйственные культуры умеренных широт в зимнее время проходят стадию яровизации. Более высокие температуры в этот период будут способствовать снижению урожайности. Профессор О. Д. Сиротенко и его сотрудники выполнили расчеты возможных изменений границ и площадей, занимаемых различными типами растительного покрова в настоящее время (рис. 5.24) и в случае изменений климата по аридным сценариям (табл. 5.23, рис. 5.25). Такие расчеты не учитывают ряд биологических факторов, характерных для различных типов растительного покрова, но могут быть полезными для оценки возможных изменений в землепользовании России при развитии глобального потепления.

Аналогичным образом были оценены изменения термических ресурсов для сельского хозяйства и землепользования. Обобщенные данные об изменении сумм температур — важнейшего показателя, определяющего размещение сельскохозяйственных культур, сгруппированы по семи термическим поясам и приведены в табл. 5.24. Площадь земледельческой зоны России увеличится при глобальном потеплении на 4,7...4,8 млн. км², т. е. в 1,5 раза по сравнению с современным состоянием. Сократятся площади 1-го и 2-го термических поясов, малопригодных для товарного земледелия, где могут

Таблица 5.23

Площади (S тыс. км²) основных типов растительности Российской Федерации при глобальном потеплении и их изменения (ΔS) по сравнению с современными площадями ($S_{\text{совр}}$)

	$S_{\text{совр}}$	GFDL		CCC	
		S	ΔS	S	ΔS
Тундра	5355	1584	-3771	917	-4438
Тайга	8898	6384	-2514	7459	-1440
Лиственный лес	1334	5087	3744	5488	4145
Субтропический лес	—	45	45	65	65
Степь, лесостепь	1232	3487	2255	2364	1132
Горная степь	650	206	-444	434	-216
Сухая степь	275	19	-256	97	-178
Саванна*	—	750	750	607	607
Пустыня	—	190	190	320	320

* Ксерофитная субтропическая растительность (по М. И. Будыко, А. А. Григорьеву, 1962).

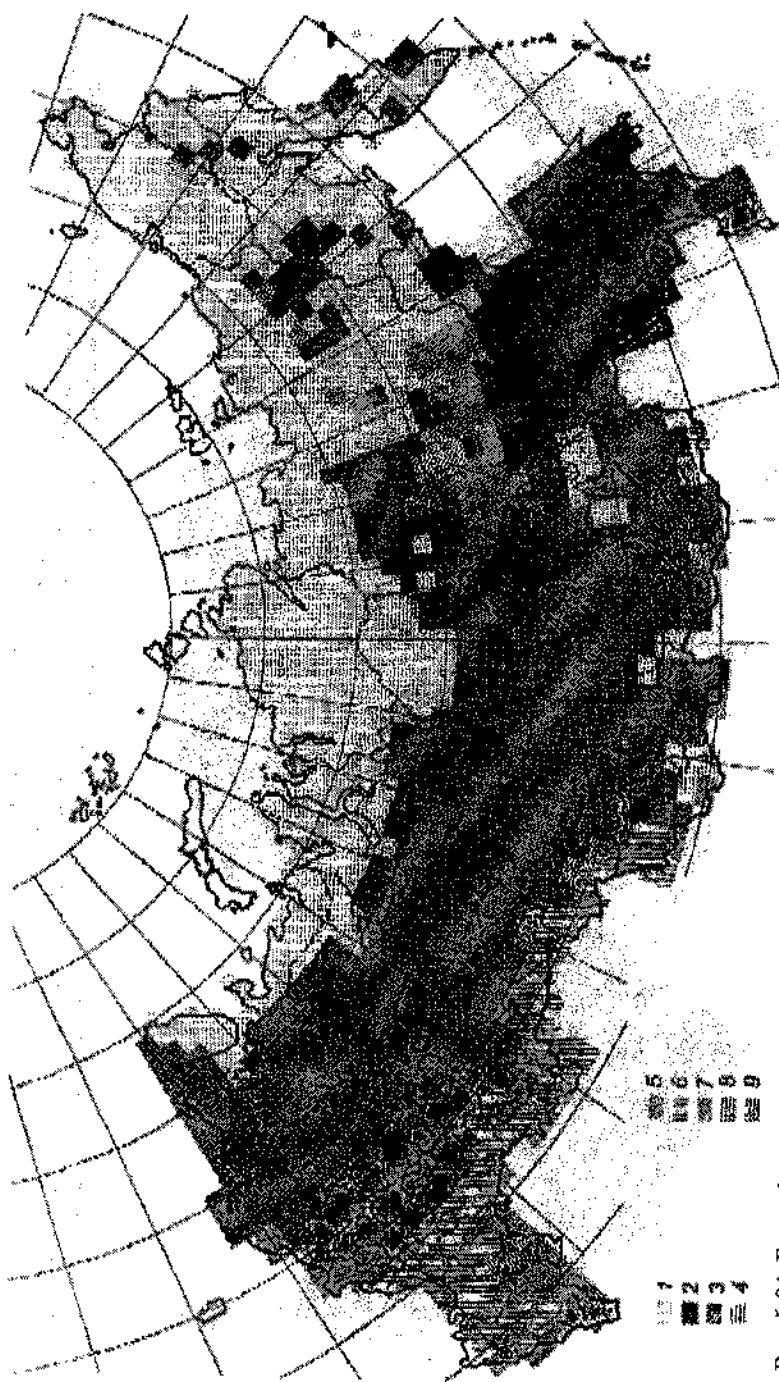


Рис. 5.24. Географические зоны на территории Российской Федерации при современном климате (по О. Д. Сиротенко, Е. В. Абашиной, 1998)

1 — тундра; 2 — хвойный лес; 3 — лиственный лес; 4 — субтропический лес; 5 — субтропический лес; 6 — холодная степь; 7 — степь и лесостепь; 8 — сухая степь; 9 — саванна; 9 — пустыня



Рис. 5.25. Географические зоны на территории Российской Федерации при глобальном потеплении климата, рассчитанном по сценарию Лаборатории геофизической гидродинамики (США): повышение температуры воздуха на 4°C ; увеличение осадков на $8...11\%$ (по О. Д. Сиротенко, Е. В. Абашинной, 1998)

Усл. обозначения см. рис. 5.24

Таблица 5.24

Площади (S тыс. км²) с различными суммами температур выше 10 °C при глобальном потеплении и их изменения (ΔS) по отношению к соответствующим современным площадям (по О. Д. Сиротенко, Е. В. Абашиной, В. Н. Павловой и др., 2000)

Номер пояса	Градация ΣT , °C	$S_{\text{совр}}$	GFDL		CCC	
			S	ΔS	S	ΔS
1	< 1000	7787	3094	-4693	2922	-4865
2	1000...1600	5974	3230	-2744	3613	-2361
3	1600...2200	2448	4255	1807	5299	2851
4	2200...2800	982	3681	2749	3037	2105
5	2800...3400	439	2259	1820	1699	1260
6	3400...4000	153	603	451	464	312
7	> 4000	—	611	611	698	698

произрастать лишь ранние сорта зерновых культур. Площади всех остальных поясов увеличатся. Больше всего увеличатся площади 4-го пояса — на 2,7 млн. км² по сценарию GFDL — и 3-го пояса — на 2,8 млн. км² по сценарию CCC. Значительно увеличится площадь 5-го пояса, на территории которого могут вызревать среднеспелые и позднеспелые сорта кукурузы, виноград и другие теплолюбивые культуры. В России, судя по расчетам, появится около 1 млн. га земель, где суммы температур превысят 3400 °C (6-й и 7-й термические пояса). Это означает, что на территории Северного Кавказа и в Нижнем Поволжье возникнет довольно обширная зона субтропического земледелия.

Различные сценарии возможных изменений климата, число которых постоянно увеличивается, открывают возможность проводить расчеты ожидаемых изменений агроклиматических условий, в частности, на территории России, располагающей уникальным разнообразием природных условий.

Данные, полученные в последние годы российскими учеными по проблеме последствий изменения климата для сельскохозяйственного производства, позволяют сделать ряд выводов.

При адекватных организационных решениях сельское хозяйство России в целом может существенно выиграть от глобального потепления климата (Н. Н. Лаверов и др., 1998; О. Д. Сиротенко и др., 2001).

Ожидаемые изменения климата и природной среды могут иметь как положительное, так и отрицательное воздействие на сельское хозяйство. Потепление климата в XXI в. может оказать значительное положительное влияние на сельское хозяйство России при условии своевременной адаптации аграрного сектора экономики к ожидаемым изменениям природной среды и климата на федераль-

ном уровне. Главная идея такой адаптации — это смещение центра тяжести товарного земледелия на север; развитие орошаемого земледелия и влагосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур в зоне недостаточного увлажнения; создание зоны субтропического земледелия на юге страны, а также географическая взаимокompенсация урожаев, обусловленная асинхронностью погодных условий на обширной территории страны.

В условиях потепления климата, в зоне достаточного увлажнения, наиболее эффективными мероприятиями будут замена сортов (гибридов) сельскохозяйственных культур на более позднеспелые и более урожайные, а также расширение посевов пожнивных культур. В восточных районах европейской части России и в Западной Сибири из-за уменьшения вероятности вымерзания станет возможным расширение посевного клина озимых культур. С учетом роста концентрации CO_2 в атмосфере повышение урожайности зерновых культур составит 8...14 %, а урожайность многолетних кормовых трав возрастет на 12...16 %.

Могут быть также расширены посевные площади особо ценных и дефицитных для России сельскохозяйственных культур: сои, подсолнечника, кукурузы и других. Более мягкие зимние условия позволят расширить границы садоводства к северу на 300...500 км.

На юге страны — в Предкавказье и Нижнем Поволжье — в связи с ростом термических ресурсов и увеличением продолжительности вегетационного периода может быть создана зона субтропического земледелия для удовлетворения потребностей страны в рисе, винограде, хлопке-сырце и ряде теплолюбивых плодовых культур.

В зоне степного земледелия борьба с засухами станет еще более острой, а эффективность развития орошения и влагосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур — еще более высокой. Адаптация к потеплению климата потребует внедрения в этой зоне более засухоустойчивых культур и сортов сельскохозяйственных растений.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое климатообразующие процессы и климатообразующие факторы?
2. Дайте определения терминов „климатические условия” и „климатические ресурсы”.
3. Что изучает наука „агроклиматология”?
4. Дайте определение термина „агроклиматические показатели”; приведите примеры.
5. Какие вы знаете методы сельскохозяйственной оценки климата?
6. Расскажите о понятии „агроклиматические ресурсы территории”.

7. Как оцениваются световые и термические ресурсы вегетационного периода?
8. Что понимается под термином „теплообеспеченность растений (посевов)“?
9. Какими методами проводится оценка условий увлажнения вегетационного периода?
10. Расскажите о гидротермическом коэффициенте Г. Т. Селлинова и поясните его физический смысл.
11. Как вы понимаете термин „влагообеспеченность растений“?
12. Как оцениваются условия перезимовки сельскохозяйственных и плодовых культур?
13. Каковы особенности оценки условий произрастания полевых культур?
14. Расскажите об агроклиматических сезонах.
15. Что такое „вертикальная зональность“ в горах?
16. По каким критериям определяется степень суровости и снежности зимы?
17. Дайте определение науки зооклиматологии. Как оцениваются зооклиматические условия летнего и зимнего содержания овец?
18. Расскажите о методах агроклиматического районирования.
19. Опишите агроклиматические ресурсы области (края), в которой вы живете, по материалам агроклиматического справочника.
20. Как вы понимаете термины „общее агроклиматическое районирование“ и „частное агроклиматическое районирование“? Приведите примеры.
21. Каково должно быть содержание агроклиматической характеристики отдельного хозяйства?
22. Расскажите об агроклиматических аналогах. Приведите примеры.
23. Каково содержание терминов: „микроклимат“, „мезоклимат“, „макроклимат“? Приведите примеры.
24. Расскажите о фитоклимате. Чем он отличается от микроклимата?
25. Как изменяется фитоклимат в посеве в процессе роста и развития растений?
26. Дайте определение термина „климат почвы“, раскройте его содержание.
27. Как составляются микроклиматические карты хозяйств?
28. Расскажите о методах улучшения мезоклимата и микроклимата сельскохозяйственных угодий.
29. Что такое капельное орошение? Расскажите о его преимуществах и недостатках.
30. Какие вы знаете камеры искусственного климата? Для чего они применяются?
31. Где могут быть использованы данные наблюдений за микроклиматом?
32. Расскажите о причинах естественной изменчивости климата.
33. Перечислите, какие формы хозяйственной деятельности человека влияют на изменения климата.

34. Объясните физический смысл явления, получившего название „парниковый эффект“.
35. Назовите несколько наиболее известных сценариев возможного изменения климата.
36. Как влияет глобальное потепление на агроклиматические ресурсы и продуктивность сельскохозяйственного производства в России?
37. Расскажите об ожидаемом положительном и отрицательном влиянии глобального потепления на продуктивность сельскохозяйственного производства и другие хозяйственные сферы экономики Российской Федерации.

АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ

Сельское хозяйство является одной из основных отраслей материального производства. Целью возделывания сельскохозяйственных культур и разведения сельскохозяйственных животных является получение продукции растениеводства и животноводства. В отличие от других сфер материального производства сельское хозяйство ведется на огромных территориально рассредоточенных площадях в различных почвенно-климатических зонах. Основные средства производства — земля, уровень ее плодородия, солнечный свет, тепло, влага и микроорганизмы, находящиеся в почвенных горизонтах. Сезонность всех видов сельскохозяйственных работ является специфической особенностью этого вида производства материальных ценностей.

Общезвестна зависимость сельскохозяйственного производства от климатических условий территории, от погоды конкретных лет. Особенно велика уязвимость систем производства продовольствия при неблагоприятных и экстремальных явлениях погоды, таких как засухи, губительные заморозки, наводнения и др. (см. главы 2 и 3). Эту зависимость наглядно отражает динамика средней урожайности и валового сбора всех зерновых и зернобобовых культур по территории Российской Федерации за последние десятилетия (рис. 6.1, 6.2).

Вопросы продовольственной безопасности государства должны обеспечиваться научным анализом, объективными оценками и прогнозами состояния сельскохозяйственного производства и ожидаемой продуктивности возделываемых культур.

Социально-экономическая система любого государства нуждается в различных видах агрометеорологической информации и прогнозов. Роль ежегодного прогнозирования продуктивности различных отраслей сельскохозяйственного производства особенно возросла в условиях современных социально-экономических изменений.

Научно обоснованное предположение о влиянии ожидаемых агрометеорологических условий на состояние и продуктивность сельскохозяйственных культур и сенокосно-пастбищной растительности называется агрометеорологическим прогнозом. Такой прогноз — это не только один из видов информации, он является руководством для принятия плановых и оперативно-хозяйственных решений.

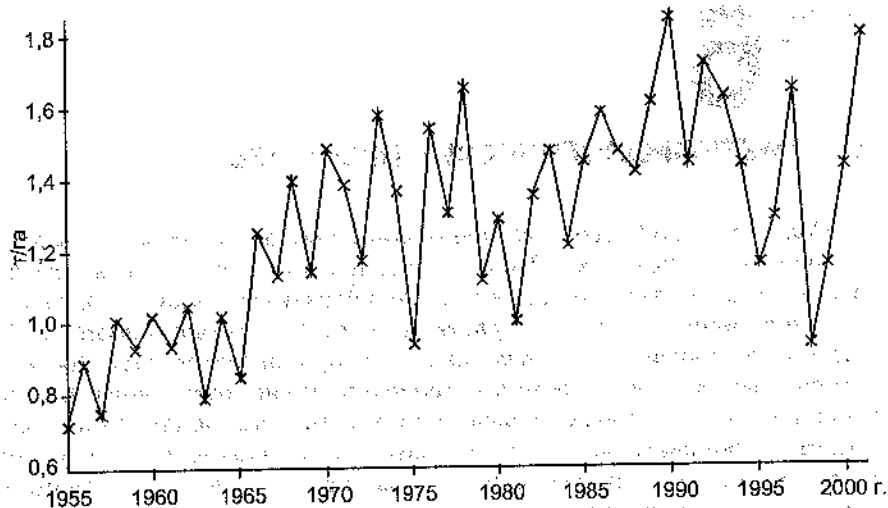


Рис. 6.1. Динамика средней урожайности зерновых и зернобобовых культур в целом по Российской Федерации с 1955 по 2001 г. (т/га), по данным Госкомстата России

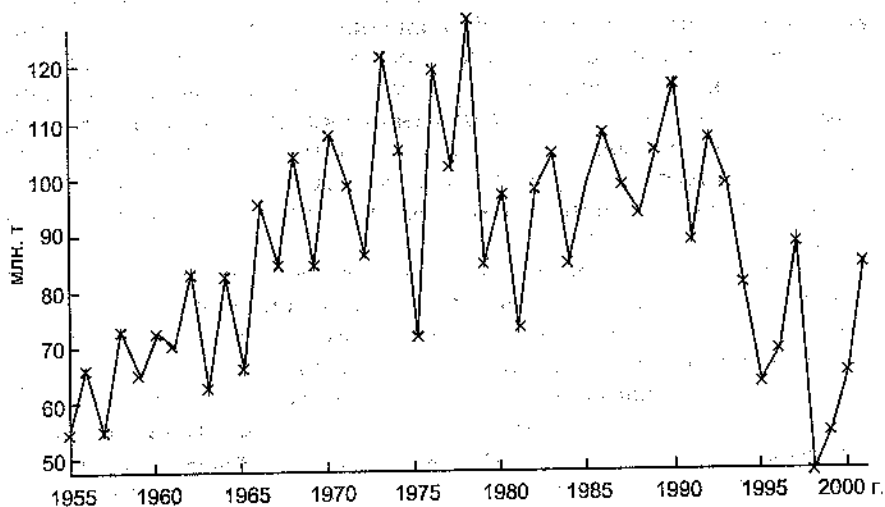


Рис. 6.2. Динамика валового сбора всех зерновых и зернобобовых культур в целом по Российской Федерации с 1955 по 2001 г. (млн. т), по данным Госкомстата России

В области оперативного обеспечения потребителей агрометеорологической информацией и прогнозами, учитывая их назначение, регулярность составления и масштабы территории обслуживания, Россия давно занимает передовые позиции.

6.1. Научные основы разработки агрометеорологических прогнозов

Научной основой такого предположения (предвидения), выраженного в конкретной или вероятностной форме, с заданной заблаговременностью являются знания о количественных связях между сложившимися агрометеорологическими условиями предшествующего периода и жизнедеятельностью растений. При составлении любого прогноза учитываются вероятности ожидаемых агрометеорологических условий, агроклиматические и почвенные условия конкретной территории, а также биологические и хозяйственные особенности растений.

При разработке методов агрометеорологических прогнозов основное внимание уделяется выбору наиболее значимых и *лимитирующих факторов* из всего комплекса агрометеорологических условий на заданной территории и в различные периоды вегетации растений. Согласно *закону минимума* (или *закону лимитирующего фактора*) *состояние растений, их конечная продуктивность определяются фактором, находящимся в минимуме при оптимальных прочих условиях*. Этот закон в экологии называют также по имени его автора — *законом Либиха*.

Из наиболее значимых факторов в первую очередь учитываются такие, которые изменяются медленно, но во многом определяют будущие условия формирования продуктивной части урожая растений. Это так называемые *инерционные факторы*. Многие агрометеорологические факторы и биологические показатели растений характеризуются большой *инерционностью* — *свойством живого организма или состояния среды сохранять определенную инерцию, медленно реагировать на изменения окружающих условий*. Например, сложившиеся к началу весны запасы продуктивной влаги, суммы активных (или эффективных) температур, количество стеблей и растений в посеве на единице площади, число оплодотворенных зерновок в колосе, площадь листовой поверхности, вертикальная высота растений, число растений, сохранившихся после перезимовки, и тому подобные параметры во многом определяют будущее состояние и продуктивность растений. Ослабить или исключить влияние инерционных факторов могут только экстремальные, внезапно наступившие явления, например: поздний весенний губительный заморозок, интенсивный и длительный суховей, продолжительное затопление посевов в половодье и т. п. Поясним сказанное несколькими примерами.

В засушливых районах России и сопредельных государств наиболее важным инерционным фактором для формирования урожая

сельскохозяйственных культур являются запасы продуктивной влаги в критические периоды жизни растений, а в зоне достаточного увлажнения — температура воздуха и почвы. Если, например, в период закладки колоса образовалось мало колосков и зерен, то даже при дальнейших оптимальных условиях для роста и развития зерновых культур их число не увеличится, а урожайность зерновых культур не достигнет высокого уровня.

При прогнозировании запасов почвенной влаги к началу весны наиболее значимыми факторами являются осенние запасы влаги в почве, количество осадков, выпавших в зимний период, или запасы воды в снеге. При прогнозировании сроков наступления фаз развития растений обычно используются средние температуры воздуха за межфазный период, суммы активных или эффективных температур.

Для повышения точности агрометеорологических прогнозов, кроме основных факторов, учитывают и дополнительные факторы, которые оказывают некоторое влияние на прогнозируемую величину.

Исходными данными для агрометеорологических прогнозов служат материалы сопряженных наблюдений за метеорологическими условиями и состоянием, ростом и развитием сельскохозяйственных посевов и естественных пастбищ, которые проводятся на сети станций и постов. Привлекаются также долгосрочные прогнозы погоды, агроклиматические справочники, атласы, данные Госкомстата об урожайности и валовом сборе сельскохозяйственных культур, о размерах площадей погибших зимой озимых культур, при необходимости — материалы по биологии развития растений.

Факторы, отражающие условия тепло- и влагообеспеченности, используются в качестве основных параметров в статистических связях и играют роль *предикторов, влияющих на предсказываемую переменную величину и учитываемых при расчете (прогнозе) ее будущего состояния.*

Достоверность и оперативность получения исходной информации в значительной степени определяют качество, точность и оправдываемость агрометеорологических прогнозов. Для повышения качества агрометеорологических прогнозов в программы работ на метеорологических станциях, привлеченных к агрометеорологическим наблюдениям, зачастую включают дополнительные виды наблюдений, в том числе маршрутные агрометеорологические наблюдения (см. главу 15).

Заблаговременность оперативных агрометеорологических прогнозов обычно составляет от 1 до 3 мес. Долгосрочные агрометеорологические прогнозы имеют заблаговременность от 3 до 6 (7) мес.

Оправдываемость агрометеорологических прогнозов, как правило, достаточно высокая (80...95 % и более), поскольку при их со-

ставлении учитывают исходное состояние почвы, посевов, фактически сложившиеся агрометеорологические условия на дату составления прогноза, наиболее значимые инерционные факторы, сохраняющие свое влияние длительное время, и материалы маршрутных агрометеорологических наблюдений на больших площадях.

Все виды оперативных и долгосрочных агрометеорологических прогнозов условно подразделяют на пять основных групп.

1. *Прогнозы агрометеорологических условий.* К этой группе относятся: долгосрочный прогноз теплообеспеченности вегетационного периода, прогноз запасов продуктивной влаги в почве весной, прогнозы агрометеорологических условий состояния и роста сельскохозяйственных культур и пастбищной растительности, прогноз условий уборки зерновых культур, сроков и норм полива, внесения удобрений и др.

2. *Фенологические прогнозы* оптимальных сроков начала весенних полевых работ, сроков наступления основных фаз развития дикорастущих растений, сельскохозяйственных и плодовых культур.

3. *Прогнозы урожайности и валового сбора всех основных сельскохозяйственных культур и пастбищной растительности; прогнозы качества урожая.*

4. *Прогноз состояния озимых культур в зимний период и к началу весны.*

5. *Зоометеорологические прогнозы* сроков появления и распространения вредителей и болезней растений, состояния и продуктивности сельскохозяйственных животных.

Оперативные агрометеорологические прогнозы составляются в учреждениях национальных гидрометеорологических служб стран СНГ. В России, например, такие прогнозы составляются в основном в Российском гидрометеорологическом центре (Москва), во Всероссийском научно-исследовательском институте сельскохозяйственной метеорологии (Обнинск) и в межрегиональных территориальных Управлениях по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Разработка новых методов и методик агрометеорологических прогнозов проводится в научно-исследовательских институтах Росгидромета и других национальных гидрометеорологических служб стран СНГ в соответствии с планами научно-исследовательских работ (ВНИИСХМ, Гидрометцентр России, СибНИГМИ, ДВНИГМИ, УкрНИГМИ, Научно-исследовательский гидрометеорологический институт (бывш. САНИГМИ им. В. А. Вугаева), Казахский научно-исследовательский институт экологии и климата (бывш. КазНИИ-МОСК) и др.).

Отметим, что методы агрометеорологических прогнозов не являются универсальными: они применимы только для определенных

почвенно-климатических зон, сельскохозяйственных культур и их сортов. При этом прогнозирование одних и тех же величин может быть выполнено различными методами. В практике оперативного обеспечения различных отраслей аграрного сектора экономики наибольшее развитие получили три типа агрометеорологических прогнозов: *статистические, динамико-статистические и синоптико-статистические.*

В настоящее время разработано значительное количество методов агрометеорологических прогнозов, которые публикуются в периодически издаваемых руководствах по агрометеорологическим прогнозам; последнее было издано Гидрометеоиздатом в 1984 г. в двух томах. После апробации вновь разработанных методов прогнозов и одобрения Центральной методической комиссией Росгидромета (или при положительном решении Технического совета территориального УГМС) такие методы публикуются в виде Руководящих документов (РД), обязательных для применения в оперативных подразделениях системы Росгидромета.

В качестве примера коротко рассмотрим несколько *статистических методов агрометеорологических прогнозов.*

6.2. Метод прогноза теплообеспеченности вегетационного периода

На большей части сельскохозяйственных районов Российской Федерации и сопредельных государств суммы активных температур вегетационного периода за каждый год отличаются друг от друга и от средних многолетних значений. Разности могут составлять $\pm(400...800)^\circ\text{C}$ и более. Это связано с естественными колебаниями (флуктуациями) климата и его изменением под воздействием хозяйственной деятельности человека на Земле. В годы с большим недобором тепла отдельные сельскохозяйственные культуры (сорта, гибриды) не успевают завершить свою вегетацию формированием полноценного урожая.

Заблаговременная прогностическая информация об ожидаемых условиях теплообеспеченности вегетационного периода необходима земледельцу для принятия оперативно-хозяйственных решений. Например, в годы, мало обеспеченные теплом, следует подбирать для посева наименее теплолюбивые сорта и гибриды; при ожидании значительной положительной аномалии тепла целесообразно расширение посевов более теплолюбивых сортов. Известно, однако, что синоптические прогнозы на месяц и сезон имеют пока невысокую оправдываемость; велика степень риска для земледельца при принятии хозяйственных решений.

Теоретические положения о возможности составления прогноза теплообеспеченности вегетационного периода были выдвинуты академиком Ф. Ф. Давитая на основе выявленных им асинхронных связей между сроком начала весны (принятый им устойчивый переход средней суточной температуры воздуха через 10 °С) и общим количеством тепла летом. Чем раньше наступает этот переход, тем большая сумма температур накопится за вегетационный период.

Метод долгосрочного прогноза теплообеспеченности вегетационного периода, разработанный Ф. Ф. Давитая, весьма успешно используется. Метод основан на связи сумм активных температур за теплый период года (выше 10 °С) с датой устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха весной через 10 °С. Уравнения связи составлены для многих географических пунктов, расположенных в различных почвенно-климатических зонах России и сопредельных стран. Общий вид уравнения связи:

$$\Sigma T_{>10} = A - aD, \quad (6.1)$$

где $\Sigma T_{>10}$ — прогнозируемая сумма активных температур, °С; A — свободный член уравнения; a — постоянный коэффициент при переменной величине D (значения A и a для многих городов приведены в „Руководстве по агрометеорологическим прогнозам“, т. 1, 1984, с. 32...33); D — число дней с 1-го числа самого раннего месяца, когда отмечался переход средней суточной температуры воздуха через 10 °С весной, до конкретной даты перехода этой температуры в текущем году.

Прогноз составляется сразу после даты устойчивого перехода температуры через 10 °С весной. Сущность метода заключается в том, что по отклонениям от нормы сроков весеннего перехода температуры воздуха через 10 °С определяется ожидаемое отклонение от нормы суммы активных температур наступающего вегетационного периода. При этом наличие данных в агроклиматических справочниках о средних сроках перехода средней суточной температуры воздуха через 10 °С весной и осенью и о средней температуре за период между этими сроками позволяет дать не только качественную характеристику прогнозируемого периода: будет теплее или холоднее. Метод позволяет рассчитать количественные показатели: на сколько градусов сумма активных температур прогнозируемого периода будет больше или меньше средней многолетней суммы. Прогнозируемую сумму температур можно сравнить также с теплообеспеченностью вегетационного периода прошлого года или любого аномально теплого или холодного года. Метод позволяет также рассчитывать продолжительность вегетационного периода.

Однако метод имеет свои недостатки. В средней полосе России возможны ранние осенние заморозки большой интенсивности, в

результате которых теплолюбивые культуры прекращают вегетацию. Последующий возврат теплой погоды обеспечивает продолжение вегетации менее теплолюбивых культур. Поскольку устойчивый переход температуры через 10°C еще не наступил, необходим дальнейший подсчет сумм температур до даты их устойчивого перехода через этот порог.

В арсенале агрометеорологов имеются и другие, как правило, более сложные методы долгосрочной оценки и прогноза теплообеспеченности вегетационного периода и ожидаемых дат устойчивого перехода температуры воздуха через различные „пороги“.

6.3. Метод прогноза запасов продуктивной влаги в почве к началу сева яровых культур

Этот прогноз составляется для районов недостаточного и неустойчивого увлажнения, где к концу осени запасы продуктивной влаги оказываются зачастую ниже наименьшей влагоемкости почвы. В начале весны агрономам необходима информация об ожидаемых влагозапасах в метровом горизонте почвы, которая используется при подборе сортов яровых культур, определении способов предпосевной обработки почвы и сроков сева.

В зоне достаточного увлажнения, как правило, к началу весны запасы продуктивной влаги выше наименьшей влагоемкости почвы, поэтому все мероприятия по агротехнике сева планируются заранее.

Метод прогноза запасов влаги в почве к началу сева яровых культур разработан Л. А. Разумовой. Он основан на расчете запасов влаги в метровом слое почвы за холодное время года в зависимости от осадков, выпавших за этот период, и недостатка насыщения почвы влагой к началу зимы до значения наименьшей влагоемкости. На европейской части России, где грунтовые воды находятся на большей глубине и в весенний период наблюдается недонасыщение почвы влагой, для расчетов используются два вида уравнения: для зоны с устойчивой зимой

$$Y = 0,115X + 0,56H - 20; \quad (6.2)$$

для зоны с неустойчивой зимой

$$Y = 0,21X + 0,62H - 33, \quad (6.3)$$

где Y — изменение запасов продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см за период от даты последнего определения влажности почвы осенью, совпадающей с датой установления отрицательных

средних суточных температур воздуха, обуславливающих промерзание почвы, до даты перехода температуры воздуха через 5°C весной; X — количество осадков, выпавших за этот же период, плюс сумма осадков, ожидаемая по прогнозу погоды от даты перехода температуры через 5°C весной; H — дефицит запасов влаги в метровом слое почвы осенью (разность между наименьшей влагоемкостью и запасами влаги в почве, определенными в последний раз осенью).

Запасы влаги в почве прогнозируются на дату перехода температуры воздуха через 5°C , так как к этому времени в большинстве районов почва полностью оттаивает, в ней устанавливается водное равновесие. Дата устойчивого перехода температуры воздуха через 5°C обычно прогнозируется долгосрочными прогнозами погоды, а в агроклиматических справочниках приведены средние многолетние даты. Примеры расчета приведены в „Руководстве по агрометеорологическим прогнозам” (1984).

6.4. Метод прогноза оптимальных сроков начала весенних полевых работ

Как известно, освобождение полей от снежного покрова, просыхание и прогревание почвы весной зависят от многих факторов. Основные из них — температура воздуха, высота снежного покрова в конце зимы, глубина промерзания почвы, скорость снеготаяния, насыщенность почвы влагой и т. п. Полевые работы и сев ранних яровых культур весной могут начаться только в период, когда почва на полях достигнет „спелости” или мягкопластичного состояния. Различают физическую и биологическую спелость почвы. *Физическая спелость почвы создается при оптимальном увлажнении, когда почва во время механической обработки распадается на агрегаты размером от 1 до 10 мм.* Такое состояние почвы называется также *мягкопластичным*. Просыхание почвы до мягкопластичного состояния, например, в нечерноземной зоне происходит в сроки, близкие к датам устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через $5...7^{\circ}\text{C}$. Минимальная температура в этот период редко бывает ниже -5°C . В этих условиях работа почвообрабатывающих агрегатов проходит бесперебойно, а пахота получается высокого качества.

Биологическая спелость почвы наступает в хорошо обработанной, увлажненной и прогретой почве. Ее определяют визуально, используя при этом балльную оценку степени увлажнения почвы в соответствии с действующим Наставлением, вып. 11.

В конце зимы, при составлении прогноза начала весенних полевых работ, агрометеоролог должен располагать разнообразной исходной информацией, помещаемой в ТСХ-1.

Метод прогноза начала полевых работ и оптимальных сроков сева ранних яровых зерновых культур для Северного и Северо-Западного районов России разработан А. Н. Деревянко. Метод основывается на положении о том, что условия залегания снежного покрова и промерзания почвы в период первого понижения температуры воздуха ниже -10°C в течение 10 дней зимой предопределяют условия оттаивания почвы и ее просыхания весной. Уравнения имеют вид:

для суглинистых почв

$$U = -1,12X - 0,14Y - 0,09Z + 177,17; \quad (6.4)$$

для супесчаных почв

$$U = -0,95X - 0,74Y - 0,06Z + 186,71, \quad (6.5)$$

где U — продолжительность периода от конца первого зимнего похолодания, когда температура воздуха опустилась ниже -10°C в течение 10 дней и более, до просыхания пахотного слоя почвы до мягкопластичного состояния, дни; X — продолжительность периода от даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C осенью до даты конца первого зимнего понижения температуры воздуха ниже -10°C в течение 10 дней и более, дни; Y — число дней с устойчивым снежным покровом (считая с 1 ноября); Z — глубина промерзания почвы на конец первого понижения температуры воздуха ниже -10°C в течение 10 дней и более, см.

Заблаговременность этого прогноза составляет от 2,5 до 6 месяцев в зависимости от характера зимне-весеннего периода. Ошибка уравнений с обеспеченностью около 80 % составляет около 6 дней.

Анализ многолетних материалов о сроках просыхания почвы до мягкопластичного состояния и фактических сроках сева ранних яровых зерновых культур показал, что сев по всей названной территории начинается через 4...10 дней после просыхания почвы до мягкопластичного состояния. В отдельные годы этот временной разрыв составляет 15...20 дней. Значительное запаздывание с севом отмечается в годы с аномально ранними веснами, когда почва „поспевает“ на 20...22 дня раньше, чем обычно.

Однако, как показывают наблюдения, в сельскохозяйственных хозяйствах чаще придерживаются не оптимальных сроков сева, а многолетних календарных сроков, что приводит к потере для рас-

тений весенней влаги и получению изреженных и ослабленных всходов. Напомним при этом, что зерно яровых культур начинает поглощать влагу из почвы в полевых условиях уже при температуре 0 °С, а прорастание семян наступает при температуре 1...2 °С. Оптимальной температурой воздуха для прорастания семян ранних яровых считается 8...12 °С. Ко времени достижения почвой физической спелости температура воздуха в нечерноземной зоне колеблется от 4 до 12 °С; такая температура благоприятна для дружного прорастания семян и появления всходов. Ранние яровые культуры наиболее устойчивы к весенним заморозкам и выдерживают кратковременные понижения температуры воздуха до -8 °С.

Аналогичные методы разработаны и используются в других регионах России и в сопредельных государствах.

6.5. Методы фенологических прогнозов

Фенология — это система научных знаний о сезонном развитии живой природы — растений и животных — в естественной обстановке в связи со сменой времен года. Понятие фенология зачастую распространяется и на такие явления неживой природы, зависящие от сезонов года и погоды, как ледостав и вскрытие рек, установление и сход снежного покрова и т. п. В задачи фенологии входит изучение сроков наступления фаз развития растений, картирование фенологических явлений, выделение фенологических сезонов, разработка фенологических прогнозов сроков наступления различных фаз развития растений.

Фазы развития — это последовательные этапы индивидуального развития растений: от прорастания семени до плодоношения и отмирания растительного организма. Предсказание, основанное на расчетах сроков наступления и окончания сезонных явлений и процессов в жизни растений, называется фенологическим прогнозом.

Основоположителем фенологических прогнозов в агрометеорологии является А. А. Шитов. Предложенный им в 1931 г. метод расчета ожидаемых дат наступления фаз развития нескольких сельскохозяйственных культур (озимых пшеницы и ржи, яровых пшеницы, овса, ячменя, льна, ряда плодовых культур и лесных древесно-кустарниковых пород) используется в оперативной агрометеорологии до настоящего времени.

Приведем несколько примеров фенологических прогнозов. Скорость развития растений в условиях достаточной обеспеченности влагой зависит в основном от температуры воздуха. С повышением

температуры (до определенного предела) скорость развития увеличивается, с понижением — уменьшается. *Скорость развития растений — это часть межфазного периода развития растения, пройденная за 1 день как единицу времени.* Если весь межфазный период развития (обозначим его через единицу) составляет n дней, то за один день часть этого периода будет равна $1/n$. Эта зависимость, положенная в основу фенологических прогнозов, согласно исследованиям А. А. Шиголева, А. А. Скворцова и Л. Н. Бабушкина, выражается уравнением:

$$n = \sum T_{\text{эф}} / (T - B), \quad (6.6)$$

где n — продолжительность межфазного периода; $\sum T_{\text{эф}}$ — сумма эффективных температур, необходимая для наступления данной фазы; T — средняя суточная температура воздуха за данный период; B — биологический минимум температуры конкретного растения в данной фазе. Отсюда скорость развития растения выражается уравнением:

$$1/n = (T - B) / \sum T_{\text{эф}}, \quad (6.7)$$

сумма эффективных температур будет соответственно равна:

$$\sum T_{\text{эф}} = (T - B) / (1/n). \quad (6.8)$$

А. А. Шиголевым, Л. Н. Бабушкиным и многими другими исследователями были установлены значения сумм эффективных температур, необходимых для наступления основных фаз развития зерновых, технических, кормовых, овощных, плодовых и других культур с учетом их сортовых различий. Некоторые примеры потребности ряда сельскохозяйственных культур в тепле приведены в табл. 1.8, а также в „Руководстве по агрометеорологическим прогнозам”, т. 1, 2 (1984).

Наступление той или иной фазы развития рассчитывается по уравнению:

$$D_2 = D_1 + \sum T_{\text{эф}} / (T - B), \quad (6.9)$$

где D_2 — дата наступления ожидаемой фазы; D_1 — дата наступления предшествующей фазы; остальные обозначения см. формулу (6.6).

Известно, что скорость развития растений в условиях достаточной влагообеспеченности увеличивается с ростом температуры воздуха, но в пределах конкретных значений, свойственных отдельным культурам. В весенний период, в условиях затяжной и прохладной погоды, темп нарастания температуры незначителен, а в ночные и утренние часы температура зачастую опускается ниже биологического нуля. В то же время днем нагрев воздуха и почвы

создает условия для нормального развития растений. Для исключения „бесполезных“ для растений температур расчет сумм эффективных температур должен проводиться по данным тех сроков наблюдений, в которые температура превышала уровень биологического минимума.

При расчете сумм эффективных температур необходимо учитывать также верхние пределы температуры, превышение которых не увеличивает скорость развития растений. В ряде лабораторно-полевых экспериментов (О. Н. Гранитова, И. Г. Грингоф и др.) и фундаментальных физиологических исследований было установлено, что очень высокие летние температуры воздуха и почвы замедляют процессы фотосинтеза, усиливают транспирацию и дыхание растений, т. е. оказывают отрицательное влияние на весь продукционный процесс и скорость развития растений. Такие высокие температуры воздуха получили название *балластных*, т. е. бесполезных для растений. Если в расчеты сумм эффективных температур включать температуры, превышающие биологический максимум культуры, то суммы эффективных температур окажутся завышенными, не отражающими потребность растений в тепле в тот или иной период их развития. Для исключения ошибок при расчетах сумм эффективных температур агрометеорологи ввели поправочные коэффициенты (см. табл. 6.1).

Прогноз сроков наступления фазы восковой спелости зерновых культур. Наиболее ответственным прогнозом из всех фаз развития зерновых культур является прогноз сроков наступления фазы восковой спелости, поскольку на его основе определяются сроки начала уборки зерновых. Прогноз, составленный с большой заблаговременностью, позволяет своевременно подготовить уборочную технику и зернохранилища, спланировать график уборки по полям и хозяйствам.

Такой прогноз составляется обычно после даты наступления фазы колошения на большинстве полей с яровыми культурами. Ожидаемая дата наступления фазы восковой спелости рассчитывается путем набора суммы эффективных температур выше 5°C от даты колошения. Для озимой ржи эта сумма равна 544°C , для озимой и яровой пшеницы — 490°C , для ярового ячменя — 388°C . При расчетах используются данные о температуре воздуха с ближайшей метеорологической станции, материалы из справочника „Агроклиматические ресурсы области, края“ с поправкой на месячный прогноз по температуре воздуха. По яровым культурам сроки созревания хлебов могут быть более растянуты, что связано с пестротой в сроках сева, поэтому необходимо указывать сроки наступления фазы восковой спелости для самых ранних и поздних посевов яровых.

Прогноз сроков наступления фаз выметывания и молочной спелости кукурузы. Этот прогноз имеет решающее значение при определении наиболее рентабельного использования данного посева: на силос или на зерно. Расчет сумм температур, требующихся для наступления фазы выметывания, проводится на основании данных о числе листьев, свойственных данному сорту (гибриду), и сумме температур, определяющей (в среднем) появление каждого очередного листа. Число листьев, образуемых на главном стебле, является сортовым признаком, связанным со скороспелостью сорта. Например, очень позднеспелые сорта формируют на главном стебле более 21 листа; среднеспелые — 15...16, раннеспелые — 11...12. Между числом листьев, образующихся на главном стебле, и суммой эффективных температур выше 10 °С, накопившейся за этот период, существует весьма устойчивая связь. Сумма эффективных температур, приходящаяся на один „межлистовой” период, составляет (30 ± 2) °С. Связь продолжительности всего периода листообразования (от 3-го листа до выметывания) выражается уравнением:

$$n = 30 (N + 1) / c(T - 10), \quad (6.10)$$

где n — продолжительность периода, дни; N — число межлистовых периодов до появления последнего листа; T — средняя температура периода, °С; c — поправочный коэффициент, определяемый по табл. 6.1.

Таблица 6.1

Поправочные коэффициенты, зависящие от средней температуры воздуха (по Ю. И. Чиркову, 1969)

Средняя температура воздуха, °С	20	21	22	23	24	25	26	27
Поправочный коэффициент	1,00	0,98	0,96	0,93	0,90	0,87	0,84	0,80

Исходной датой прогноза сроков выметывания метелки является фаза 3-го листа.

Долгосрочный прогноз сроков выметывания метелки основывается на устойчивой связи числа листьев со скороспелостью сорта и сравнительно постоянным их числом, свойственным каждому сорту. Для удобства расчета сумм эффективных температур, необходимых для выхода всех заложённых листьев и наступления фазы выметывания метелки, автор метода Ю. И. Чирков предложил таблицу (табл. 6.2).

При составлении текста прогноза необходимо вкратце описать агрометеорологические условия периода листообразования и формирования репродуктивных органов на обследуемых полях с раз-

Таблица 6.2

Сумма эффективных температур (выше 10 °С), необходимая для наступления фазы выметывания кукурузы с учетом появления очередных листьев (°С)

Период развития	Сорт		
	позднеспелый	среднепоздний	среднеспелый
3-й лист — выметывание	540	480	420
5-й лист — выметывание	480	420	360
7-й лист — выметывание	420	360	300
9-й лист — выметывание	360	300	240
11-й лист — выметывание	300	240	180
13-й лист — выметывание	240	180	120
15-й лист — выметывание	180	120	60
17-й лист — выметывание	120	60	—
19-й лист — выметывание	60	—	—

личными сроками сева. Следует проанализировать благоприятные и неблагоприятные факторы, влияющие на рост и развитие культуры, привести результаты маршрутного обследования, сравнить темпы развития растений в текущем году со средними многолетними и прошлогодними темпами. Необходимо также указать среднюю высоту и густоту посевов, сравнить количественные данные о посеве в случае использования его на зерно или на силос.

Метод прогноза сроков наступления молочной спелости, предложенный Ю. И. Чирковым, основан на накоплении определенной суммы эффективных температур выше 10 °С за период от фазы выметывания метелки до молочной спелости зерна в початке. Для позднеспелых сортов эта сумма составляет 280 °С, для среднеспелых — 260 °С, для раннеспелых — 240 °С. В южных регионах, где средняя суточная температура воздуха в этот период выше 20 °С, необходимо введение поправок на „балластные” температуры (см. табл. 6.1).

Прогноз составляется после наступления фазы выметывания метелки.

6.6. Методы прогноза урожайности и валового сбора основных сельскохозяйственных культур и качества урожая

Урожай — это полезная продукция, полученная в результате возделывания сельскохозяйственных культур или использования дикорастущих видов. Различают урожай амбарный — это фак-

тически собранная и включенная в статистическую отчетность продукция; и урожай валовой — вся продукция данного вида или видов сельскохозяйственных культур, собранная со всей посевной площади (хозяйства, района, области, страны). Валовой урожай, например, зерна пшеницы или валовой урожай зерновых и зернобобовых культур в конкретном году рассчитывается как произведение урожайности (т/га) на всю площадь посева (га) в конкретном году и выражается в тоннах.

Урожайность — это потенциальное или фактическое количество полезной продукции растениеводства или естественного растительного сообщества, отнесенное к единице площади (т/га; кг/га; кг/м²). Различают несколько видов урожайности. **Ожидаемая урожайность** — предполагаемый сбор продукции (виды на урожай), определяется в тоннах с гектара или условно (высокая, средняя, низкая, на уровне прошлого года) в отдельные периоды роста и развития сельскохозяйственных культур; **потенциальная урожайность** — это максимальное количество продукции, которое можно получить с 1 га при полной реализации сортовых возможностей культуры; **урожайность на корню** — это биологическая продуктивность сельскохозяйственной культуры при конкретных агрометеорологических условиях и применяемой агротехнике.

Урожайность сельскохозяйственных культур зависит от многих факторов: плодородия почвы, биологических особенностей культуры (сорта), уровня применяемых агротехнических приемов возделывания, качества посевного материала, сложившихся агрометеорологических условий в вегетационный период. Если биологические особенности сорта, почвенное плодородие более или менее стабильны, то агрометеорологические условия вегетационного периода, в том числе условия перезимовки озимых культур, характеризуются большой изменчивостью от года к году. Именно с ними в первую очередь связаны значительные колебания урожайности и валового сбора сельскохозяйственной продукции по годам. Это наглядно проявляется в динамике урожайности зерновых и зернобобовых культур в целом (см. рис. 6.1) и валового сбора этих культур по Российской Федерации (см. рис. 6.2). После 1992 г. в статистическую отчетность включаются данные по урожайности сельскохозяйственных культур в так называемом *доработанном весе, т. е. с поправками на стандартную влажность зерна (14 %) и его засоренность (1 %)*.

В связи с такими колебаниями урожайности и валовых сборов зерновых и других культур сельскохозяйственное производство заинтересовано в получении с большой заблаговременностью прогнозов ожидаемой продуктивности посевов и конечного урожая.

Выполненные в Гидрометеорологическом центре СССР (ГМЦ СССР) исследования по разработке количественных методов агрометеорологических прогнозов позволили приступить с 1964 г. к оперативному прогнозированию средней областной урожайности сельскохозяйственных культур с заблаговременностью от 1 до 3 мес. В последующие годы в ГМЦ СССР, ВНИИСХМ, во всех региональных научно-исследовательских институтах Росгидромета разрабатывались методы агрометеорологических прогнозов урожайности и валового сбора всех основных сельскохозяйственных культур. После испытания методов прогноза в производственных условиях лучшие, имеющие наиболее высокую оправдываемость методы опубликовывались в „Руководстве по агрометеорологическим прогнозам“ (1984 г.). Рассмотрим в качестве примеров некоторые методы прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур и естественной пастбищной растительности.

Прогнозы урожайности основных зерновых культур. Основу методов прогнозов урожайности *озимой пшеницы* для территории европейской части страны составляют количественные зависимости урожайности этой культуры от главных инерционных факторов (см. раздел 6.1) — запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы и количества стеблей пшеницы на 1 м² весной, в фазу выхода в трубку и в фазу колошения. На основании большого материала наблюдений сети метеорологических станций установлены показатели оценки запасов продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см в основные периоды весенне-летней вегетации озимой пшеницы для районов черноземных почв, которые обеспечивали различную урожайность этой культуры: от высокой до низкой (табл. 6.3).

Таблица 6.3

Показатели оценки запасов продуктивной влаги (мм) в слое почвы 0...100 см в основные периоды весенне-летней вегетации озимой пшеницы (по Е. С. Улановой, 1975)

Период	Запасы продуктивной влаги, мм			
	хорошие	удовлетворительные	недостаточные	плохие
Возобновление вегетации	150...200	120...150	100...120	< 100
Рост стебля	140...180	100...140	80...100	< 80
Колошение	80...140	60...80	40...60	< 40
Налив зерна	80...100	40...80	30...40	< 25

Е. С. Улановой получены прогностические уравнения ожидаемой урожайности различной заблаговременности как для отдельных полей, так и в среднем по областям.

Например, прогноз урожайности озимой пшеницы для конкретного поля (для сортов Безостая 1 и Мироновская 808) составляется через 10 суток после наступления фазы возобновления вегетации с 3-месячной заблаговременностью по следующему уравнению:

$$Y = 0,059W + 0,024n - 2,97, \quad (6.11)$$

где Y — ожидаемая урожайность озимой пшеницы, ц/га; W — запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см весной, мм; n — число стеблей озимой пшеницы на 1 м^2 весной.

В фазы выхода в трубку и колошения прогнозы урожайности озимой пшеницы на конкретном поле рассчитываются по уравнениям, учитывающим запасы продуктивной влаги, количество выпавших осадков, температуру воздуха, число стеблей на 1 м^2 , высоту растений в фазе колошения, число колосков в колосе, суммарное испарение.

Прогнозы урожайности озимой пшеницы в среднем по области, краю рассчитываются весной по следующему уравнению:

$$Y = -21,14 + 0,31W - 7 \cdot 10^{-4}W^2 + 0,023n - 8 \cdot 10^{-5}n^2. \quad (6.12)$$

Обозначения в этой формуле такие же, как в (6.11).

После фазы выхода в трубку или появления у растений нижнего узла соломины первый прогноз урожайности озимой пшеницы уточняется по уравнениям, где в качестве предикторов используются запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы и число стеблей на 1 м^2 в эти фазы. Вместо расчетов по этим уравнениям удобнее пользоваться графиками, построенными автором метода (рис. 6.3).

Для прогнозирования средней областной, краевой или республиканской урожайности пшеницы в фазу колошения также получены уравнения, включающие такие предикторы, как запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см, число колосконосных стеблей на 1 м^2 , высота растений, число колосков в колосе, сумма осадков и т. п.

Для нечерноземной зоны России методы прогноза урожайности озимой пшеницы были разработаны М. С. Куликом (1966). В прогностические уравнения им были введены и такие предикторы, как количество внесенных минеральных удобрений, число образовавшихся колосков в колосе и др.

Методы прогнозов средней областной урожайности *ранних яровых зерновых культур* (пшеницы, ячменя, овса) и *поздних яровых зерновых культур* (кукурузы, гречихи, риса) разработаны с учетом уродия применяемой агротехники и агрометеорологических факторов, которые определяют формирование урожая в различных почвенно-климатических условиях. Такими факторами являются: по-

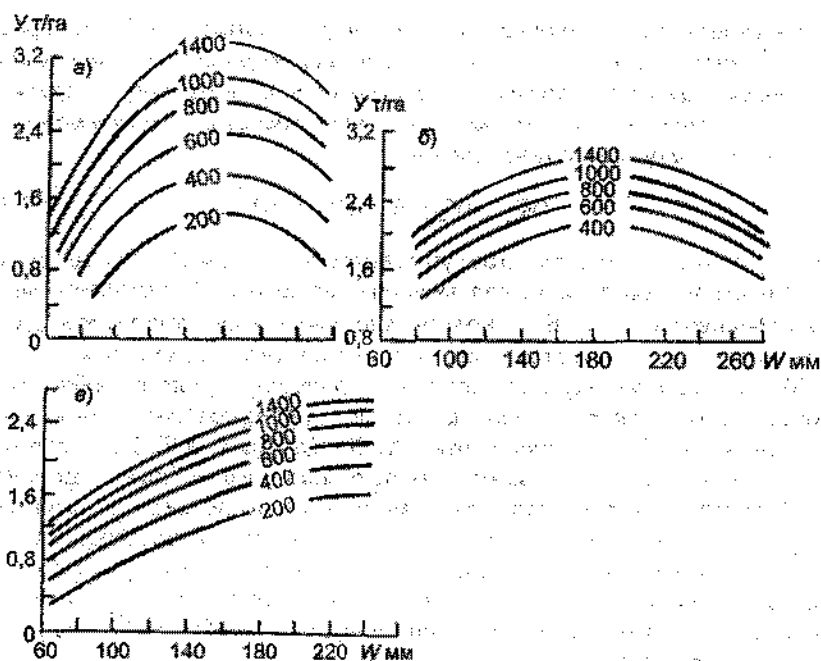


Рис. 6.3. Зависимость средней областной урожайности озимой пшеницы (Y т/га) от средних по области запасов продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см (W мм) и числа стеблей на 1 м^2 в фазу выхода в трубку (цифры у кривых): а) Северный Кавказ, Украина, Молдавия; б) западные и северные области Украины; в) Центрально-Черноземные области, Среднее и Южное Поволжье (по Е. С. Улановой, 1975)

казатели увлажнения, количество осадков, температура и дефицит влажности воздуха, элементы продуктивности растений и др.

Например, для Волгоградской, Саратовской, Новгородской областей и Вапкоростана прогноз средней по области (республике) урожайности яровой пшеницы в период фазы колошения составляется по уравнениям, полученным Т. В. Кириличевой:

$$Y = 0,02 n_1 + 0,63 n_2 + 0,16h + 0,02W - 13,01, \quad (6.13)$$

где Y — урожайность яровой пшеницы, ц/га; n_1 — среднее число колосконосных стеблей на 1 м^2 ; n_2 — число развитых колосков в колосе; h — высота растений в фазе колошения, см; W — запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см в декаду колошения, мм.

А. В. Процеровым была изучена зависимость средней областной урожайности этой культуры от показателя влагообеспеченности (K):

$$Y = 0,22K - 0,90. \quad (6.14)$$

Показатель влагообеспеченности растений (по А. В. Процеву) представляет собой отношение суммарного испарения влаги с поля, занятого яровой пшеницей в текущем году, к суммарному испарению, необходимому для создания оптимальных условий для формирования урожая:

$$K = (W_1 - W_2 + R) \cdot 100 / 0,6 \sum d, \quad (6.15)$$

где W_1 и W_2 — запасы продуктивной влаги (мм) в слое почвы 0...100 см в начале и конце периода, за который рассчитывается влагообеспеченность; R — количество осадков за период, мм; $\sum d$ — сумма средних суточных дефицитов влажности воздуха, мм.

Метод агрометеорологического прогноза средней областной урожайности ярового ячменя и овса для нечерноземной зоны европейской части России разработан А. Н. Полевым и Т. И. Мызиной. Он основан на использовании связи отношения средней многолетней фактической урожайности к максимально возможной урожайности ($Y/Y_{\text{макс}}$) со средней месячной температурой воздуха в мае—июне, средними запасами продуктивной влаги в пахотном слое за периоды всходы — выход в трубку — колошение и средней по области высотой растений в фазу колошения (см. „Руководство по агрометеорологическим прогнозам”, 1984, т. 1).

Прогноз урожайности овса по методу С. Л. Плучек составляется после наступления фазы выметывания. В качестве предикторов в прогностических уравнениях использованы запасы продуктивной влаги и высота растений в фазу выметывания.

Метод прогноза урожайности зерна кукурузы для конкретного поля разработан Ю. И. Чирковым. В основе метода лежит зависимость урожайности зерна этой культуры от запасов продуктивной влаги (W) в слое почвы 0...50 см и площади листовой поверхности (S) в тыс. $\text{м}^2/\text{га}$ в фазу выметывания метелки. Площадь листовой поверхности (S_1) на одном растении (см^2) ко времени наступления фазы выметывания рассчитывается по средней высоте растений (h) с помощью уравнения

$$S_1 = 36,94h - 1632,8. \quad (6.16)$$

Умножив полученное значение S_1 на густоту посева, определяют площадь листовой поверхности на 1 га (см^2), затем, разделив ее на 10 000, получают значение площади листовой поверхности S , выраженное в тыс. $\text{м}^2/\text{га}$.

Прогнозы урожайности гречихи в черноземной зоне России (по методу Н. З. Ивановой-Зубковой) базируются на учете средней областной влагообеспеченности посевов за период цветение — созревание этой культуры.

Методы прогноза урожайности риса, разработанные Ф. А. Муминовым и Х. М. Абдуллаевым для территории Узбекистана, учитывают температуру воздуха, густоту стояния посевов и высоту растений в фазу выметывания. Для территории Приморского края (метод Л. С. Чернышевой) в прогностические уравнения ожидаемой урожайности включены: сумма температур выше 10°C и значение тренда урожайности. *Тренд урожайности — это общее направление, тенденция изменения урожайности во времени, обнаруживаемая в нестационарных динамических рядах.*

В качестве примера на рис. 6.4 представлена диаграмма оправдываемости агрометеорологических прогнозов урожайности всех зерновых и зернобобовых культур по территории Российской Федерации с 1991 по 2000 г.

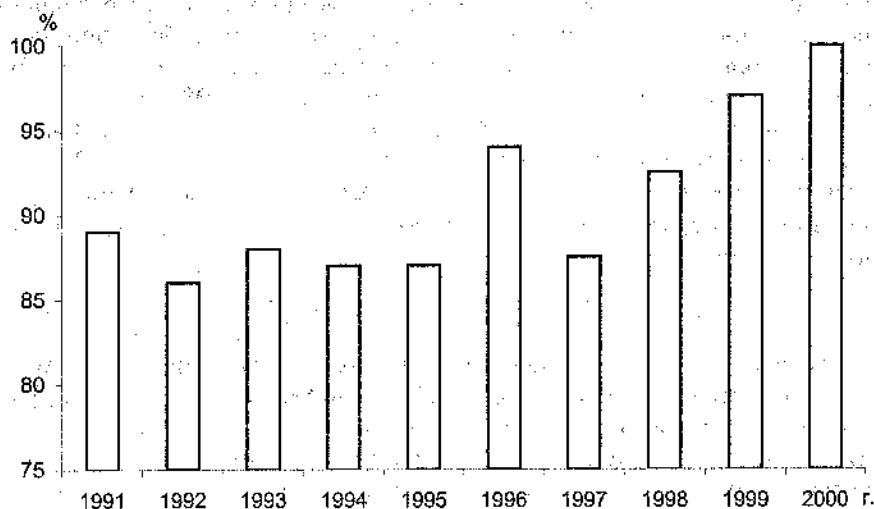


Рис. 6.4. Оправдываемость агрометеорологических прогнозов урожайности и валового сбора всех зерновых и зернобобовых культур по Российской Федерации за 1991...2000 гг.

Прогнозы урожайности технических культур. К техническим культурам относятся сельскохозяйственные растения, которые дают сырье для различных отраслей промышленности. В зависимости от получения из них того или иного основного продукта эти культуры подразделяют на сахароносные (сахарная свекла), крахмалоносные (картофель и др.), масличные (подсолнечник, лен, хлопчатник и др.), прядильные (лен, хлопчатник и др.). В качестве примеров рассмотрим отдельные методы прогнозов урожайности технических культур.

Метод прогноза урожайности *сахарной свеклы*, разработанный О. М. Конторщиковой для основной территории свеклосеяния, основан на зависимости ее урожайности от тепло- и влагообеспеченности, массы корнеплода, сформировавшейся на 20 июля. Например, для Центрально-Черноземных областей России прогноз урожайности культуры рассчитывается по уравнению:

$$Y = 1,05Y_1 + 0,02 \sum T + 0,92W - 3,43, \quad (6.17)$$

где Y — ожидаемая средняя областная урожайность культуры, ц/га; Y_1 — средний по области биологический урожай (масса корня на 20 июля, умноженная на густоту посева); $\sum T$ — средняя по области сумма средних суточных температур воздуха за период от даты устойчивого перехода средней декадной температуры через 10°C до 1 августа; W — средняя по области ожидаемая влагообеспеченность посевов (%) за весь период вегетации. Влагообеспеченность рассчитывается по специальным уравнениям, приведенным в „Руководстве по агрометеорологическим прогнозам“, 1984, т. 2.

В методе прогноза средней областной урожайности *картофеля* для всех категорий хозяйств, разработанном А. Г. Новиковым, в качестве предикторов используются данные о суммах средних декадных температур воздуха за апрель и июнь ($\sum T_{IV} + \sum T_{VI}$) и количестве осадков за май (R_V):

$$Y = 0,477R_V - 2,814\sum T_{IV} + 1,985\sum T_{VI} + 60. \quad (6.18)$$

Основные районы возделывания *подсолнечника* характеризуются недостаточным и неустойчивым увлажнением, поэтому лимитирующими условиями формирования продуктивности этой культуры является влага. Метод прогноза урожайности семян подсолнечника, разработанный Ю. С. Мельником, основан на зависимости урожайности семян от *показателя увлажнения (K)*. Этот показатель рассчитывается как отношение суммы осенне-зимних осадков (R_1) и осадков за вегетационный период (R_2) к сумме температур за вегетационный период ($\sum T$), уменьшенной в 10 раз:

$$K = (0,6R_1 + R_2)/0,1\sum T, \quad (6.19)$$

где 0,6 — средний многолетний коэффициент усвоения осенне-зимних осадков почвой в большинстве районов зоны возделывания подсолнечника на европейской части стран СНГ.

Прогностическая связь урожайности семян среднепоздних сортов этой культуры с показателем увлажнения имеет вид:

$$Y = 23,44(K - 0,46)^{0,8}. \quad (6.20)$$

Методы прогноза урожайности хлопка-сырца, разработанные Ф. А. Муминовым, А. К. Абдуллаевым, Н. И. Осиповой, З. И. Воложук, Л. Н. Платоновой и другими исследователями, основаны на использовании информации о густоте стояния растений на конкретном поле, о количестве сформировавшихся коробочек (Н. Н. Караульщикова), об условиях тепло- и влагообеспеченности посевов.

Прогноз средней областной урожайности хлопка-сырца средне-спелых сортов на больших площадях может быть также составлен по данным о величине надземной растительной массы хлопчатника в период достижения максимальной листовой поверхности. Эту величину получают в результате аэрофотометрического обследования хлопковых плантаций на больших площадях (метод В. И. Рачкулика, М. В. Ситниковой, И. П. Беляевой).

Прогнозы качества урожая. Накопление в растениях веществ, полезных для человека, зависит от почвенно-климатических условий, технологии возделывания и сортовых особенностей сельскохозяйственных культур. Совокупность определенных (химических, физических, технологических, питательных и др.) свойств сельскохозяйственной продукции (сахаристость, жирность, белковость, волокнистость и т. п.), обуславливающих ее способность удовлетворять конкретные запросы потребителей, называется *качеством урожая*. Качество продукции устанавливается с помощью аналитических физико-химических методов, а также органолептическими методами, т. е. с помощью органов чувств: цвет, запах (аромат), вкус.

Изучением проблемы зависимости качества сельскохозяйственных культур от климатических и погодных условий занимались агроклиматологи и агрометеорологи Н. И. Шарапов, В. А. Смирнов, В. Н. Страшный, А. Н. Деревянко и др. Установлено, что с увеличением континентальности климата возрастает содержание белка и клейковины в зерне пшеницы; от распределения осадков в течение вегетационного периода зависит содержание крахмала в клубнях картофеля и т. д.

В качестве примера рассмотрим уравнения для прогноза содержания белка и клейковины в зерне озимой пшеницы сильных сортов в условиях черноземной зоны России, разработанные В. Н. Страшным. Им установлено, что наибольшее влияние на показатели качества зерна озимой пшеницы оказывают: средняя амплитуда температуры воздуха (A) за период от даты возобновления вегетации до даты устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 10°C весной, запасы продуктивной влаги (W) в слое почвы $0 \dots 100$ см на начало активной вегетации, средний дефицит насыщения воздуха водяным паром (d) за период от начала активной вегетации до фа-

зы колошения, количество колосоносных стеблей (N) и средняя температура воздуха (T) за межфазный период колошение — восковая спелость (см. рис. 4.36).

Ожидаемое средневзвешенное по области содержание белка в зерне озимой пшеницы ($Y_{\text{бел}}$ %) рассчитывается после наступления фазы массового колошения пшеницы по уравнению

$$Y_{\text{бел}} = 4,45 + 0,19A - 0,002W + 0,11d - 0,002N + 0,38T. \quad (6.21)$$

Ожидаемое содержание клейковины в зерне озимой пшеницы ($Y_{\text{кл}}$ %) определяется по уравнению

$$Y_{\text{кл}} = 0,67 + 0,37A - 0,017W + 0,65d - 0,004N + 0,86T. \quad (6.22)$$

Из анализа этих уравнений видно, что содержание белка и клейковины в зерне возрастает с увеличением температуры воздуха, амплитуды ее суточного хода и дефицита насыщения воздуха водяным паром; содержание этих веществ уменьшается с увеличением влажности почвы и густоты посева. Таким образом, жаркая и сухая погода способствует повышению качества зерна.

Метод прогноза сахаристости сахарной свеклы для основных районов ее возделывания разработан О. М. Конторицкой. Ею установлено, что с возрастанием числа ясных дней в период интенсивного накопления сахаров и соответственно с увеличением прихода прямой солнечной радиации при уменьшении влагообеспеченности посевов сахаристость (в процентах) свеклы возрастает.

Методы прогноза качества (сахаристости) винограда для условий Грузии разработаны Т. И. Турманидзе, для условий Крыма — Д. И. Фурса; предикторами в прогностических уравнениях являются интенсивность солнечной радиации, температура воздуха и условия увлажнения.

Метод прогноза качества урожая подсолнечника, разработанный Ю. С. Мельником, основывается на прямой зависимости увеличения масличности семян с повышением температуры воздуха и обратной зависимости от показателя увлажнения (рис. 6.5). В схеме прогноза предусмотрен также расчет ожидаемого выхода масла (в процентах) на маслозаводах.

Прогнозы урожайности сеяных трав и сенокосно-пастбищной растительности. Методы прогноза урожайности сена многолетних сеяных трав имеют большое хозяйственное значение для животноводческих регионов России. Н. В. Гулиновой установлены количественные зависимости продуктивности посевов трав от суммы осадков, показателей увлажнения, дефицита влажности воздуха и средней температуры воздуха за различные периоды их вегетации. В расче-

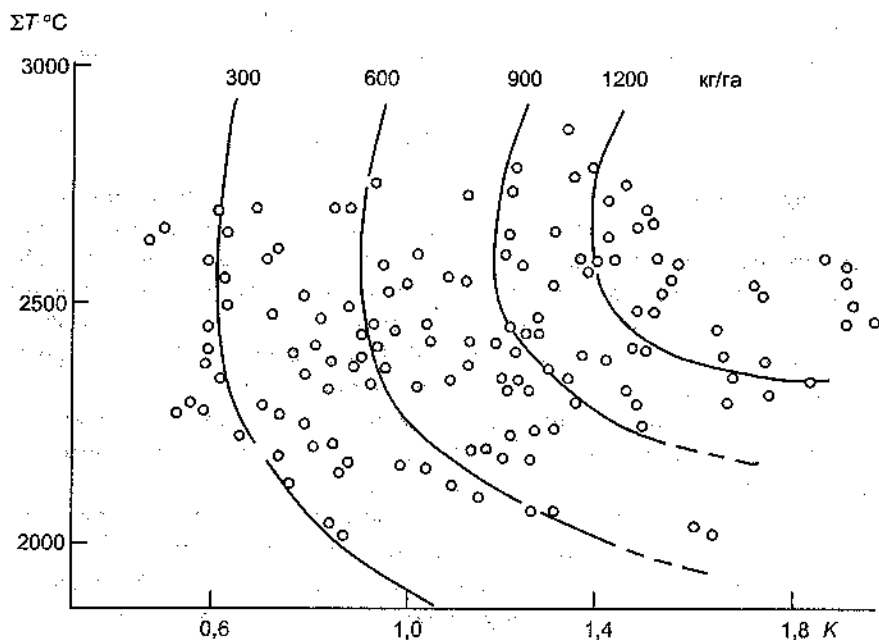


Рис. 6.5. Зависимость выхода масла из семян подсолнечника (кг/га) от суммы температур воздуха за вегетационный период и показателя увлажнения K (по Ю. С. Мельнику, 1972)

ты вводится и поправка на тенденцию роста урожайности (тренд). В качестве примера дается уравнение зависимости урожайности сена многолетних трав от агрометеорологических факторов по Вологодской области:

$$Y = 0,015 R_{VIII-X} + 0,82K_v + 0,08T + 12,06, \quad (6.23)$$

где Y — средняя областная урожайность сена многолетних сеяных трав, ц/га; R_{VIII-X} — сумма осадков за август—октябрь предшествующего года, мм; K_v — показатель увлажнения на конец мая текущего года; T — поправка на тренд в виде порядкового номера года, считая с 1958 г., номер которого принят за 1.

Показатель увлажнения K_v на конец мая рассчитывается по уравнению

$$K_v = 0,5R_{XI-III} + R_{IV-V}/0,5\sum d_{IV-V}, \quad (6.24)$$

где $0,5\sum d$ — полусумма средних суточных дефицитов влажности воздуха (мм) за апрель—май.

Урожайность естественных сенокосов (Y т/га) в значительной степени определяется запасами продуктивной влаги (W мм) в почве

в слое 0...100 см на конец мая (по Н. В. Гулиновой). Для областей центральной части России (Вологодская область) эта зависимость описывается уравнением

$$Y = 0,1(0,06W + 2,2). \quad (6.25)$$

В аридных регионах азиатских республик СНГ урожайность естественной пастбищной растительности зависит в основном от условий атмосферного увлажнения осенне-зимне-весеннего периода. Методы оценки и прогноза урожайности пастбищной растительности в этих регионах разработаны А. П. Федосеевым, И. Г. Грингофом, С. А. Бедаревым, Е. Н. Коробовой, Г. Г. Белобородовой, М. Нурбердиевым, З. И. Волосюк и другими исследователями.

Метод прогноза условий формирования урожайности пастбищной растительности, разработанный А. П. Федосеевым, основывается на ее зависимости от *глубины промачивания почвы (ГПП) весной*. Значение ГПП определяется на сети пустынных и полупустынных гидрометеорологических станций в конце первой весенней декады с температурой выше 10 °С в Казахстане, выше 5 °С — в Узбекистане и Калмыкии и во второй декаде марта с температурой выше 5 °С в Туркменистане. В засушливых регионах влажность промокивших к весне слоев почвы примерно равна ее наименьшей влагоемкости. Значение ГПП (см) хорошо коррелирует с максимальной урожайностью пастбищной растительности, формирование которой заканчивается с наступлением жаркой сухой погоды и иссушением корнеобитаемых горизонтов почвы.

В методе прогноза урожайности пастбищной растительности (Y ц/га) в пустыне Кызылкум, разработанном И. Г. Грингофом и О. Н. Рейзвих, используются данные наблюдений метеорологических станций: сумма осадков (ΣR мм) за декабрь—апрель и ΣT — сумма эффективных температур воздуха выше 5 °С (от даты возобновления вегетации весной до даты устойчивого перехода средней суточной температуры через 16 °С):

$$Y = 0,017\Sigma R_{XII-IV} + 0,0035\Sigma T_{5-16}. \quad (6.26)$$

В методе прогноза урожайности субальпийских лугов (Y ц/га) в горах Таджикистана (по И. Г. Грингофу и Л. М. Никитиной) в качестве предикторов используются сумма осадков за период вегетации (ΣR мм), сумма положительных температур за этот же период (ΣT °С) и влажность почвы (W %) в слое 0...50 см:

$$Y = 0,0794\Sigma R - 0,0132\Sigma T - 0,741W + 26,39. \quad (6.27)$$

В методе прогноза урожайности сена (Y) естественных горных сенокосов Армении (Р. С. Мкртчян, А. С. Акопян и др.) учитываются средняя по территории сумма осадков за апрель (ΣR мм) и средний по территории дефицит влажности воздуха за май (d гПа):

$$Y = 0,0113\Sigma R - 1,38d + 1,86. \quad (6.28)$$

Приведенные примеры не исчерпывают всего разнообразия методологических подходов к разработке количественных связей между параметрами роста, развития и формирования продуктивности пастбищной растительности, с одной стороны, и агрометеорологическими факторами — с другой.

6.7. Основные понятия о продукционном процессе растений

Условия среды обитания растений чрезвычайно разнообразны. Сущностью жизнедеятельности растений (и животных) являются единые процессы обмена веществ: *ассимиляции* и *диссимиляции*. *Ассимиляция* — это одна из сторон процесса обмена веществ, заключающаяся в усвоении и образовании в организме сложных биохимических веществ из простых веществ, поступающих из внешней среды в протоплазму клеток организма в период его жизнедеятельности. Ассимиляция обеспечивает рост, развитие и накопление запасов массы и энергии. *Диссимиляция* — другая сторона процесса обмена веществ. Она характеризуется расщеплением сложных органических веществ (углеводов, белков, жиров и др.), входящих в живые организмы, на более простые вещества: воду, углекислый газ, аммиак, которые выводятся из организма и становятся исходным материалом для последующих процессов ассимиляции. Единство процессов ассимиляции и диссимиляции обеспечивает непрерывное обновление органических веществ живых организмов в природе.

Основой существования растений является *продукционный процесс* — совокупность отдельных взаимосвязанных физиологических процессов: фотосинтеза, дыхания и роста, определяющих формирование органической массы — урожая. Продукционный процесс, его динамика и интенсивность регулируются условиями внешней среды и биологическими особенностями растений посредством газового, теплового и водного обмена в системе почва—растение—атмосфера.

Общие принципы построения количественной теории продукционного процесса сформулированы в исследованиях А. А. Ничипоровича, А. И. Будаговского, Ю. К. Росса, Х. Г. Тооминга и др.

Растения, поглощая листьями углекислый газ (CO_2) из атмосферы и корневой системой влагу и питательные вещества из почвы, создают в процессе фотосинтеза под воздействием солнечной энергии органические вещества (ассимиляты). Одновременно в процессе транспирации регулируются тепловой и водный режимы растений. Влага, поступающая из почвы через корневую систему, транспортирует в растение элементы минерального питания. В зависимости от фотосинтетически активной радиации (ФАР), водного и температурного режимов, скорости ветра, концентрации CO_2 в воздухе, уровня плодородия почвы и видовых (сортовых) особенностей растений процесс фотосинтеза может идти с большей или меньшей скоростью.

Такой фундаментальный процесс жизнедеятельности растений, как *дыхание, регулирует снабжение энергией различных биохимических преобразований, связанных с ростом, построением органов растений и с переносом питательных веществ.* При дыхании затрачивается органическое вещество, накопленное ранее в различных органах растений.

Рост растений — третья составляющая продукционного процесса, имеющая свои специфические особенности, — это процесс *необратимого увеличения размеров, связанный с новообразованием клеток, тканей, органов и всего растения в целом.* Рост растений складывается из процессов деления клеток, последующего их увеличения и дифференциации, обеспечивающей специализацию тканей и органов. Рост сопровождается увеличением размеров органов и всей фитомассы растений. Важным свойством роста является ритмичность, зависящая от продолжительности светлой части суток, температуры и влажности воздуха и почвы и других факторов.

Часть образованных в процессе фотосинтеза ассимилятов немедленно используется для построения и увеличения тканей растений, а некоторая часть откладывается в резерв, в так называемый *фонд ассимилятов.* Этот фонд расходуется, когда процессы фотосинтеза подавляются, сдерживаются неблагоприятными условиями внешней среды (слабая освещенность в дневные часы, снижение температуры воздуха, низкая влагообеспеченность растений), а также при росте растений в ночные часы. Роль фонда ассимилятов в формировании урожая сельскохозяйственных культур особенно возрастает в условиях экологического стресса (длительные периоды похолоданий, почвенная засуха, засухи и т. п.). В течение вегетационного периода часть фитомассы стареет естественным путем.

Развитие количественной теории продукционного процесса растений позволило приступить к созданию математических моделей формирования урожая сельскохозяйственных культур и природных фитоценозов. Построение моделей заключается в количествен-

ном описании продукционного процесса растений с помощью уравнений, формул, алгоритмов и других средств математики. Такие модели представляют собой компьютерные программы, позволяющие рассчитывать динамику фитомассы (и других параметров растений) агрофитоценоза в течение вегетационного периода.

При моделировании продукционного процесса одинаково ответственными являются все этапы построения модели: 1) *определение цели и объекта моделирования*, 2) *идентификация (приравнивание) структуры и параметров модели*, 3) *проверка адекватности (соответствия) модели*. При выборе структуры модели должны учитываться все основные составляющие продукционного процесса. Структура модели включает четыре основных блока: гидрометеорологический, почвенный, фотосинтетический и ростовой (рис. 6.6).

Фотосинтетический блок количественно описывает процессы фотосинтеза, дыхания и транспирации растений по выбранному временному шагу (час, сутки, декада). Развитие растений моделируется на основании понятия „*биологическое время*“, которое отражает способность живых организмов проявлять физиологические функции в определенные периоды времени в качестве ответной реакции на изменения факторов внешней среды; количества света, тепла, влаги и др. Такая способность живых организмов возникла в результате длительной эволюции их развития и приспособления к цикличности ряда геофизических процессов, происходящих в окружающей среде: смена дня и ночи, смена времен года. В агрометеорологических расчетах и прогнозах основным способом выражения биологического времени являются суммы активных или эффективных температур.

Ростовой блок (см. рис. 6.6) содержит расчеты динамики прироста отдельных органов и урожая растений. Динамические модели различаются полнотой и детализацией учета факторов и этапов продукционного процесса в каждом блоке модели.

Основным при построении модели является идентификация ее параметров. Под *идентификацией (приравниванием)* понимается процедура сравнения значений параметров модели с данными экспериментальных измерений (наблюдений). Выбор структуры модели и идентификация ее параметров — операции параллельные.

Важнейшими качествами модели являются ее соответствие реальному растению и условиям его произрастания, возможность проверки модели в эксперименте, ее логичность, степень изученности растительного объекта и надежность исходных данных.

Преимущество динамических и динамико-статистических моделей заключается в том, что в них формирование продуктивности растений рассматривается как процесс, изменяющийся во времени в зависимости от состояния посева, влияния факторов внешней среды и параметров самой модели. Такие модели позволяют

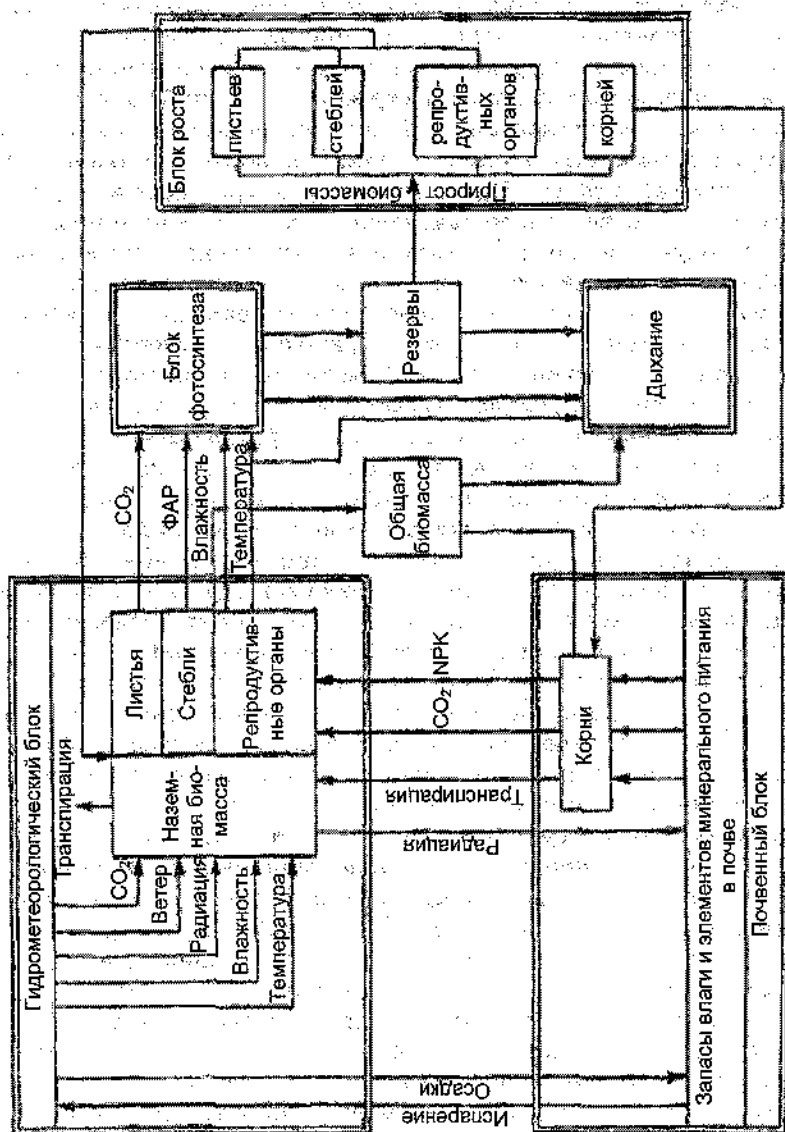


Рис. 6.6. Основные блоки структуры модели продукционного процесса растений

одновременно учитывать влияние комплекса факторов окружающей среды, использовать большое количество расчетной информации.

Наиболее ценным качеством моделей такого типа является их прикладная значимость. Теоретическая модель продукционного процесса растений является научной основой для современного земледелия; она позволяет диагностировать и прогнозировать их урожайность, рассчитывать нормы и сроки поливов, внесения минеральных удобрений и ядохимикатов для подавления популяций вредителей; оценивать влияние изменения климатических условий, осуществлять агроклиматическое районирование и т. д.

В области математического моделирования продукционного процесса растений первые исследования были выполнены японскими и американскими учеными. В СССР эти работы были начаты М. И. Будыко, Л. С. Гандиным, Ю. К. Россом, З. Н. Бихеле, Х. А. Молдау, Х. Г. Тоомингом, а прикладные динамические и динамико-статистические модели разработаны профессорами О. Д. Сиротенко, Е. П. Галаминым, А. Н. Полевым.

К настоящему времени в России и за рубежом созданы сотни динамико-статистических моделей формирования урожайности основных сельскохозяйственных культур, различающихся степенью детализации в описании отдельных составляющих продукционного процесса и процессов энерго- и массообмена в системе почва—растение—атмосфера.

В конце 1990-х годов во ВНИИСХМ получило развитие новое направление в области агрометеорологического прогнозирования (см. раздел 6.13).

6.8. Методы оценки состояния и прогноза перезимовки озимых зерновых и плодовых культур

В главе 3 описаны биологические особенности зимостойкости и морозостойкости растений и основные виды опасных гидрометеорологических явлений для зимующих сельскохозяйственных и плодовых культур. Состояние растений в период перезимовки зависит от их биологических особенностей, фазы развития в период прекращения вегетации осенью, степени закалки и агрометеорологических условий холодного периода года. Многочисленными исследованиями установлено, что решающим фактором перезимовки озимых зерновых культур и многолетних сеяных трав является температура почвы на глубине залегания узла кущения (3 см) или корневой шейки растений.

Методы прогнозов перезимовки (оценка состояния) озимых зерновых культур для территории России разработаны В. А. Моисейчик, для территории Украины В. М. Личикаки. Эти методы позволяют

рассчитывать степень изреженности посевов (в процентах от площади всего поля). В случае полной гибели посевов озимых или их сильного повреждения проводится пересев яровыми культурами или подсев. При сохранении посевов в удовлетворительном, но ослабленном состоянии целесообразна подкормка минеральными удобрениями. При хорошем состоянии посевов к началу весны возможна их частичная подкормка.

Ожидаемую изреженность посевов озимой пшеницы к началу весны в зависимости от минимальной температуры почвы на глубине 3 см (до 20 февраля) и степени развития растений осенью можно определить по табл. 6.4 или рассчитать по прогностическим уравнениям (6.29), (6.30).

Таблица 6.4

Зависимость изреженности озимой пшеницы (%) от минимальной температуры почвы на глубине узла кушения и фазы развития растений осенью (по В. А. Моисейчик, 1975)

Сорт	Фаза развития	Минимальная температура почвы, °C								
		-5	-10	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21
Безостая 1	Всходы —	0	12	30	40	50	100	100	100	100
	3-й лист									
Мироновская 808	Кушение	0	4	12	18	25	50	100	100	100
	3-й лист									
Мироновская 808	Всходы —	0	8	25	30	35	50	70	100	100
	3-й лист									
Мироновская 808	Кушение	0	4	8	10	15	30	50	75	100
	3-й лист									

Для озимой пшеницы сорта Мироновская 808 изреженность посевов к началу весны (U %) можно рассчитать по следующему уравнению (по В. А. Моисейчик):

$$\lg U = 2,660 \lg t_s - 0,129 \lg K - 1,733, \quad (6.29)$$

где t_s — минимальная температура почвы (°C) на глубине узла кушения растений (взятая с обратным знаком) до 20 февраля; K — средняя по полю кустистость озимой пшеницы осенью.

Уравнения для расчета изреженности различных сортов озимых зерновых на конкретных полях для разных зон возделывания этих культур приведены в „Руководстве по агрометеорологическим прогнозам“, т. 1 (1984).

Минимальная температура на глубине залегания узла кушения имеет решающее значение и при выпревании озимых зерновых культур. Чем выше минимальная температура почвы под мощным снежным покровом, тем больше изреженность посевов (U %):

$$U = 59,07 + 6,82t_s + 0,22t_s^2 - 5,14K + 0,40K^2. \quad (6.30)$$

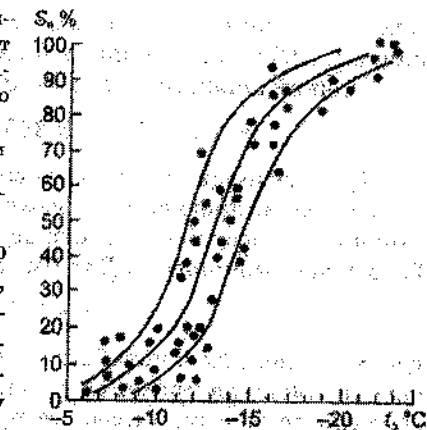
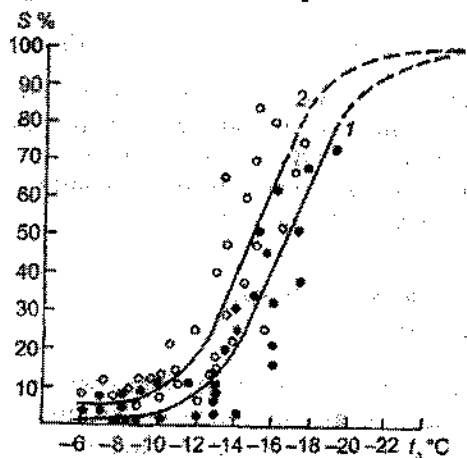
Обозначения см. в (6.29).

Рис. 6.7. Зависимость площади с погибшими посевами (S_s %) озимой пшеницы от средней по области минимальной температуры почвы на глубине узла кущения (t_s) до 20 февраля (по В. А. Моисейчик, 1975).

Кривые соответствуют разным сортам пшеницы и различному состоянию посевов осенью.

Расчеты по этому уравнению начинают проводить от декады, следующей за той, в которую на поле устанавливается снежный покров высотой 30 см и более при слабом промерзании почвы (на глубину 50 см и менее).

В. А. Моисейчик разработала также методы прогнозов состояния озимых зерновых культур весной по территории областей, краев и республик. Они позволяют прогнозировать размеры площадей с плохим состоянием посевов весной в зависимости от осредненных по области, краю, республике значений основных агрометеорологических параметров за прошедший период зимовки (к моменту составления прогноза) или по результатам отращивания растений в зимний период. В качестве примера на рис. 6.7 приводится зависимость площади с погибшими посевами озимой пшеницы (в процентах от общей посевной площади в области) от средней по области минимальной температуры почвы на глубине залегания узла кущения до 20 февраля. Кривые на рисунке соответствуют различным по зимостойкости сортам пшеницы. На рис. 6.8 приведена аналогичная зависимость для оценки и прогноза площадей с погибшими посевами многолетних трав.



Для районов, где гибель озимых обусловлена действием комплекса неблагоприятных факторов, В. А. Моисейчик разработала многофакторные уравнения применительно к различным почвенно-климатическим

Рис. 6.8. Зависимость площади с погибшими посевами трав (S_s %) от средней по области минимальной температуры почвы на глубине узла кущения (t_s) на полях с озимыми культурами до 20 февраля (по В. А. Моисейчик, 1975).

1 — для посевов первого года жизни; 2 — для посевов второго года жизни

зонам. Например, для черноземной зоны площадь посевов озимой пшеницы (S %), погибших к весне от сильных морозов (t_s) и притертой ледяной корки ($m_{\text{сред}}$ см), может быть рассчитана по уравнению

$$S = 1,017S_0 + 5,340m_{\text{сред}} - 1,060t_s - 3,689, \quad (6.31)$$

где S_0 — площадь посевов с плохим состоянием осенью, %.

Уточнить прогноз состояния озимых зерновых культур весной можно по результатам отращивания растений в вырубленных 23 февраля монолитах. Для озимой пшеницы уравнение имеет вид:

$$S = 1,74X + 7,29, \quad (6.32)$$

где S — площадь с погибшими посевами (в процентах от общей посевной площади озимых) по областям, краям, республикам; X — средний по области (краю, республике) процент изреженности озимой пшеницы при отращивании.

Прогнозы ожидаемых размеров площадей с погибшими посевами многолетних сеяных трав весной для центральных областей России составляются по аналогичным методикам, разработанным А. И. Страшной.

Метод оценки и прогноза перезимовки плодовых культур. В суровые продолжительные зимы, особенно в сочетании с неблагоприятными осенними условиями для предзимней закалики плодовых культур, отмечаются значительные повреждения древесно-кустарниковых растений (см. раздел 3.3). Т. А. Побетовой установлены *прогностические связи степени повреждения плодовых культур* (Y %) в зависимости от абсолютного минимума температуры воздуха за зиму ($T_{\text{мин}}$) и числа дней с температурой поверхности почвы (снега) ниже -20°C (n). Эти зависимости выражаются уравнениями:

$$Y = -0,98T_{\text{мин}} + 1,33; \quad (6.33)$$

$$Y = 1,03n + 2,07. \quad (6.34)$$

Все методы, связанные с оценкой и прогнозом состояния зимующих культур, имеют непреходящее значение для принятия своевременных плановых и оперативно-хозяйственных решений в случаях, когда складываются неблагоприятные зимние условия и создается опасность существенного недобора урожая.

6.9. Методы прогноза сроков и норм полива сельскохозяйственных культур

В условиях недостаточного увлажнения орошение способствует повышению продуктивности большинства сельскохозяйственных культур, а некоторые теплолюбивые культуры — хлопчатник, рис

и др. — выращиваются только при орошении. *Орошение* — это вид мелиорации, который заключается в искусственном пополнении запасов влаги в недостаточно увлажненной почве для создания в ней оптимального водного, воздушного и теплового режимов, необходимых для получения высоких урожаев независимо от атмосферных осадков.

Принято считать, что воздушный режим почвы оптимален, когда верхней границей увлажнения почвы является ее наименьшая влагоемкость, а нижней границей — 0,6...0,7 наименьшей влагоемкости. В соответствии с запросами потребителей агрометеорологами разработаны различные виды прогнозов применительно к орошаемому земледелию. На европейской части России составляются несколько видов прогнозов, в частности:

- прогноз влагозарядковых поливов озимых зерновых культур;
- прогноз оптимальных оросительных норм под яровую, озимую пшеницу и кукурузу на предстоящий период вегетации;
- прогноз оптимальных сроков и норм полива сельскохозяйственных культур во время вегетации.

Метод прогноза влагозарядковых поливов озимых зерновых культур. Целью влагозарядковых поливов является создание необходимых запасов влаги в почве ко времени сева зерновых культур и обеспечение хороших условий водоснабжения на протяжении как можно более длительного периода их роста. При „влагозарядках” почва должна быть промочена на глубину не менее 1 м. Норма влагозарядковых поливов N рассчитывается как разность между наименьшей влагоемкостью промачиваемого слоя $W_{нв}$ и запасами продуктивной влаги W_1 , имеющимися в этом слое перед началом полива:

$$N = (W_{нв} - W_1). \quad (6.35)$$

Данные о наименьшей влагоемкости берутся из справочников или определяются по фактическим материалам. При отсутствии таких данных можно условно принимать за значение наименьшей влагоемкости метрового слоя глинистых и суглинистых почв 170...180 мм; супесчаных и легкосуглинистых почв 150...160 мм. Прогноз влагозарядковых поливов составляется за 30...40 дней до полива на территории Поволжья и северной части Северного Кавказа, для более южных районов — в середине августа.

Для обеспечения хорошего качества сева озимых культур и проведения соответствующих полевых работ необходимо, чтобы между влагозарядковым поливом и началом сева прошло 5...10 дней, в течение которых верхние горизонты почвы подсыхают, почва лишается избытка воды (фильтрация, испарение) и оказывается пригодной для обработки.

Метод прогноза оптимальных оросительных норм. *Оросительная норма* — это количество воды, подаваемое при поливах на 1 га посева за вегетационный период. Измеряется в кубических метрах с гектара ($\text{м}^3/\text{га}$) или в миллиметрах водяного столба (мм вод. ст.). Оросительные нормы зависят от климатических и погодных условий, сорта и биологических особенностей сельскохозяйственной культуры, агрогидрологических свойств почвы и агротехники возделывания.

Прогноз оросительных норм (по методике Л. А. Разумовой и Н. Б. Мещаниновой) составляется ранней весной, после первого определения запасов влаги в почве. Такой прогноз необходим для планирования мероприятий, связанных с орошением посевов, для сопоставления имеющихся запасов оросительных вод (в реках, озерах, водохранилищах, прудах) с предполагаемой потребностью на предстоящий вегетационный период. Оросительные нормы (N) рассчитываются как разность между суммарными расходами влаги, обеспечивающими получение заданных урожаев (Q), и суммарными расходами влаги в естественных условиях увлажнения (Q_1):

$$N = Q - Q_1. \quad (6.36)$$

Суммарные расходы влаги в естественных условиях увлажнения (Q_1) определяются как количество влаги, используемое посевами из слоя почвы 0...10 см за период посев — массовое наступление восковой спелости ($W_1 - W_2$), плюс выпавшие за этот период осадки (R):

$$Q_1 = (W_1 - W_2) + R. \quad (6.37)$$

Основой таких прогнозов являются:

зависимость урожайности зерна (например, яровой пшеницы) от используемого в период вегетации количества воды, т. е. от суммарных расходов влаги;

запасы продуктивной влаги в почве, имеющиеся на полях текущей весной;

суммарные расходы влаги данной сельскохозяйственной культуры в естественных условиях увлажнения.

Например, для получения максимально высокой урожайности яровой пшеницы (3,5 т/га) на полях с тяжелыми почвами необходимо 420 мм влаги, или $4200 \text{ м}^3/\text{га}$. Прогноз оросительных норм составляется для максимальных и умеренных урожаев, что позволяет определить оросительные нормы в зависимости от имеющихся резервов влаги и агротехники возделывания. Например, запасы продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см ко времени сева яровой пшеницы составили 110 мм. Ко времени массового наступления фазы восковой спелости они в среднем обычно не превышают 5 мм.

Следовательно, за период вегетации эта культура израсходовала 105 мм (110 - 5). Ожидаемые осадки за период вегетации должны составить 85 мм (осадки первого месяца уточняются по прогнозу, а для последующих месяцев используются средние многолетние значения). Таким образом, суммарные расходы влаги равны 190 мм (105 + 85), или 1900 м³/га. Для получения высокой урожайности яровой пшеницы (3,5 т/га) оросительная норма будет 2300 м³/га (4200 - 1900), для получения умеренной урожайности (2,5 т/га) — 1300 м³/га (3200 - 1900). Подсчитав суммарные расходы влаги в текущем году, можно по уравнению связи (см. „Руководство по агрометеорологическим прогнозам“, 1984, т. 1, с. 266) рассчитать ожидаемую урожайность яровой пшеницы.

Метод прогноза оптимальных сроков и норм поливов основных зерновых культур. Урожайность орошаемых культур зависит не только от общего количества воды, использованной посевами за весь вегетационный период, но и от того количества, которое поступило на поле в отдельные, наиболее важные (критические) периоды жизни растений. В этой связи большое практическое значение имеют прогнозы сроков и норм полива, составляемые с учетом текущей погоды и складывающихся на орошаемом поле агрометеорологических условий.

Согласно исследованиям Л. А. Разумовой и Н. Б. Мещаниновой, при расчете оптимальных сроков полива основных зерновых культур в качестве нижнего предела, при котором необходимо дать полив, принято увлажнение почвы, равное 70 % наименьшей влагоемкости. *Поливная норма — это количество воды, подаваемое на 1 га орошаемой площади за один полив.* Эта норма зависит от биологических особенностей возделываемой культуры, фазы ее развития и глубины корнеобитаемого горизонта почвы, механических и водно-физических свойств почвы, способа полива; выражается поливная норма в кубических метрах с гектара (м³/га).

В процессе вегетации происходят изменения запасов влаги на орошаемых полях. Эти изменения необходимо знать для определения даты очередного полива. Изменения запасов влаги рассчитываются по уравнениям вида:

$$\Delta W = aW + bT + cR + z, \quad (6.38)$$

где ΔW — изменение запасов продуктивной влаги, мм/сут; W — исходные запасы влаги, мм; T — средняя суточная температура воздуха, °C; R — количество осадков, мм/сут; a, b, c, z — эмпирические коэффициенты.

Уравнения для расчета изменения запасов продуктивной влаги под различными сельскохозяйственными культурами в зависимости

сти от исходных влагозапасов, температуры воздуха, количества осадков на полях с почвами различного механического состава приведены в „Руководстве по агрометеорологическим прогнозам”, 1984, т. 1, с. 271...273.

6.10. Методы прогноза оптимальных доз внесения минеральных удобрений под зерновые культуры

Исследования М. С. Кулика, А. П. Федосеева, З. А. Шостак и других показали, что эффективность минеральных удобрений (особенно азотных), внесенных под зерновые культуры, значительно колеблется в зависимости от агрометеорологических условий. Известно, что минеральные удобрения, технология их внесения на больших посевных площадях требуют немалых материальных затрат. Поэтому внесение минеральных удобрений в почву целесообразно лишь при условии, что стоимость будущей прибавки урожая окажется выше материальных затрат на покупку удобрений, их доставку, внесение в почву, а также на обработку полученной дополнительной продукции. Специалисты определили, что на 10 кг действующего вещества азотных удобрений эффективная прибавка урожайности для нечерноземной зоны в среднем составляет 0,2 ц/га, а для черноземной — 0,3 ц/га.

Очевидно, что минеральные удобрения, внесенные в сухую почву, окажутся недоступными для посевов; при внесении удобрений в переувлажненную почву эффективность их окажется минимальной, так как значительная часть растворенных удобрений исчезнет без пользы для растений с поверхностным и внутрипочвенным стоком „излишней” влаги.

По количеству осадков, выпавших за осенне-зимний период, уже ранней весной в первом приближении можно определить, по методу А. П. Федосеева, поправки к оптимальным дозам азотных удобрений, вносимых под озимые и яровые культуры (рис. 6.9). За осенний период принят период с августа по декаду с устойчивым переходом температуры воздуха через 5 °С осенью; зимний период начинается со следующей декады после перехода температуры через 5 °С осенью до начала весны (декада с устойчивым переходом через 5 °С в сторону повышения). Как видно из рис. 6.9, с увеличением осенних и зимних осадков в нечерноземной зоне потребность растений в оптимальных дозах азота возрастает.

Приведем в качестве примера *метод прогноза летней азотной подкормки зерновых культур*, разработанный З. А. Шостак.

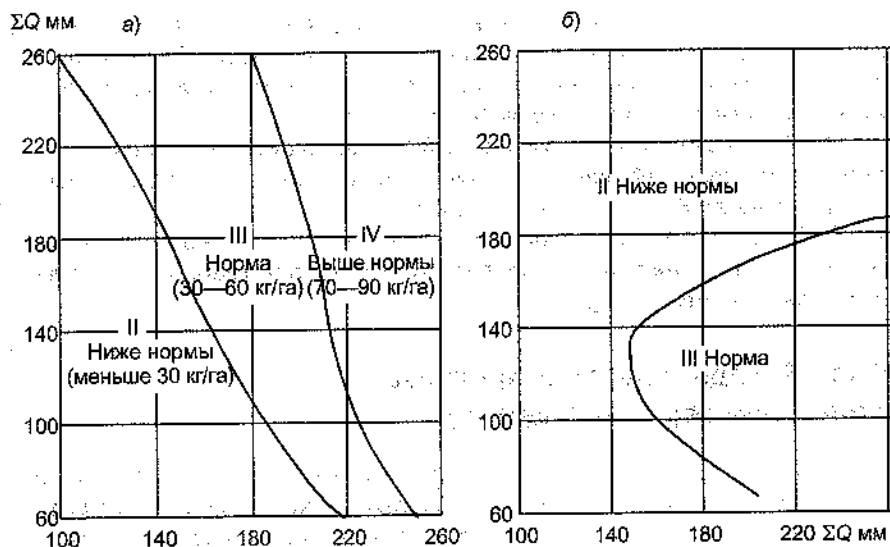


Рис. 6.9. Поправки к установленным нормам весенней азотной подкормки зерновых озимых культур в зависимости от количества осадков в осенне-зимний период в нечерноземной зоне России (по А. П. Федосееву, 1985).

а — по занятым парам и чепаровым предшественникам; б — по чистым парам, пласту бобовых трав и органическим удобрениям.

По оси абсцисс — количество осадков за период от перехода температуры воздуха через 5°C осенью до перехода температуры через 5°C весной; по оси ординат — количество осадков за период с августа до перехода температуры воздуха через 5°C осенью.

Летние азотные подкормки имеют большое значение для повышения содержания белка (протеина) в зерне хлебных злаков. Эффективность таких подкормок зависит от складывающихся агрометеорологических условий. В зону деятельности корневых систем растений азот может попасть только в растворенном виде, следовательно, эффективность подкормки будет зависеть от влажности верхних корнеобитаемых горизонтов почвы и продолжительности периода без дождей после внесения азотных удобрений в почву.

Зависимость прибавки протеина ($\Delta\Pi$) от влажности почвы при летней азотной подкормке зерновых культур описывается уравнением

$$\Delta\Pi = 0,058X - 5 \cdot 10^{-6}X^3 - 0,55, \quad (6.39)$$

где X — влажность почвы (в процентах наименьшей влагоемкости) в слое 0...20 см во время подкормки.

Эффективность такой подкормки обеспечена в оптимальных условиях увлажнения при числе колосonoсных стеблей более 360 на 1 м^2 . Для определения целесообразного срока подкормки следует исходить из следующих рекомендаций.

1. Летняя подкормка целесообразна при влажности почвы 50...80 % наименьшей влагоемкости (мягкопластичное состояние почвы); осадки, выпавшие после подкормки в количестве более 20 мм за сутки, снижают ее эффективность.

2. При влажности почвы 25...50 % наименьшей влагоемкости подкормка целесообразна в случае выпадения осадков 5 мм и более, прошедших до фазы цветения злаков.

3. При влажности почвы более 80 % (текучее состояние) или менее 25 % наименьшей влагоемкости (почва твердая, сыпучая) подкормка нецелесообразна.

6.11. Методы оценки и прогноза полегания зерновых культур

Явление полегания посевов рассмотрено в разделе 2.4. Как известно, его причиной являются сильные дожди с ветром и переувлажнение почвы в период, когда растения достигают своей максимальной высоты. Вероятность сильного полегания возрастает по мере загущения посевов (табл. 6.5).

Принята следующая шкала полегания зерновых: *отсутствие полегания*; *слабое полегание* (не более 30 % площади поля); *среднее полегание* (31...60 %); *сильное полегание* (более 60 % площади поля).

Таблица 6.5

Вероятность (%) полегания посевов при различной густоте стеблестоя в фазу выхода в трубку (по А. Д. Насечнюку, 1990)

Число стеблей на 1 м ²	Отсутствие полегания	Степень полегания		
		слабая	средняя	сильная
Озимая пшеница				
< 500	82	18	0	0
500...700	60	34	5	1
701...1000	50	22	14	14
1001...1300	45	24	14	17
> 1300	10	11	34	45
Ячмень				
< 700	57	43	0	0
700...900	29	40	19	12
901...1100	12	16	23	49
1101...1300	14	14	14	58
> 1300	14	0	0	86

Агрометеорологические условия оказывают влияние как непосредственно на полегание, так и на процесс формирования элементов устойчивости стебля (длина междоузлий, толщина стенки соломины, степень одревеснения стебля и т. п.). Наименьшей устойчивостью стеблестой отличается в годы с пониженными температурами и высокой влагообеспеченностью растений, когда формируются высокие растения с большим количеством стеблей на единице площади. В таких условиях обычно отмечается сильное полегание посевов, особенно при ветреной погоде.

Прогноз степени полегания посевов зерновых культур (по методу А. Д. Пасечнюка) составляется в вероятностной форме. При этом удобно пользоваться графиком (см. главу 2, рис. 2.18). Так, интенсивность полегания ячменя на полях с густотой от 700 до 1300 стеблей на 1 м² на суглинистых почвах прогнозируется по значениям запасов влаги в слое почвы 0...50 см, измеренным через декаду после наступления фазы выхода в трубку. Методика прогноза разработана для стандартных норм посева, когда густота всходов составляет 300...650 растений на 1 м².

6.12. Методы прогноза появления вредителей и болезней сельскохозяйственных растений

Сельскохозяйственные растения являются объектом питания разнообразных и многочисленных животных — от млекопитающих (грызуны) до насекомых, круглых червей (нематоды) и моллюсков. Все они являются неотъемлемой частью природных комплексов — экосистем, и только с позиции сельскохозяйственной деятельности человека считаются вредными.

Наиболее разнообразны и многочисленны *вредители*, относящиеся к типу членистоногих, среди них представители класса насекомых, паукообразных (растительноядные клещи), некоторые виды многоножек и ракообразных (мокрицы). Наибольший ущерб урожаю наносят *насекомые*, что объясняется прежде всего их биологическими особенностями: высокой плодовитостью и прожорливостью, быстротой размножения (например, колорадский жук, озимая и хлопковая совка, луговой мотылек, хлебная или вредная черепашка и многие другие), большим разнообразием видов.

Болезни растений проявляются в нарушении процессов фотосинтеза, дыхания и других функций, они вызывают поражение отдельных органов растений (корней, листьев, бутонов, соцветий, плодов) или преждевременную гибель растений. Болезни полезных для человека растений снижают урожай и ухудшают его качество. В разделе 4.10 приведены основные сведения о влиянии метеороло-

гических условий на распространение вредителей и болезней сельскохозяйственных культур в тех или иных агрофитоценозах.

В приложении 40 пятого издания Наставления гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 11, книга 2 (2000 г.) приведены основные болезни сельскохозяйственных культур и описание по внешним признакам характера повреждения растений, в приложении 41 дается краткое описание основных вредителей сельскохозяйственных культур и характера повреждения растений.

Защита полезных растений от вредных организмов — составная часть современной технологии сельскохозяйственного производства. Для рациональной организации профилактической защиты растений необходима заблаговременная информация о сроках появления вредителей и болезней и их ожидаемом распространении.

Большое практическое значение имеют агрометеорологические (а точнее, зоометеорологические) прогнозы ожидаемой численности вредителей сельскохозяйственных культур. В качестве примера рассмотрим метод прогноза появления и развития колорадского жука — опасного вредителя картофеля и других пасленовых культур. Этот метод был разработан В. В. Вольвачём (ВНИИСХМ) и широко внедрен в „картофельном поясе” России и Беларуси.

Для определения сроков начала выхода жуков из почвы весной служит дата устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 10 °С, которая устанавливается общепринятым способом — по сумме положительных и отрицательных отклонений (см. раздел 1.2). Для установления продолжительности периода созревания перезимовавших жуков (У дни) в период от выхода из почвы до начала яйцекладки используется уравнение

$$Y = 94,6 + 0,221T^2 - 8,738T + 4,15\Delta t, \quad (6.40)$$

где T — средняя температура воздуха за этот период; Δt — показатель выхода жуков из почвы в виде разности между максимальной продолжительностью дня (21 июня) на широте станции и продолжительностью дня на дату выхода жуков из почвы (t). Автором установлены также уравнения связи продолжительности последующих фаз развития вредителя с температурой воздуха. На их основании рассчитываются оптимальные сроки химической обработки картофельных плантаций с целью подавления популяций колорадского жука.

В нечерноземной зоне России, на юге Дальнего Востока одной из наиболее опасных болезней многих сельскохозяйственных культур (картофель, томаты, баклажаны и др.) считается *фитофтороз* (см. раздел 4.10). Для фитофтороза благоприятны те же агрометеорологические условия, что и для картофеля — влажная и умеренно теплая погода. В этих условиях на листьях растений появляются ка-

пельки влаги, наличие которой в течение 7...15 ч на протяжении 2 сут и более оказывается благоприятным для прорастания спор гриба — возбудителя болезни.

В методе прогноза вероятности появления фитофтороза (Φ %) на томатах, разработанном В. П. Краснянской, в качестве предикторов используются: R_1 и R_2 — суммы осадков за июль и август соответственно; T_1 и T_2 — средняя месячная температура за эти же месяцы соответственно:

$$\Phi = 0,16R_1 + 0,15R_2 - 9,68T_1 - 14,30T_2 + 439,52. \quad (6.41)$$

Развитие болезни на томатах по прогнозу характеризуется пределами интенсивности поражения: депрессия (до 20 %), умеренное развитие (20...50 %) и эпифитотий (свыше 50 %).

Ряд методов агрометеорологических прогнозов развития и распространения вредителей и болезней сельскохозяйственных культур разработан во Всероссийском институте защиты растений.

Все методы агрометеорологических оценок и прогнозов, прошедшие независимые производственные испытания, показавшие высокую оправдываемость и утвержденные Центральной методической комиссией по прогнозам Росгидромета или решениями Технических советов УГМС, считаются официальными нормативными документами (РД) и подлежат использованию в оперативно-производственной работе подразделений Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

6.13. Новые технологии в развитии агрометеорологических прогнозов

В конце 1990-х годов во ВНИИСХМ были начаты работы по созданию нового поколения методик прогноза урожайности зерновых и технических культур, использующих в качестве предикторов только два основных параметра — температуру воздуха и количество осадков (В. П. Зинченко, Т. И. Русакова, Т. А. Гончарова, М. А. Королев и др.). Этот подход был вынужденным — после распада СССР произошло значительное сокращение не только сети станций, но и объемов собираемой на них агрометеорологической информации. В частности, значительно сократилась информация по влажности почвы (запасам продуктивной влаги) — одному из важнейших предикторов, используемых в большинстве прогностических уравнений предшествующего поколения.

Новые методы были созданы на основе усовершенствованной динамико-статистической модели „погода—почва—урожай” и синоптико-статистического подхода к прогнозированию параметров роста и урожайности сельскохозяйственных культур:

Разработка новых методов агрометеорологических прогнозов неотделима от создания машинной (ПЭВМ) технологии составления прогнозов, поскольку использование современных средств вычислительной техники является определяющим моментом при оперативном обеспечении агрометеорологической информацией. Агрометеорологи ВНИИСХМ создали уникальную информационно-прогностическую систему (ИПС) агрометеорологического обслуживания двух типов. Первый тип системы предназначен для оперативной работы в региональных (территориальных) УГМС, второй — для работы в центральных оперативных органах Росгидромета — Гидрометеорологическом центре России (Москва) и ВНИИСХМ (Обнинск).

Информационно-прогностическая система для УГМС ориентирована на получение большого количества прогностических оценок, связанных с оперативной работой территориальных управлений. Так, автоматизация работ по проведению всех расчетов для прогнозов, получение справочных материалов, доступ к банкам оперативной и режимной информации направлены на улучшение работы агрометеорологов-прогнозистов, повышение производительности их труда.

В автоматизированном режиме ИПС обеспечивает раскодировку, контроль текстовых телеграмм, поступающих по коду КН-21, и занесение в информационную базу системы данных наблюдений. Эти операции не входят в контур ИПС и выполняются с помощью аппаратуры и специального программного обеспечения в центре обработки данных. Вся раскодированная информация, поступающая в автоматизированном режиме за день (декаду), выводится на экран компьютера и входит в базу данных системы. На их основе осуществляются составление различных таблиц декадного и месячного бюллетеней, годового агрометеорологического обзора; составление прогнозов агрометеорологических условий и прогнозов урожайности зерновых и технических культур; расчет оценки оправданности прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур. Система открыта для замены устаревших методик прогнозов новыми, разработанными на основе динамико-статистических моделей (рис. 6.10).

В течение 2000—2003 гг. ИПС была успешно внедрена в Уральском, Верхне-Волжском и Башкирском УГМС и в Гидрометеорологическом центре России.

Таким образом, исследования ученых ВНИИСХМ являются практическим воплощением идеи *автоматизированного рабочего места (АРМ) „Агрометеоролог“*. АРМ „Агрометеоролог“ — это многофункциональный программно-аппаратный комплекс, являющийся вспомогательным инструментом для получения и выдачи потребителям агрометеорологической информации, необхо-

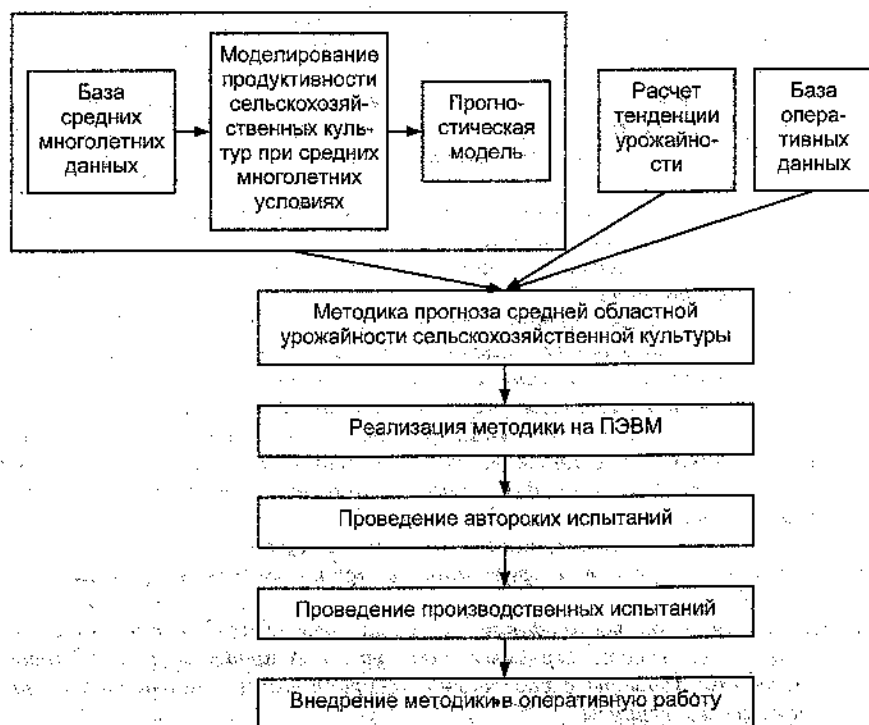


Рис. 6.10. Схема разработки методики современного агрометеорологического прогноза для принятия решений на различных уровнях хозяйствования. Комплекс решает следующие задачи: сбор, прием и первичную обработку входных данных и контроль их качества; создание, ведение и пополнение информационных баз и банков данных, которые обеспечивают реализацию различных функций АРМ; специальные расчеты с целью получения конечной информации, необходимой потребителю для принятия решений; организация обмена данными между пользователями различного уровня.

Выполненные исследования по созданию ИПС явились важным шагом к созданию автоматизированной системы оперативного мониторинга посевов сельскохозяйственных культур на территории России. Работы в этом направлении продолжаются.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Дайте определение термина «агрометеорологический прогноз».
2. Что является научной основой для разработки методов агрометеорологических прогнозов?

3. Как вы понимаете термин „инерционные факторы“?
4. На какие группы условно подразделяются агрометеорологические прогнозы?
5. Расскажите о методике составления долгосрочного прогноза теплообеспеченности вегетационного периода. Определите ожидаемую теплообеспеченность вегетационного периода для конкретного пункта в текущем году.
6. На чем основан метод прогноза запасов продуктивной влаги в почве к началу сева яровых культур?
7. Что означают термины „физическая спелость почвы“ и „биологическая спелость почвы“?
8. На чем основаны методы фенологических прогнозов? Приведите примеры для различных культур: зерновых, овощных, плодовых.
9. Дайте определение и напишите формулу, по которой рассчитываются скорость развития растений и значения суммы температур, необходимые для наступления фаз развития растений. Составьте прогноз начала цветения плодовых деревьев и колошения зерновых культур. Используйте для этого фактические данные наблюдений ближайшей метеорологической станции.
10. Дайте определения терминов „урожай“ и „урожайность“. Какие виды прогноза урожая и урожайности используются в практической работе?
11. Назовите основные предикторы, используемые при составлении прогнозов урожайности зерновых культур по методам разных авторов. Приведите примеры с расчетами по уравнениям для озимой, яровой пшеницы и кукурузы.
12. Расскажите о методах агрометеорологических прогнозов качества урожая.
13. Какие исходные данные необходимы для агрометеорологических прогнозов урожайности бобовых трав и естественной пастбищной растительности?
14. Объясните понятие „продукционный процесс растений“. Назовите его основные блоки.
15. Как составляются прогнозы перезимовки озимых культур?
16. Какие исходные данные необходимы для составления прогноза сроков и норм полива?
17. Расскажите об оросительной норме и поливной норме.
18. Как составляется оценка и прогноз полегания зерновых культур?
19. Расскажите, что представляет собой АРМ „Агрометеоролог“.

**СИСТЕМА АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ АГРАРНОГО СЕКТОРА СТРАНЫ**

Развитие агропромышленного комплекса страны базируется на научно обоснованном учете и рациональном использовании агроклиматических ресурсов, технико-экономических и организационно-хозяйственных факторов. В сельскохозяйственном производстве целесообразная стратегия и направленность хозяйственной деятельности существенно зависят от степени учета агрометеорологических условий, складывающихся в конкретный год.

Специализация сельскохозяйственного производства с учетом агроклиматических ресурсов территории каждого района, оперативное маневрирование агротехническими приемами в соответствии со сложившимися и ожидаемыми агрометеорологическими условиями обеспечивают повышение продуктивности и устойчивости земледелия и животноводческих отраслей. Для этого сельскохозяйственные органы должны располагать обобщенными ежедневными и декадными сведениями о текущей и ожидаемой погоде, о ее влиянии на посевы сельскохозяйственных культур и состояние животных.

Организация системы оперативного агрометеорологического обеспечения сельскохозяйственного производства в России началась с создания Службы урожая — метеорологической части Народного комиссариата земледелия (Наркомзема) РСФСР (1921 г.). Под влиянием запросов растущего сельскохозяйственного производства вся система агрометеорологического обеспечения потребителей оперативной и режимной информацией неоднократно корректировалась и перестраивалась.

Как известно, использование разнообразной гидрометеорологической информации в сельском хозяйстве происходит на трех уровнях: 1) при обосновании и выборе проектных решений; 2) в процессе выработки плановых решений; 3) при принятии оперативно-хозяйственных решений.

При выборе проектных решений обосновывается рациональное размещение и специализация сельского хозяйства, районирование культур и сортов сельскохозяйственных растений и пород животных, проектирование и строительство крупных гидромелиоративных систем и т. п. Для этих целей используется климатическая, гидрологическая и агроклиматическая информация по конкретным территориям.

При выборе *плановых решений* специалисты сельского хозяйства намечают контрольные цифры размеров будущего урожая, определяют потребности в удобрениях и ядохимикатах, объемы поливной воды, составляют сезонные графики полевых работ и т. д. В первую очередь для этого используется текущая агрометеорологическая и гидрологическая информация, в том числе разнообразные гидрометеорологические прогнозы различной заблаговременности; анализируются сложившиеся агрометеорологические условия применительно к конкретным территориям и культурам.

При принятии *оперативно-хозяйственных решений* вырабатываются действия непосредственного управления технологическими процессами в период вегетации растений и мероприятиями, осуществляемыми на животноводческих фермах и выпасах. Для этого используется оперативная информация о фактическом состоянии среды — приземного слоя атмосферы, почвы, а также посевов и сельскохозяйственных животных; анализируются ожидаемые условия погоды по краткосрочным и среднесрочным прогнозам.

7.1. Организация, структура и основные задачи агрометеорологического обеспечения сельскохозяйственного производства

Впервые в истории отечественной гидрометеорологии 19 июля 1998 г. Государственной Думой Российской Федерации был принят закон „О гидрометеорологической службе“, которым установлены правовые основы деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях. Законом определен специально уполномоченный федеральный орган исполнительной власти: Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Ее структурными органами являются: УГМС — межрегиональные территориальные управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, имеющие свои учреждения, например, ЦГМС — центры по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, ГМО — территориальные гидрометеорологические обсерватории, а также сетевые наблюдательные организации (СНО).

Росгидромет имеет несколько многопрофильных, территориальных и головных, специализированных по отдельным направлениям гидрометеорологии научно-исследовательских институтов. Ведение Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей среды, ее загрязнении закреплено за Росгидрометом.

Законом установлено, что гидрометеорологическая информация общего назначения, например ежедневные прогнозы погоды, передаваемые по радио и телевидению, предоставляется потребителю бесплатно. Специализированная информация, создаваемая по заказам потребителей, оплачивается потребителями на договорной основе.

Главным институтом в области сельскохозяйственной метеорологии, с момента его создания в 1977 г., является ВНИИСХМ — Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии.

В целях обеспечения более эффективной деятельности сельскохозяйственных предприятий Министерством сельского хозяйства и продовольствия (Минсельхозпрод) и Росгидрометом заключено „Соглашение по вопросам предоставления гидрометеорологической информации и информации о загрязнении окружающей природной среды”.

В области агрометеорологии Росгидромет в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации предоставляет соответствующим органам государственного управления бесплатно следующую информационную продукцию:

прогноз состояния озимых зерновых к началу весны; прогноз запасов продуктивной влаги в почве к началу весенних работ;

прогнозы урожайности и валового сбора основных сельскохозяйственных культур;

информацию о состоянии озимых зерновых культур осенью после прекращения вегетации.

Все прочие виды агрометеорологической информации считаются специализированными и предоставляются учреждениями Росгидромета на договорной основе за плату, обеспечивающую покрытие затрат на создание и передачу такой информации.

Один раз в 5 лет Росгидромет утверждает план выпуска основных агрометеорологических прогнозов и докладов, подготавливаемых УГМС, Гидрометцентром России, ВНИИСХМ и некоторыми ЦГМС. Такие прогнозы предоставляются Росгидрометом по ежегодно уточняемому списку.

В системе Росгидромета организация гидрометеорологического обеспечения отраслей экономики, и в частности аграрного сектора, возложена на Управление работ федерального назначения в области гидрометеорологии, государственной наблюдательной сети, Арктики и Антарктики (УРСА).

Основной задачей агрометеорологического обслуживания является: обеспечение потребителей информацией и прогнозами об

опасных гидрометеорологических явлениях, об условиях перезимовки, сева, о формировании урожая (ожидаемые урожайность и валовой сбор основных сельскохозяйственных культур) и его уборке; а также данными об агроклиматических ресурсах территории и их использовании в сельскохозяйственном производстве.

7.2. Основные виды и формы агрометеорологической информации

Оперативные подразделения Росгидромета совместно с ГМЦ России и ВНИИСХМ регулярно обеспечивают подразделения аграрного сектора страны метеорологической, агрометеорологической и гидрологической информацией, основными видами которой являются следующие:

- 1) метеорологические прогнозы различной заблаговременности: на месяц, на 5...7 сут, на 3 сут, на 1 сут;
- 2) гидрологические прогнозы (прогнозы объемов стока рек за вегетационный период, водного режима рек и водохранилищ, периодов паводков и межени и т. п.);
- 3) агрометеорологические прогнозы различных видов и заблаговременности (см. главу 6);
- 4) предупреждения об опасных для сельскохозяйственного производства гидрометеорологических явлениях теплого и холодного периодов года (см. главы 2, 3);
- 5) информация о текущих агрометеорологических условиях и их влиянии на перезимовку, рост, развитие и формирование продуктивности сельскохозяйственных культур и пастбищной растительности, на проведение полевых работ и состояние выпасаемого поголовья скота на пастбищах;
- 6) рекомендаций по дифференцированному применению агротехнических мероприятий в зависимости от сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий;
- 7) режимная (агроклиматическая) информация различных видов.

Агрометеорологическая информация о погодных условиях и их влиянии на рост, развитие и формирование урожая сельскохозяйственных культур, на проведение полевых работ, на выпас скота на пастбищах представляется в форме ежедневных сводок, пятидневных, недельных и декадных обзоров (бюллетеней), а также в форме специализированных справок. В качестве примера в приложении 7.1 приводится агрометеорологический бюллетень (Московская область) за 2-ю декаду июля 2002 г.

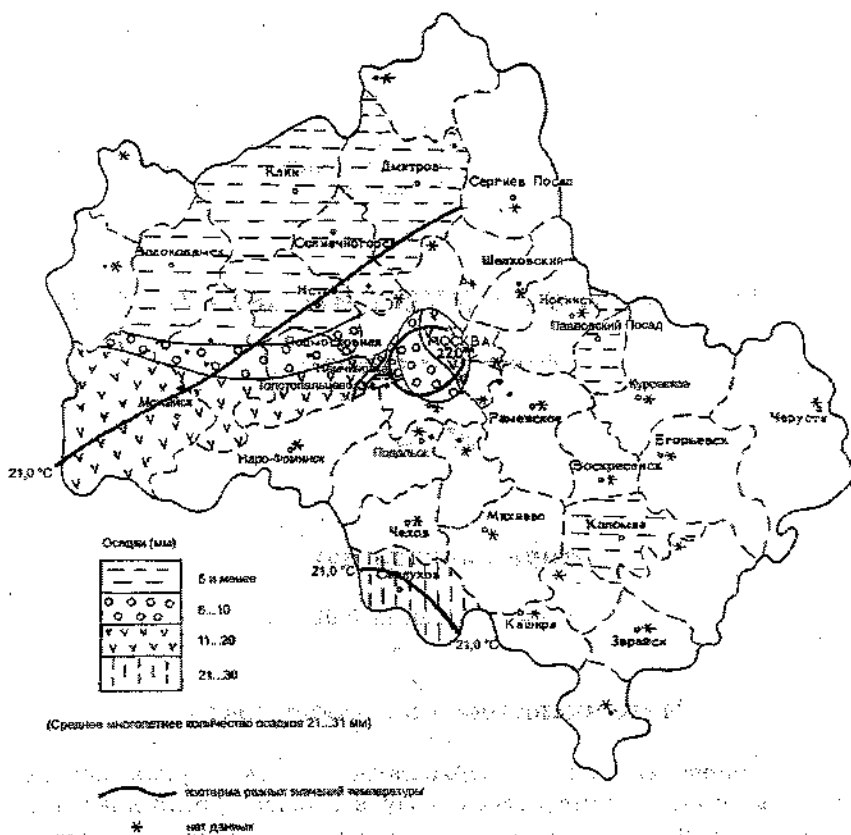
АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ БЮЛЛЕТЕНЬ*(Московская область)***№ 14****Вторая декада июля**

Составлен 23 июля 2002 г.

Метеорологические особенности

В прошедшей декаде удерживалась очень жаркая погода. Средняя суточная температура воздуха в течение 6...8 дней превышала 20 °С и в самый жаркий день 13 июля (местами и 14 июля) достигала 25...26 °С (положительная аномалия составила 2...7 °С). Относительно прохладнее было 16, 17 и 18 июля: средняя суточная температура воздуха варьировала от 17 до 20 °С, что близко к средним многолетним значениям. Максимальная температура воздуха в течение 2...4 дней декады была 30...32 °С, в остальные дни 23...29 °С. Минимальная температура воздуха в две холодные ночи 18 и 19 июля находилась в пределах 9...11 °С, а минимальная температура на поверхности почвы была на 1...2 °С ниже. Минимальная температура на высоте 2 см над поверхностью почвы в последние три дня составляла от 4 до 9 °С.

В среднем за декаду температура воздуха составила 20...22 °С, что на 3...5 °С выше средней многолетней. Повторяемость температуры воздуха за вторую декаду июля 22 °С и выше в Москве составляет 1 раз в 9...10 лет. В прошлом году в соответствующую декаду средняя температура воздуха составляла 22,9...24,3 °С.



Средняя температура воздуха и сумма осадков за вторую декаду июля 2002 г.

Суммы эффективных температур выше 5 и 10 °C за декаду и нарастающим итогом от устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через указанные пределы по 20 июля значительно превышают средние многолетние значения (на 150...300 °C).

Средняя за сутки температура почвы на глубине 10 см варьировала как по дням, так и по территории области от 21 до 27 °C (4...5 дней декады она была 25 °C и выше). В среднем за декаду температура почвы на указанной глубине составила 22...24 °C, местами 25 °C (на 1...2 °C выше, чем в предыдущей декаде, а в отдельных районах области она оставалась прежней).

Осадки преимущественно ливневого характера, местами сопровождавшиеся усилением ветра до 16 м/с, отмечались

1...3 дня (на большей части территории 11, 12 и 16 июля). Их распределение по территории области было неравномерным (дожди различной интенсивности выпадали в основном локально). Наиболее сильные ливневые дожди (за сутки 11...20 мм, или 35...80% декадной нормы) отмечались в Можайском, Рузском, Серпуховском районах и местами в Одинцовском районе и в г. Москве. В указанных районах сумма осадков за декаду составила 11...27 мм, или 35...100 % декадной нормы, но на значительной части территории области сумма осадков за декаду не превышала 5 мм (не более 20 % нормы).

Средняя за декаду относительная влажность воздуха оказалась близкой к средней многолетней (65...70 %). Минимальная за сутки относительная влажность воздуха в течение 1...2 дней, местами 3...4 дней была 30 % и менее.

Продолжительность солнечного сияния за декаду в центральных районах области составила 115...120 ч (норма 85 ч).

В течение 7...9 дней, в отдельных районах 5...6 дней отмечалась роса, из них с сильной росой было 2...6 дней, местами 7...8 дней. Количество часов с росой (от выпадения до исчезновения) в сумме за декаду варьировало по районам от 30 до 104.

Влияние агрометеорологических условий на сельскохозяйственные культуры и работы

Озимые рожь, пшеница повсеместно по области 14...18 июля достигли фазы восковой спелости. Продолжительность периода от фазы молочной до фазы восковой спелости составила 14...20 дней. В южной половине области, где фаза восковой спелости была отмечена в предыдущей декаде, озимые зерновые культуры на две недели раньше средних многолетних сроков достигли полной спелости зерна (период просыхания зерна составил 5.8 дней). Началась уборка. Влажность убираемого зерна в основном 16...20% (ниже обычной для этой зоны), но на отдельных полях в районах, где прошли сильные дожди, она повышенная (30 %). Масса 1000 зерен (при фактической влажности) составляет от 35 до 55 г (норма 35...45 г). На наблюдаемых полях в Можайском и Одинцовском районах насчитывается в среднем 11...20 % щуплых зерен (из числа 1000 зерен).

Ранние яровые зерновые культуры на полях апрельских сроков сева, а в южной половине области и на майских посевах (до 15 мая) 18...20 июля достигли фазы восковой спелости. Продолжительность периода от фазы молочной до фазы восковой

спелости здесь составила 12...18 дней. Высота растений на эту фазу варьирует по полям от 40 до 70 см. На полях других сроков сева у яровых культур заканчивался налив зерна. Из-за жаркой погоды и недостаточной влагообеспеченности растений условия для окончания налива были плохими (здесь возможна повышенная щуплость зерна). Визуальные оценки состояния посевов преобладают хорошие. На отдельных полях наблюдается засоренность посевов (2...3 балла), что будет осложнять уборку яровых зерновых культур.

У гороха, посеянного в середине апреля, 14...16 июля отмечено созревание зерна. В конце декады приступили к уборке урожая.

Травы. На полях, где первый укос трав проводили во второй пятидневке июня, сформировался урожай трав второго укоса: клевер 14 июля зашел при высоте 30...35 см. Сырая масса трав с 1 м² составила 1,6...1,8 кг, а рассчитанный выход сухой массы составляет одну десятую часть сырой массы. На полях трав, скошенных первым укосом в более поздние июньские сроки, продолжается отрастание отавы. Условия для отрастания растений из-за жаркой погоды и плохой влагообеспеченности растений были плохими, поэтому линейный прирост за декаду не превышал 5 см. Высота трав здесь в конце декады была 8...10 см. Визуальные оценки состояния посевов трав варьируют от хороших до плохих. На семенных участках наблюдается созревание семян клевера и злаковых видов трав, а также вики яровой.

Картофель. На большинстве майских посадок (до 10 мая) у картофеля 18...20 июля закончилось цветение (через 2...3 недели после начала цветения). Высота ботвы картофеля за декаду почти не увеличилась и в конце декады составила (в зависимости от уровня агротехники) 35...55 см. Условия формирования и роста клубней из-за очень высокой (на 5...7 °C выше оптимальной) температуры почвы на глубине 10 см были неблагоприятными. В отдельные дни декады средняя за сутки температура почвы на указанной глубине достигала 27 °C (в дневные часы она была на 4...5 °C выше). При такой высокой температуре почвы и плохой влагообеспеченности могут начаться процессы „израстания“ картофеля.

По данным наблюдений на плантациях картофеля в Чеховском и Наро-Фоминском районах (посадки третьей декады апреля — первой пятидневки мая), в среднем под кустом насчитывается 9...12 клубней общей массой 250...300 г (вдвое больше средней многолетней массы на 20 июля), из них от 10 до 30 % достигли нормального размера (60 г). На посадках более поздних сроков (до 15 мая) у картофеля в среднем под кустом насчитыва-

ется 5...7 клубней, но все они не достигли нормального размера (клубни очень мелкие).

Для обеспечения хорошего роста клубней плантациям требовался полив (температура почвы после интенсивного полива или дождя понижается на 3...4 °C) и дополнительный уход за растениями. На отдельных плантациях наблюдается повреждение ботвы картофеля колорадским жуком на значительной площади полей (здесь возможно прекращение роста клубней). В некоторых районах отмечалась потеря тургора ботвы картофеля в дневные часы, а местами началось преждевременное пожелтение листьев. Сохранение в дальнейшем жаркой погоды при дефиците осадков может привести к значительной потере урожая картофеля (на богаре), особенно на посадках поздних (после 5 мая) сроков.

Кормовые корнеплоды и капуста. У свеклы и моркови почти повсеместно по области отмечено закрытие междурядий ботвой, но рост корня из-за повышенной температуры воздуха и почвы был слабым (интенсивность накопления массы корня зависела от уровня агротехники). У капусты раннеспелых сортов отмечена техническая спелость. У средне- и позднеспелых сортов капусты продолжалось завивание кочанов и их рост, но условия формирования урожая были неудовлетворительными вследствие жаркой погоды и низкой влажности воздуха. Увеличилась поврежденность капусты сельскохозяйственными вредителями: на плантациях вредят гусеницы там, где не проводили обработку против них, идет яйцекладка и отрождение гусениц 3-го поколения; вредят слизни. Плантациям корнеплодов и капусты для обеспечения формирования хорошего урожая требовался дополнительный уход и подпитывающий полив.

Погодные условия в дни, связанные с уборкой урожая зерновых культур, проведением укосов трав и кормовых смесей, были благоприятными. Работы, связанные с уходом за посевами и проведением вспашки почвы, можно было проводить все дни декады, но качество обработки почвы было плохим (десятисантиметровый слой почвы большинство дней находился в твердопластичном и сыпучем состоянии).

Директор Гидрометцентра России

В агрометеорологических бюллетенях обобщается агрометеорологическая информация за текущий, важный в производственном отношении период (например, сев зерновых, проведение поливов, уборка урожая и т. п.) или за период с неблагоприятными (опасными) условиями: засуха, заморозки, переувлажнение почвы и др.

Агрометеорологические обзоры о состоянии сельскохозяйственных культур составляются обычно за определенный промежуток времени, например за вегетационный период, за период перезимовки озимых и плодовых культур, а также за весь сельскохозяйственный год. Обзоры сопровождаются схемами распределения по территории осадков, температуры воздуха, запасов почвенной влаги, их аномалий и т. п.

Кроме этого, широко распространены такие формы предоставления агрометеорологической информации, как агрометеорологические справки, рекомендации, устные консультации, а также выступления агрометеорологов по радио, телевидению, публикации агрометеорологических обзоров, заметок фенолога и т. п.

Основной перечень такой информации приведен в табл. 7.1. Эта разнообразная, многоплановая гидрометеорологическая и агрометеорологическая информация широко используется в той или иной форме при решении различных задач в процессе сельскохозяйственного производства. Оперативное получение и грамотное использование гидрометеорологической и агрометеорологической информации работниками аграрной сферы способствует выращиванию высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур и снижению потерь при неблагоприятных условиях, особенно в критические периоды жизни растений и выращивания сельскохозяйственных животных.

Таблица 7.1

Перечень основных информационных услуг общего назначения в области агрометеорологии

Вид информации	Содержание информации
1. Оперативно-прогностическая информация	
Информация о стихийных гидрометеорологических явлениях	Фактические данные о стихийных гидрометеорологических явлениях
Прогнозы на 1...3 сут о возникновении стихийных гидрометеорологических явлений	Данные о ливнях, сильном ветре, наводнениях, тайфунах, снегопадах, засухах, пыльных бурях, граде, аномально низких или высоких температурах воздуха

Окончание табл. 7.1

Вид информации	Содержание информации
Прогноз погоды по территориям субъектов Российской Федерации на 1...3 сут	Температура воздуха ночью и днем, явления погоды (атмосферные осадки, метели, туманы, заморозки, грозы, град, направление и скорость ветра)
Прогноз ожидаемого состояния озимых зерновых культур к началу вегетации	Площади с различным состоянием озимых зерновых культур к началу вегетации по экономическим районам и в целом по Российской Федерации
Прогноз запасов продуктивной влаги в почве к началу весенних полевых работ	Районы с достаточными и недостаточными запасами продуктивной влаги в метровом слое почвы под озимыми культурами и под зябью
Прогнозы урожайности и валового сбора основных сельскохозяйственных культур	Урожайность и валовые сборы зерна озимой пшеницы и ржи, яровых пшеницы и ячменя, гречихи, всех зерновых и зернобобовых культур в целом, семян подсолнечника, корней сахарной свеклы, клубней картофеля по областям и экономическим районам Российской Федерации
2. Аналитическая и режимно-справочная информация	
Обзор агрометеорологических условий за декаду по территории Российской Федерации (с приложением карт количества осадков за декаду и месяц)	Характеристика погодных условий, оценка влияния агрометеорологических условий на перезимовку, проведение полевых работ, рост, развитие и формирование урожая основных сельскохозяйственных культур
Метеорологический ежегодник	Осредненные по месяцам основные метеорологические характеристики (температура воздуха, атмосферное давление, ветер, осадки и др.)
Агрометеорологический ежегодник	Обобщенные за год данные агрометеорологических наблюдений
Ежемесячная информация о стихийных явлениях погоды, гидрометеорологических условиях и их влиянии на деятельность основных отраслей экономики страны, в том числе ее аграрного сектора	Данные о количестве, интенсивности и продолжительности стихийных гидрометеорологических явлений и экономическом ущербе по территориям

Рекомендации по дифференцированному применению агротехники, внесению удобрений с учетом сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий предоставляются сельскохозяйственным организациям, как правило, в виде специализированных

справок. Особую значимость для сельскохозяйственного производства имеет один из важнейших видов агрометеорологического обеспечения — агрометеорологические прогнозы, содержащие количественные характеристики ожидаемых величин.

Как известно, агрометеорологические прогнозы отличаются от прогнозов погоды по методам их составления и по оправдываемости. Оправдываемость агрометеорологических прогнозов в среднем значительно выше синоптических, она составляет 80...95 %. Подробно научные основы разработки агрометеорологических прогнозов и особенности составления различных видов прогнозов рассмотрены в главе 6. Отметим лишь, что оправдываемость агрометеорологических прогнозов значительно снижается в случаях наступления критических для растений погодных условий, таких как длительные засухи, суховеи, губительные поздние весенние или ранние осенние заморозки и т. п. Ожидаемые виды на урожай (валовой сбор и урожайность) основных сельскохозяйственных культур в целом по стране представляются руководителем Росгидромета в высшие органы власти и руководству сельскохозяйственной отрасли в форме краткого обзора сложившихся агрометеорологических условий с приложением конкретной цифровой информации по основным сельскохозяйственным культурам. В качестве примера приведем краткое содержание одного из таких обзоров.

Об агрометеорологических условиях и ожидаемом в n -м году валовом сборе всех зерновых и зернобобовых культур в Российской Федерации

На преобладающей территории европейской части Российской Федерации условия для формирования урожая зерновых и зернобобовых культур в мае складывались удовлетворительно. Влагообеспеченность растений была преимущественно хорошей. Лишь на востоке Северо-Кавказского региона, в Нижнем Поволжье и на юге Воронежской области запасы продуктивной влаги в почве были недостаточными (50...60 мм в метровом слое), а местами плохими — менее 40 мм. В пахотном слое почвы в этих районах содержалось 5...10 мм влаги, местами менее 5 мм. Такие условия были неблагоприятными для кущения и укоренения яровых зерновых культур и формирования колоса у озимых.

Неблагоприятным фактором в мае были длительные и необычно сильные заморозки (до $-8...-6^{\circ}\text{C}$). В ряде областей Центрального и Центрально-Черноземного районов, а также в Среднем Поволжье заморозки местами повредили всходы яровых культур и отрицательно сказались на формировании колоса озимых. В колосе озимой пшеницы образовалось 15...16 развитых колосков (на 4...6 колосков меньше обычного).

В июне на преобладающей территории европейской части РФ установилась жаркая сухая погода. Дневная температура воздуха составила 26...33 $^{\circ}\text{C}$, в Нижнем Поволжье и на Северном Кавказе 34...37 $^{\circ}\text{C}$. Влагообеспеченность

зерновых культур резко ухудшилась. На большей части Северо-Кавказского района (за исключением Краснодарского края и юго-западной части Ставропольского края), в южной половине Поволжского и на юго-западе Центрально-Черноземного районов наблюдалась сильная почвенная засуха. Запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы понижались до 2...7 мм (местами он пересыхал полностью), в метровом слое — до 30...70 мм (20...60 % нормы), а на отдельных полях они составляли всего 15...20 мм.

На значительных площадях растения в этих районах в различной степени повреждены засухой: они низкорослые, с мелким колосом, число зерен в колосе на 35...45 % меньше оптимального количества, местами отмечается пустоколосица.

Во второй декаде июня значительно ухудшилась влагообеспеченность зерновых культур на юге Центрального, Северо-Западного районов, а также на севере Центрально-Черноземного и Поволжского районов, где запасы влаги в пахотном слое почвы понижались до 11...15 мм, а местами до 5...8 мм.

В Уральском районе, а также на большей части территории Сибири условия для формирования урожая зерновых и зернобобовых культур в мае — июне складывались в основном благоприятно. Несколько хуже, чем обычно, из-за пониженной влагообеспеченности они были на западе Алтайского края, крайнем юге Новосибирской, Омской, Читинской областей и Бурятии.

На основании результатов анализа сложившихся и расчета ожидаемых агрометеорологических условий валовой сбор зерна в целом по Российской Федерации составит в весе после доработки 53...58 млн. т с площади около 49 млн. га, что больше прошлогоднего (47,9 млн. т с площади 50,7 млн. га), но меньше среднего за последние пять лет (70,1 млн. т).

Валовой сбор зерна (млн. т) по отдельным культурам в целом по Российской Федерации ожидается следующий: озимой пшеницы и ржи 17,5...20,0, яровой пшеницы 16,0...19,0, ярового ячменя 12,0...14,0, кукурузы 1,00...1,15, гречихи 0,45...0,60. Остальная часть валового сбора зерна приходится на долю других зерновых и зернобобовых культур (овес, горох, озимый ячмень и др.).

В таблице (табл. 7.2) приводятся значения ожидаемых урожайности и валовых сборов зерновых и зернобобовых культур по экономическим районам и в целом по Российской Федерации в конкретном году. В табл. 7.2 приведен пример составления таблицы для озимой пшеницы.

Таблица 7.2

Ожидаемые урожайность и валовой сбор озимой пшеницы в *n*-м году

Территория	Урожайность, ц/га			Валовой сбор, млн. т		
	ожидаемая в текущем году	в прошлом году	средняя годовая за последние 5 лет	ожидаемый в текущем году	в прошлом году	средний годовой за последние 5 лет
Российская Федерация	18...20	16,1	19,2	13,0...15,0	13,8	16,3
В том числе районы						
Северо-Западный	10...12	8,4	10,0	0,01...0,02	0,02	0,03

Окончание табл. 7.2

Территория	Урожайность, ц/га			Валовой сбор, млн. т		
	ожидае- мая в текущем году	в про- шлом году	средняя годовая за последние 5 лет	ожидаемый в текущем году	в про- шлом году	средний годовой за последние 5 лет
Центральный	16...18	15,4	16,7	1,00...1,20	1,1	1,3
Болго-Вятский	16...18	11,1	15,3	0,38...0,46	0,3	0,3
Центрально- Черноземный	16...18	20,5	21,0	2,30...2,30	3,0	2,8
Поволжский	14...16	8,4	13,6	3,00...3,60	2,1	3,1
Северо- Кавказский	22...24	21,9	23,7	6,30...6,90	6,7	8,4
Уральский	15...17	3,0	11,9	0,01...0,02	0,07	0,3

Межрегиональные территориальные УГМС проводят весь комплекс наблюдений, сбора, обработки и передачи агрометеорологической информации, обобщенной по установленным формам, обеспечивая необходимыми материалами Росгидромет в рамках ведомственного заказа. В региональные, областные и краевые администрации, в организации агропромышленного комплекса информационная агрометеорологическая продукция из УГМС направляется двух основных видов — общего назначения и специализированная.

В условиях перехода к рыночной экономике агрометеорологии, осуществляющие оперативное агрометеорологическое обеспечение сельскохозяйственного производства, сталкиваются с серьезными трудностями, обусловленными целым рядом объективных причин:

1) растущим спросом на бесплатную специализированную агрометеорологическую информацию (поскольку в течение всех предшествующих десятилетий любая информация предоставлялась учреждениями гидрометслужбы бесплатно);

2) снижением объемов оперативной агрометеорологической информации из-за сокращения наблюдательной сети, программ полевых наблюдений и др.;

3) уменьшением или полным прекращением маршрутных (наземных и самолетных) обследований сельскохозяйственных полей и пастбищ и, следовательно, отсутствием регулярных и достоверных характеристик состояния почвы, посевов и пастбищной растительности на больших площадях;

4) отсутствием или нерегулярностью получения статистической сельскохозяйственной информации по посевным площадям и фактическим урожаям, сведений о посевах новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур за каждый конкретный год;

5) отсутствием оперативной спутниковой информации по основным регионам сельскохозяйственной зоны страны в форме, удобной для ее практического использования на местах в интересах сельскохозяйственного производства;

6) значительным сокращением объемов выполнения работ по определению агрогидрологических свойств почвы в областях, регионах и районах.

7.3. Особенности агрометеорологического обеспечения различных отраслей аграрного сектора страны

Для управления различными отраслями сельскохозяйственного производства необходима метеорологическая, гидрологическая и агрометеорологическая информация. Поэтому современное агрометеорологическое обеспечение сельского хозяйства является специализированным, т. е. учитывает специфику той или иной отрасли сельскохозяйственного производства.

Например, для *зернового хозяйства* содержание агрометеорологической информации изменяется по сезонам. В период сева озимых зерновых культур наибольший интерес представляет информация о фактически выпавшем и ожидаемом количестве осадков, запасах продуктивной влаги в пахотном слое на полях с различными предшественниками, об оптимальных и предельно поздних сроках сева этих культур в конкретные годы, ожидаемой теплообеспеченности периода осенней вегетации растений.

В период после прекращения вегетации необходимой становится информация о степени развития и площадях с различным состоянием озимых зерновых культур перед уходом в зиму. В зимний период специалисты сельского хозяйства нуждаются в информации о минимальных температурах воздуха, о высоте снежного покрова, характере его залегания и распределения на полях, о температуре почвы на глубине расположения узла кущения, о критических температурах вымерзания высеванных сортов и гибридов, об ожидаемом состоянии посевов после перезимовки и их влагообеспеченности.

К началу весны для принятия оперативно-хозяйственных решений необходима информация (прогноз) об ожидаемых сроках наступления благоприятных условий для начала полевых работ и сева яровых зерновых культур, о запасах продуктивной влаги в пахотном и более глубоких горизонтах почвы, о теплообеспеченности вегетационного периода и сроках устойчивого перехода температуры воздуха через 5, 10, 15 °С. Необходимы сведения об ожидаемых поздних весенних заморозках, фенологические прогнозы цветения основных плодовых и ягодных культур, данные о вероятности засушливых явлений и засухи.

В весенне-летний период наибольший интерес представляет информация о сроках прекращения заморозков в воздухе и на почве, об условиях роста, развития, формирования урожая, об ожидаемых сроках созревания зерновых (и других) культур и их урожайности и валовом сборе. Необходимы оперативные агрометеорологические рекомендации об оптимальных сроках и дозах внесения минеральных удобрений, а также ядохимикатов для подавления популяций вредителей и болезней сельскохозяйственных культур в зависимости от сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий.

В период уборки зерновых культур наибольшую значимость приобретают прогнозы погоды, особенно осадков, влияющих на производительность работы уборочных механизмов и транспорта, на скорость просыхания зерна в валках и полеглих посевах.

При возделывании теплолюбивых яровых зерновых культур и особенно кукурузы важна информация о прогревании пахотного горизонта почвы весной, теплообеспеченности вегетационного периода, сроках созревания различных по скороспелости сортов и гибридов, об ожидаемых сроках наступления ранних осенних заморозков, о возможных площадях невызревания початков кукурузы и т. п.

Общая схема использования гидрометеорологической информации в зерновом хозяйстве приведена на рис. 7.1.

Агрометеорологическое обеспечение производства *технических и овощных культур* складывается из подготовки и выдачи следующей информации: о сроках прекращения заморозков, о возможных сроках возврата холода, о запасах влаги и температуре пахотного горизонта почвы для выбора оптимальных сроков сева и высадки рассады в грунт, об ожидаемой урожайности и валовом сборе, о складывающихся условиях периода уборки урожая и т. п. Для примера приведем текст справки с оценкой условий и прогноза ожидаемой урожайности подсолнечника, подготовленной специалистами-агрометеорологами Гидрометеорологического центра России Министерству сельского хозяйства и продовольствия РФ.

Об ожидаемых урожайности и валовом сборе семян подсолнечника в Российской Федерации

На большей части территории промышленного возделывания подсолнечника условия для сева и появления всходов в апреле текущего года были в основном благоприятными. Увлажнение почвы было хорошим: в пахотном слое содержалось 30...40 мм продуктивной влаги. Похолодание, наблюдавшееся в первой и второй декадах мая, замедлило рост и развитие растений. В Центрально-Черноземном районе отмечались повреждения всходов подсолнечника заморозками ($-6...-4^{\circ}\text{C}$ в воздухе; до -8°C на поверхности почвы). На части площадей подсолнечник пересевался.

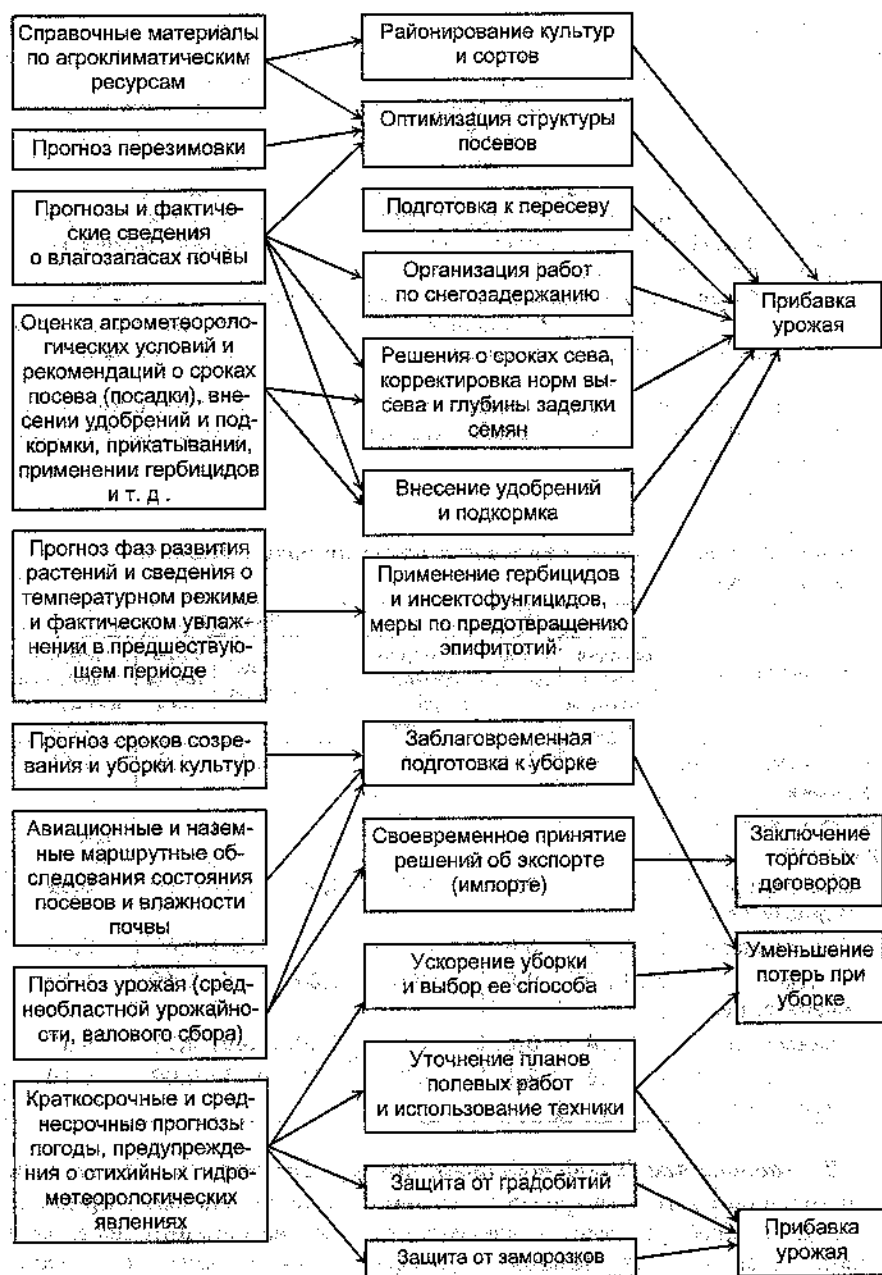


Рис. 7.1. Общая схема использования гидрометеорологической информации в зерновом хозяйстве.

В третьей декаде мая — начале июня почти повсеместно условия для роста и развития подсолнечника были хорошими. Во второй пятидневке июня на востоке Северо-Кавказского района, на юго-востоке и в южной половине Поволжского района условия для формирования урожая подсолнечника ухудшились из-за жаркой погоды, суховейных явлений и пониженной влагообеспеченности посевов.

С учетом сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий урожайность семян подсолнечника в среднем по Российской Федерации ожидается 8...10 ц/га (в прошлом году — 7,2 ц/га, средняя годовая за последние 5 лет — 8,1 ц/га).

Валовой сбор семян подсолнечника с расчетной площади около 4,5 млн. га ожидается 3,6...4,5 млн. т. В прошлом году валовой сбор семян этой культуры составил 3,0 млн. т с площади 4,2 млн. га, а средний годовой за последние 5 лет — 3,1 млн. т.

Ожидаемые урожайность и валовой сбор семян подсолнечника по Российской Федерации и по экономическим районам представлены в таблице (табл. 7.3).

Таблица 7.3

Ожидаемые урожайность и валовой сбор семян подсолнечника в текущем году

Территория	Урожайность, ц/га			Валовой сбор, млн. т		
	ожидаемая в текущем году	в прошлом году	средняя годовая за последние 5 лет	ожидаемый в текущем году	в прошлом году	средний годовой за последние 5 лет
Российская Федерация	8...10	7,2	8,1	3,6...4,5	3,0	3,08
В том числе по районам						
Центрально-Черноземный	9...11	9,0	9,0	0,60...0,70	0,54	0,51
Поволжский	6...8	5,3	5,9	0,90...1,20	0,65	0,65
Северо-Кавказский	10...12	9,0	10,6	1,60...1,92	1,49	1,64
Уральский	6...8	5,5	5,4	0,30...0,40	0,21	0,17
Западно-Сибирский	4...6	8,1	4,7	0,16...0,25	0,09	0,10

В садоводстве (плодоводстве), виноградарстве и, в частности, при возделывании цитрусовых культур большое значение придает-ся знанию особенностей микроклимата при размещении посадок в условиях различных элементов рельефа. Это позволяет уже на этапе закладки садов оптимально использовать особенности рельефа местности для обеспечения растений более благоприятными экологическими условиями в процессе их выращивания (см. раздел 5.6).

Для садоводов необходима информация об агроклиматических особенностях территории, в частности, об интенсивности и повторяемости экстремальных температур в зимний период и критических температурах вымерзания районированных пород и сортов плодово-ягодных культур. Весной необходимы прогнозы заморозков в воздухе на период массового цветения плодовых и отрастания лозы на виноградниках для своевременной организации их защиты от повреждения.

Эффективное использование *мелиорируемых земель* может быть достигнуто только при правильном регулировании их водного, солевого и температурного режимов. Для этого в управлениях оросительными системами используется информация о количестве выпавших осадков, испарении и испаряемости, уровнях грунтовых вод, температуре и влажности почвы, о солевом составе почвогрунтов, а также сезонные, месячные и краткосрочные прогнозы погоды. Для территорий орошаемого земледелия используются методы расчета норм орошения и прогнозы оптимальных сроков и норм полива в зависимости от складывающихся погодных условий и фаз развития растений. Чрезвычайно важны гидрологические долгосрочные прогнозы на вегетационный период об ожидаемой водности рек, притока воды в водохранилища, используемой при орошении.

Условия погоды оказывают значительное влияние на *жизнедеятельность и продуктивность сельскохозяйственных животных*, особенно при круглогодичном содержании их на пастбищах под открытым небом. В таких условиях животноводам прежде всего необходима оперативная информация и прогнозы о резких изменениях погоды, предупреждения об опасных гидрометеорологических явлениях, таких как низкие (высокие) температуры, затяжные (интенсивные) осадки, сильный ветер, высокий и плотный снежный покров, гололедица и т. п. (см. раздел 3.4).

От сложившихся агрометеорологических условий зависит урожайность *сенокосно-пастбищной растительности* во всех почвенно-климатических зонах. Для планирования объемов заготовки кормов (сенокосы), расчетов количества выпасаемого поголовья на единице пастбищной территории необходима различная информация: о запасах продуктивной влаги в корнеобитаемых горизонтах почвы, глубине промачивания почвы весной, составе и состоянии пастбищной растительности, — а также прогнозы наступления периода массового цветения сеяных кормовых трав, выгорания естественного травостоя (в южных регионах), прогнозы ожидаемой урожайности и запасов кормов (см. раздел 4.8).

Общая схема использования гидрометеорологической информации при обслуживании пастбищного животноводства приведена на рис. 7.2.

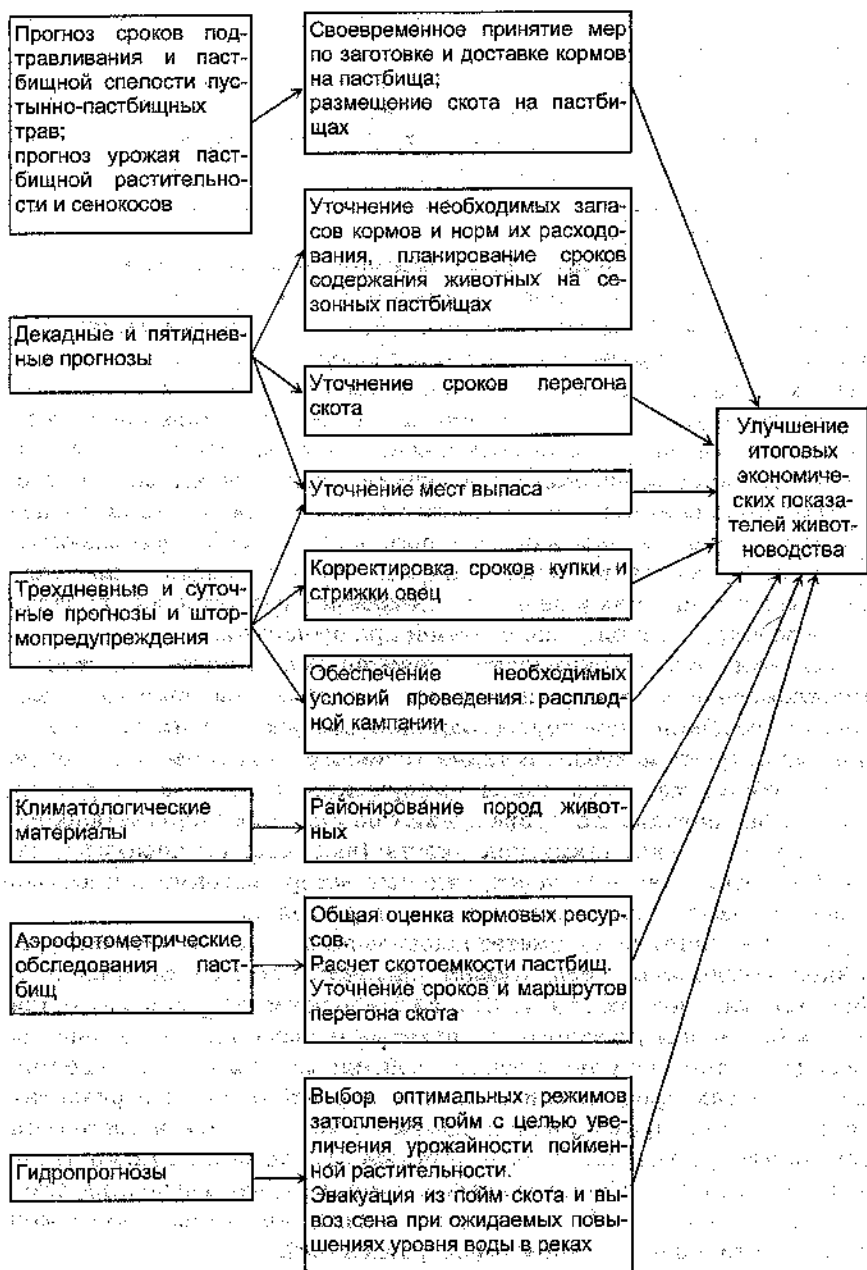


Рис. 7.2. Общая схема использования различных видов информации при гидрометеорологическом обеспечении пастбищного животноводства

7.4. Работа наземной наблюдательной сети по агрометеорологическому обеспечению сельскохозяйственного производства

Сеть пунктов наземных агрометеорологических наблюдений предназначена для сбора, первичной обработки и выдачи информации о состоянии природной среды и объектов сельскохозяйственного производства. Такая информация необходима прежде всего для выполнения программ деятельности оперативно-производственных, научных и режимных подразделений Росгидромета. Эта информация передается в установленном порядке и используется подразделениями агропромышленного комплекса в процессе принятия проектных, плановых и оперативно-хозяйственных решений.

Сетевые наблюдательные организации (СНО, станции), как правило, не подготавливают официальных бюллетеней и обзоров. По запросу могут быть выданы справки по результатам конкретных гидрометеорологических наблюдений. Выдается также некоторый табличный материал в качестве иллюстрации к актам представителей учреждений Госстраха при списании посевов в результате сложившихся экстремальных или опасных гидрометеорологических условий для сельскохозяйственных культур и животных. Лишь в отдельных УГМС (например, Северо-Кавказском) некоторые СНО составляют прогнозы запасов влаги в почве на весну по своему району. В большинстве УГМС сетевые наблюдательные организации ограничиваются выдачей только табличных материалов по запросам потребителей.

7.5. Использование агрометеорологической информации в сельскохозяйственном производстве и оценка экономической эффективности обслуживания аграрного сектора страны

Устойчивое и экономически выгодное развитие аграрного сектора страны, а также продовольственная безопасность страны в значительной степени связаны со стабильным, оперативным и достоверным агрометеорологическим обеспечением сельскохозяйственного производства. Широкое, грамотное и систематическое использование гидрометеорологической (в том числе агрометеорологической) информации работниками сельского хозяйства в течение всего цикла производства сельскохозяйственной продукции способствует наращиванию продовольственного фонда страны, устойчивому удовлетворению потребностей населения в разнообразных и высококачественных продуктах питания и сырья для промышленности.

В распоряжении работников сельского хозяйства имеется богатый, выработанный сельскохозяйственной наукой и практикой, арсенал приемов и средств возделывания сельскохозяйственных культур и ведения пастбищного животноводства. В то же время достижения агрометеорологической науки и практики нацелены на существенное расширение и своевременное использование агрометеорологической информации в условиях изменчивости погодных и климатических условий. Игнорирование, неумение использовать или отсутствие необходимой агрометеорологической информации снижает обоснованность принятия проектных, плановых и хозяйственных решений при управлении сельскохозяйственным производством и приводит к значительным потерям.

Результаты наблюдений сетевых наблюдательных организаций за осадками, влажностью почвы, глубиной промерзания и оттаивания почвы, снежным покровом, температурой воздуха и почвы, за состоянием посевов, пастбищной растительности дают информацию хозяйствам для выбора сроков сева, норм высева, сроков и доз внесения минеральных удобрений, планирования работ по уходу за посевами, проведения мероприятий по защите растений от вредителей, болезней и неблагоприятных (опасных) гидрометеорологических явлений, для принятия решений в пастбищном хозяйстве.

Применение гибких агротехнических приемов, соответствующих складывающимся погодным условиям конкретного года, может обеспечить большую устойчивость уровня урожайности сельскохозяйственных культур и меньшее ее снижение в неблагоприятные по погодным условиям годы.

Заблаговременные предупреждения о наступлении заморозков позволяют организовать работы по сохранению рассады овощных культур, защите цветущих садов, укрытию не вывезенных с полей клубней картофеля, корней сахарной свеклы и т. д.

Информация о влажности почвы широко используется при выдаче заданий на посевные работы по глубине заделки семян в почву, по нормам высева и структуры посевных площадей. Например, глубина заделки семян кукурузы на тяжелых почвах в холодную и дождливую весну должна быть меньше, чем в теплую и сухую. Поля с недостаточными запасами влаги в почве должны засеиваться менее влаголюбивыми культурами с более низкими нормами высева семян.

При внесении высоких доз минеральных удобрений в избыточно влажную почву происходит их интенсивное вымывание в более глубокие горизонты почвы, в результате которого растения не получают дополнительного питания, а в водоемы попадают опасные для живых организмов минеральные вещества.

Прогнозы погоды на 1...3 сут широко используются специалистами сельского хозяйства при организации работ по защите сельскохозяйственных культур от вредителей и болезней, поскольку опрыскивание и опыление нужно проводить в безветренную погоду или при очень слабом ветре. Такие же условия необходимы при проведении дефолиации (искусственное удаление листьев) на хлопковых плантациях, поскольку листья мешают качественной машинной уборке хлопка-сырца. Если вскоре после опыления или опрыскивания пойдет дождь, воздействие окажется заниженным или малоэффективным при значительных экономических затратах; более того, окружающей среде будет нанесен экологический ущерб в результате внесения ядохимикатов в почву и водные объекты.

Агрометеорологические прогнозы состояния озимых зерновых культур и многолетних трав после перезимовки позволяют работникам сельского хозяйства с заблаговременностью от полутора до двух месяцев определить районы и площади гибели этих культур, подготовить необходимое количество семян яровых культур для весеннего посева и наметить меры по уходу за изреженными посевами весной.

Прогнозы агрометеорологов об ожидаемых сроках созревания сельскохозяйственных культур успешно используются в процессе подготовки и перераспределения сельскохозяйственной техники. Особую актуальность такие прогнозы приобретают в аномальные по условиям погоды годы, когда созревание сельскохозяйственных культур ожидается значительно раньше или позже средних многолетних сроков.

Агрометеорологические прогнозы урожайности и валового сбора основных культур используются для уточнения планов закупок и заготовок сельскохозяйственной продукции, подготовки уборочной техники и транспортных средств, режима работы элеваторов, загрузки отраслей перерабатывающей промышленности, оценки перспектив снабжения населения продовольствием, а промышленности — сырьем.

Уборке урожая сельскохозяйственных культур нередко мешают затяжные дожди. Ожидаемое по прогнозу улучшение погоды позволяет специалистам сельского хозяйства подготовить и мобилизовать дополнительные ресурсы (технику, людей) для ускорения уборки и сохранения урожая.

Существующая в настоящее время степень изученности агроклиматических условий административных территорий дает потребителю обширную информацию о ресурсах света, тепла, влаги, об особенностях зимнего режима и микроклимата полей с различными сельскохозяйственными посевами, а также природных ландшафтов. Напомним, что результаты исследований микроклиматических

особенностей полей и ландшафтов позволили продвинуть возделывание некоторых ценных культур на 300...350 км к северу от средней границы их произрастания. Исследования агроклиматических ресурсов той или иной территории в сопоставлении с потребностью сельскохозяйственных культур и животных к условиям их возделывания и выращивания позволили добиться удовлетворительного агроклиматического районирования культур и зооклиматического районирования в животноводстве.

Казалось бы, что проблемы оптимального размещения культур и специализации сельского хозяйства решены. Однако такие проблемы не могут быть решены один раз и навсегда. Сельскохозяйственные угодья в России расположены в нескольких почвенно-климатических (природных) зонах, степень благоприятности которых для сельскохозяйственного производства варьирует в широких пределах. Внедрение в производство каждого нового сорта (гибрида), введение новых агротехнических приемов, масштабные работы по орошению и осушению земель, освоение под пашню новых земель (особенно в условиях изменения климата) неизбежно ведет к периодическому пересмотру значений агроклиматических условий, переоценке агроклиматических ресурсов для целей сельскохозяйственного производства. Поэтому агроклиматические характеристики принято пересматривать примерно один раз в каждые 20 лет.

Однако следует помнить, что современная (довольно редкая) сеть метеорологических станций и станций, ведущих агрометеорологические наблюдения, не может объективно отражать все разнообразие гидрометеорологических и почвенных условий огромных территорий, на которых возделываются сельскохозяйственные культуры или выращиваются сельскохозяйственные животные. Например, на обширных и разнородных площадях нельзя уточнять агротехнические приемы выращивания культур по данным одного отдаленного пункта измерения выпадающих осадков или запасов влаги в почве. Поэтому организация ведомственных агрометеорологических постов в хозяйствах, условия в которых значительно отличаются от тех, в которых функционирует сетевая наблюдательная организация (метеорологическая, агрометеорологическая или иная станция), является одним из приемов улучшения освещенности территории гидрометеорологической информацией. В современных условиях все большее развитие получают и расчетные методы метеорологических, агрометеорологических и агрогидрологических параметров по данным опорной наблюдательной сети.

Сельскохозяйственное производство, по существу, является „пехом под открытым небом“; оно сильно зависит от климатических и погодных условий конкретных лет. Неблагоприятные и опасные гидрометеорологические явления (см. главы 2 и 3) наносят

значительный экономический ущерб растениеводству, плодоводству, животноводству и другим отраслям сельскохозяйственного производства. К таким явлениям относятся: поздние весенние и ранние осенние заморозки, длительные и интенсивные засухи и суховеи, сильные шквалистые ветры и пыльные бури, интенсивные и часто повторяющиеся градобития, ливневые осадки, вызывающие переувлажнение и эрозию почвы, бесснежные зимы в сочетании с сильными морозами, ледяные корки в снежном покрове, комплекс неблагоприятных условий перезимовки и т. п.

По оценкам, из всех потерь от неблагоприятной погоды, регистрируемых в различных сферах экономики страны, более 60 % приходится на сельское хозяйство. Приведем несколько примеров, подтверждающих сказанное.

1. Вероятность заморозков в воздухе (до -3°C) в мае на территории 43 субъектов Российской Федерации (РФ) составляет от 51 до 100 %.

2. В 29 субъектах РФ с наиболее развитым сельскохозяйственным производством вероятность весенней засухи достигает 20 %, а в южных и восточных регионах вероятность почвенной засухи составляет 40 %.

3. Полегание посевов зерновых культур (как результат переувлажнения почвы и сильных ветров) происходит с вероятностью от 2 до 4 лет из 10 в различных почвенно-климатических зонах; только озимая пшеница и рожь ежегодно полегают на площади 12...15 млн. га.

4. Средние потери зерна при уборке из-за неблагоприятных условий составляют от 8 до 26 % в зависимости от сроков созревания зерна.

5. Интенсивные градобития повреждают или уничтожают до 1 % площадей посевов в регионах с наибольшей повторяемостью выпадения града (преимущественно предгорные и среднегорные районы в теплое время года).

6. Значительный ущерб сельскохозяйственным животным (особенно молодняку), находящимся на пастбищах или перегонах, наносят гололед, обильные осадки, особенно при похолоданиях в весенний период, ранние обильные снегопады и т. п.

Сельскохозяйственная метеорология располагает прочной научно-методологической основой и оперативным опытом по гидрометеорологическому обеспечению разнообразной информацией различных отраслей сельскохозяйственного производства.

Результатом научно-технической, интеллектуальной деятельности учреждений Росгидромета и других национальных гидрометеорологических служб стран СНГ является разнообразная гидроме-

теоретическая информация, обладающая свойствами товара по следующим признакам.

1. Получение этой информации связано с технологическим процессом — наблюдения (измерения), регистрация, обработка, расчет, обобщение, передача и т. п., — несущим затраты и издержки производства.

2. Необходимость и полезность этой информации, а также оперативность ее передачи потребителю определяют ее потребительскую стоимость.

3. Товар, как потребительская стоимость, предназначенная для реализации или подготовленная для передачи в сферы экономики, может иметь вещественную форму или выступать в виде предоставляемых услуг.

4. Прогностическая и оценочная гидрометеорологическая информация, как разновидность услуг, обладает многими специфическими чертами: актуальностью, достоверностью, достаточностью. В такой информации преобладают количественные характеристики.

Агрометеорологическая информация тоже является одним из видов услуг, оказываемых потребителям в общей системе гидрометеорологического обеспечения аграрного сектора экономики страны. По существу, гидрометеорологическая информация является важным экономическим фактором хозяйственных комплексов страны.

Традиционные формы оперативного гидрометеорологического обслуживания, сложившиеся на территории бывшего СССР, оказались малоприспособленными в условиях перехода экономики к рыночным отношениям в постсоветский период. Распад административно-командной системы управления народным хозяйством страны, мучительный переход к многоукладному сельскому хозяйству, медленно развивающееся фермерство и ряд негативных процессов в сельском хозяйстве привели к падению спроса на специализированную агрометеорологическую информацию. Уменьшилась потребительская стоимость гидрометеорологического товара как продукта труда специалистов гидрометеорологических подразделений.

Потребитель, привыкший в СССР получать любую гидрометеорологическую информацию бесплатно, только в последние годы стал воспринимать возможность коммерческих отношений с подразделениями Росгидромета по ряду направлений его деятельности.

Создание стабильного агрометеорологического рынка сдерживается объективными трудностями становления фермерских хозяйств, их технической маломощностью, экономической слабостью. В частности, слишком велик разрыв между низкими ценами на сельскохозяйственную продукцию, с одной стороны, и непомерно высокими ценами на сельскохозяйственную технику, транспорт, удобрения и т. п. — с другой. Как отмечалось выше, сельскохозяй-

ственное производство в значительной степени определяется погодными условиями, складывающимися в каждом конкретном году.

Однако специальные маркетинговые исследования агрометеорологов (*т. е. изучение рыночных отношений*) в области спроса потребителей на гидрометеорологическую информацию показали, что около 60 % потребителей согласны покупать специализированную агрометеорологическую информацию. Это свидетельствует о формировании потребительского рынка в России, развитие которого во многом будет определяться качеством, новизной, достоверностью, ценой, оперативностью, *т. е. конкурентоспособностью* такой информации. Своевременное получение и правильное использование различной гидрометеорологической информации содействует увеличению доходов хозяйств при благоприятно складывающихся погодных условиях или снижению уровня потерь при неблагоприятных условиях.

Как известно, чистый доход (*прибыль*) представляет собой разность между выручкой за сданную по закупочным ценам сельскохозяйственную продукцию и затратами на ее производство (*себестоимость*).

Экономическая эффективность агрометеорологической информации может быть представлена в виде разности между приращением сельскохозяйственной продукции, получаемой в результате использования этой информации, и ее стоимостью. *Приращение продукции* — это разность между доходом (сбором зерна, овощей, валовым выходом кормов и т. п.), полученным в результате принятия хозяйственных решений с учетом агрометеорологической информации, и аналогичными показателями, полученными без учета этой информации.

Еще одним показателем экономического эффекта от использования гидрометеорологической информации является так называемый *предотвращенный ущерб*, связанный с заблаговременностью доведенного до потребителя прогноза о наступлении неблагоприятных или опасных для сельскохозяйственного производства явлений (заморозков, сильных ветров, засухи, обильных осадков и т. п.) и проведением в хозяйствах необходимых защитных мероприятий. По обобщенным данным, в сельскохозяйственном производстве за счет такой информации удается сократить убытки на 25 % от общего объема потерь, связанных с погодой. Вклад гидрометеорологической информации в полученный экономический эффект оценивается коэффициентом от 0,1 до 0,5.

Разработкой методов оценки экономической эффективности от использования агрометеорологической информации занимались многие ученые: Э. И. Монокрович, А. П. Федосеев, В. П. Дмитренко, В. М. Личикаки, Е. Е. Жуковский, А. Г. Пресвиркина, Н. И. Иванова и др. Наиболее известная методика расчета экономической эффективности использования гидрометеорологической информации

была совместно разработана в КазНИГМИ и ВНИИСХМ Э. И. Монокровичем и А. П. Федосеевым.

Оценка экономического эффекта (ЭЭ) при учете различных видов гидрометеорологической информации рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{ЭЭ} = K_y S (\Delta YЦ - З), \quad (7.1)$$

где K_y — коэффициент долевого участия гидрометеорологической информации в полученном экономическом эффекте; S — площадь, на которой достигнуто повышение урожайности, га; ΔY — прибавка урожайности, полученная благодаря внесению удобрений, поливам и другим мероприятиям, проведенным в соответствии с прогнозами и рекомендациями агрометеорологов, т/га; $Ц$ — закупочная цена на данную культуру, определяемая по прейскуранту, руб./т; $З$ — затраты на проведение хозяйственных мероприятий плюс затраты на уборку дополнительной продукции, руб./га.

В системе Росгидромета вопросы специализированного гидрометеорологического обеспечения, изучение потребительского спроса на такую информацию, обобщение информации о полученном экономическом эффекте, а также разработка методик оценки экономической эффективности (совместно с научно-исследовательскими институтами) возложены на метеорологические агентства. Но количество потребителей специализированной агрометеорологической информации, выпускаемой подразделениями Росгидромета, растет медленно. Например, в 2000 г. оно составило всего 10 % от числа всех потребителей гидрометеорологической информации. В табл. 7.4 приведены данные об экономическом эффекте, полученном в некоторых УГМС России по результатам использования гидрометеорологической информации в сельском хозяйстве.

Естественно, что наибольшее количество хозяйственных договоров с УГМС заключается в основных сельскохозяйственных регионах Российской Федерации. Однако объемы договорных средств пока невелики, что объясняется продолжающейся перестройкой в системах ведения сельского хозяйства, низкой платежеспособностью сельскохозяйственных подразделений, а также отсутствием четких документов по ценообразованию на выпускаемую гидрометеорологическую продукцию в учреждениях Росгидромета.

Специальные маркетинговые исследования, проведенные в Ростовской области, показали, что основными причинами, мешающими сельскохозяйственным организациям получать гидрометеорологическую продукцию, являются: отсутствие финансовых средств — 75 %; недостаточное знание предлагаемых Росгидрометом гидрометеорологических услуг — 5 %; отсутствие способов получения оперативной информации — 20 %.

Таблица 7.4

Экономический эффект от использования
гидрометеорологической информации в сельском хозяйстве (млн. руб.)

УГМС	Годы			
	1997	1998	1999	2000
Башкирское	40,14	0,14	115,96	1,08
Верхне-Волжское	9,17	17,26	280,40	56,23
Забайкальское	3,50	2,00	16,40	3,45
Западно-Сибирское	3,97	9,80	48,30	76,76
Иркутское	3,10	5,00	11,90	18,38
Обь-Иртышское	29,11	6,53	420,44	16,80
Приволжское	85,95	243,34	48,90	212,60
Приморское	0,20	0,20	46,50	0,50
Северо-Кавказское	26,30	42,97	114,00	71,40
Среднесибирское	73,00	81,00	32,40	27,00
ЦЧО	24,36	20,30	248,20	39,20
Дальневосточное	—	43,48	5,00	0,5

Совершенно очевидно, что Институтам Росгидромета совместно с УГМС необходимо развивать специализированное агрометеорологическое обеспечение по договорам за счет более углубленного изучения запросов потребителей агрометеорологической информации на базе разработанных ВНИИСХМ и ГМЦ России автоматизированных информационных и информационно-прогностических технологий. Необходимо также продолжить разработку методов оценки экономической эффективности от использования агрометеорологической информации, совершенствовать систему современных расценок на выдаваемую гидрометеорологическую информацию.

Развитие всей системы агрометеорологического обеспечения аграрного сектора страны зависит также от совершенствования подсистемы агрометеорологических наблюдений, включающей в себя ряд крупных и взаимосвязанных блоков.

1. Наземные стандартные агрометеорологические наблюдения на опорной сети.

2. Расчетные методы (модели) и технологии получения непрерывной агрометеорологической информации по разовым полевым измерениям параметров в отдельных точках, их пространственная экстраполяция.

3. Спутниковая (и самолетная) технология получения агрометеорологической информации на больших площадях, привязанной

к наблюдениям опорной агрометеорологической сети, особенно при определении районов с аномальными и стрессовыми состояниями посевов.

4. Взаимоувязанные технологические системы агрометеорологического мониторинга, оценки и прогноза продуктивности основных видов сельскохозяйственных культур и естественных пастбищ на основе реального комплексирования всех видов информации (наземной, самолетной, спутниковой, статистической и др.) различного пространственного и временного разрешения на базе современных геоинформационных систем.

5. Автономные программно-аппаратные комплексы для обеспечения дифференцированной агрометеорологической информацией различных уровней потребителей — от руководящих органов страны до отдельных сельскохозяйственных подразделений и фермеров.

В области агрометеорологических исследований в перспективе должны развиваться приоритетные направления, обеспечивающие стабильное агрометеорологическое обеспечение устойчивого развития аграрного сектора экономики в условиях изменяющейся природной среды и климата.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Расскажите о трех уровнях использования гидрометеорологической информации в сельском хозяйстве.
2. Перечислите основные задачи агрометеорологического обслуживания аграрного сектора страны.
3. Назовите основные виды и формы агрометеорологической информации.
4. Расскажите о типовом содержании декадного агрометеорологического бюллетеня и обзора агрометеорологических условий за сезон (вегетационный период).
5. Какая информация предоставляется потребителю бесплатно?
6. Перечислите основное содержание оперативно-прогностической информации и аналитической, режимно-справочной информации, предоставляемых потребителю.
7. Расскажите об особенностях агрометеорологического обеспечения зернового хозяйства и плодоводства страны в течение вегетационного периода.
8. Какую работу выполняют сетевые наблюдательные организации (СНО) по оперативному обеспечению сельскохозяйственного производства?
9. Какими свойствами товара обладает гидрометеорологическая информация?

10. Сформулируйте свое понимание экономической эффективности агрометеорологической информации при ее использовании в сельскохозяйственном производстве.
11. Как оценивается экономический эффект? Приведите примеры.
12. Перечислите основные направления будущего совершенствования всей подсистемы агрометеорологических наблюдений.

Часть 2

АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Глава 8

ОРГАНИЗАЦИЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА СТАНЦИЯХ И ПОСТАХ

8.1. Общие требования и программа наблюдений

Агрометеорологические наблюдения — это параллельные наблюдения за метеорологическими элементами, ростом и развитием сельскохозяйственных растений, состоянием почвы и проводимыми агротехническими мероприятиями. Основным принципом агрометеорологических наблюдений является сопряженность (параллельность) наблюдений за условиями погоды, состоянием почвы, за ростом и развитием сельскохозяйственных культур, трав и древесной растительности. Она достигается тем, что наблюдения за растениями и состоянием почвы проводятся на небольшом расстоянии от метеорологической площадки, а в ряде случаев наблюдения за отдельными параметрами окружающей среды (осадками, температурой почвы на глубине залегания узла кущения озимых зерновых культур, глубиной промерзания почвы и т. д.) проводятся непосредственно в поле.

Для сопоставимости материалов агрометеорологических наблюдений методика наблюдений для всех станций и постов одина; строгое соблюдение порядка и правил наблюдений, записи и обработки материалов является обязательным. Техника проведения наблюдений, порядок записи и обработки изложены в Наставлении гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 11, ч. I (СПб., Гидрометеиздат, 2000), в Инструкции по производству агрометеорологических и зоометеорологических наблюдений в районах пастбищного животноводства (Л., Гидрометеиздат, 1978),

Инструкции по производству агрометеорологических наблюдений в районах северного оленеводства (Л., Гидрометеиздат, 1985) и в других действующих руководящих документах.

Наземные агрометеорологические наблюдения проводятся с целью получения информации для:

непосредственного обеспечения народнохозяйственных организаций сведениями об агрометеорологических условиях в пункте наблюдений;

оповещения обслуживаемых организаций (потребителей) об опасных агрометеорологических явлениях;

обеспечения прогностических органов Росгидромета необходимыми данными для составления всех видов агрометеорологических прогнозов, справок о текущем состоянии агрометеорологических условий и предупреждений в случае их неблагоприятного развития в последующем;

накопления и обобщения объективных данных об агрометеорологическом режиме и агроклиматических ресурсах отдельных территорий и страны в целом.

Основные задачи станций и постов по производству агрометеорологических наблюдений следующие:

проведение наблюдений в районе расположения станции или поста;

первичная обработка результатов наблюдений;

составление информационных агрометеорологических сообщений и передача их соответствующим организациям и учреждениям в установленные сроки.

Достоверность результатов наблюдений на станциях и постах обеспечивается тем, что для всех измерений используются приборы и оборудование, поверенные метеорологическими организациями Росгидромета или Госстандарта России; наблюдения проводятся в строгом соответствии с действующими руководящими документами по методам агрометеорологических наблюдений, а объекты наблюдений выбираются репрезентативными (типичными) для территории деятельности станции (поста).

Агрометеорологические наблюдения должны регулярно проводить:

все агрометеорологические станции и агрометеорологические посты;

метеорологические, гидрологические, аэрологические, морские гидрометеорологические, прибрежные и отдельные специализированные станции (воднобалансовые, устьевые, болотные и др.), расположенные в сельскохозяйственных районах и привлеченные к этим наблюдениям;

метеорологические посты I и II разрядов, расположенные в сельскохозяйственных районах и привлеченные к этим наблюдениям.

По уровню решаемых задач (статусу) сеть агрометеорологических наблюдений России делится на основную (сеть федерального уровня) и дополнительную (сеть территориального уровня).

Основная сеть представляет собой минимально необходимую с точки зрения научной и хозяйственной целесообразности систему наблюдений, предназначенную для изучения агрометеорологического режима и агрометеорологического обеспечения страны в целом или ее крупных регионов. В составе основной сети выделены реперные пункты. Они предназначены для фоновой оценки агроклиматических условий возделывания сельскохозяйственных культур на территории России. Пункты наблюдений реперной сети имеют ряды наблюдений более 30 лет.

Дополнительная сеть агрометеорологических наблюдений предназначена для решения локальных задач, учета гидрометеорологических условий и изучения агрометеорологического режима в особых физико-географических и агроклиматических районах в интересах местных потребителей информации.

Агрометеорологические наблюдения за сельскохозяйственными культурами проводятся по полной или сокращенной программе.

При *полной* программе наблюдений обход наблюдательного участка проводится через день (кроме периодов, указанных в разделе 9), а наблюдения ведутся за всеми параметрами, указанными в табл. 8.1.

Сокращенная программа агрометеорологических наблюдений может быть сокращенной по срокам наблюдений, по наблюдаемым параметрам, по срокам и по параметрам. При программе, сокращенной по срокам наблюдений, наблюдения ведутся за всеми агрометеорологическими параметрами, но обход наблюдательного участка проводится два раза в декаду: в четвертый день каждой декады (4, 14 и 24-е числа) и в последний день декады. Если на наблюдательном участке определяется влажность почвы, то появляется еще один дополнительный срок наблюдений — 8-й день декады. Эта программа применяется, как правило, при расположении наблюдательного участка на большом расстоянии от станции или поста (при отсутствии транспорта).

При программе, сокращенной по наблюдаемым параметрам, обход наблюдательного участка проводится через день, однако наблюдения ведутся не за всеми агрометеорологическими параметрами. Обязательными являются наблюдения за фазами развития растений, засоренностью и состоянием посевов (визуальная оценка), высотой растений, густотой стояния растений и густотой стеблестоя, повреждениями посевов неблагоприятными метеорологическими явлениями, сельскохозяйственными вредителями и болезнями, за проведением агротехнических мероприятий на посевах. Обязательными являются также осенние и весенние обследования зимующих культур. По

Таблица 8.1

Типовая программа основных агрометеорологических наблюдений
для гидрометеорологических станций и постов
в теплый и холодный периоды года

Параметр, вид наблюдений	Программа			
	гидро- метео- станции	агроме- теороло- гическо- го поста	метеорологи- ческого поста	
			I раз- ряда	II раз- ряда
Теплый период года				
Температура пахотного слоя почвы	+	+	+	+
Температура воды в рисовом чеке	+	+	-	-
Осадки на сельскохозяйственных полях	+	+	-	-
Влажность верхних слоев почвы (визуаль- ные наблюдения). Почвенные корки	+	+	+	+
Влажность корнеобитаемого слоя почвы (инструментальные наблюдения)	+	+	+	-
Фазы развития сельскохозяйственных культур, трав, древесных и кустарнико- вых растений	+	+	+	+
Состояние сельскохозяйственных культур: густота стояния, высота растений, засорен- ность посевов, повреждение растений не- благоприятными метеорологическими яв- лениями, полегание посевов, общая ви- зуальная оценка состояния растений	+	+	+	+
Повреждение растений вредителями и болезнями	+	+	-	-
Формирование элементов продуктивности, растительная масса, структура урожая сельскохозяйственных культур	+	-	-	-
Весеннее обследование состояния полевых культур и садов	+	+	+	+
Полевые работы	+	+	+	+
Холодный период года				
Температура почвы в зоне узла кущения озимых культур и корневой шейки много- летних трав, корневой системы плодовых	+	+	-	-
Глубина промерзания и оттаивания почвы (инструментальные наблюдения)	+	+	-	-
Осеннее обследование состояния зимую- щих полевых культур	+	+	+	+
Определение жизнеспособности зимующих полевых культур и плодовых деревьев	+	+	-	-
Снежный покров на полях с зимующими культурами и в плодовом саду	+	+	+	+
Примечание. Знак плюс — наблюдения проводятся, знак минус — не про- водятся.				

решению УГМС в программу могут быть включены также наблюдения за двумя-тремя параметрами, наиболее важными для агрометеорологического обеспечения сельскохозяйственных организаций.

При программе наблюдений, сокращенной по срокам и по параметрам, наблюдения ведутся не за всеми параметрами, обход наблюдательного участка проводится три, а при отсутствии в программе наблюдений за влажностью почвы — два раза в декаду.

ЦГМС ежегодно утверждает и направляет станции (посту) для исполнения *план-задание*. В нем объем и содержание агрометеорологических наблюдений обязательно конкретизируются по видам наблюдений и составу наблюдаемых культур. При определении программы наблюдений станции (поста) принимается во внимание следующее:

состояние изученности агрометеорологического режима окружающей территории;

потребность в информации Гидрометцентра России, ГМЦ, ЦГМС или других заинтересованных организаций;

наличие вблизи пункта наблюдений посевов (посадок) сельскохозяйственных культур или сенокосно-пастбищных угодий;

удаленность наблюдательных участков от метеорологической площадки;

наличие транспорта;

статус пункта наблюдений и др.

Агрометеорологические наблюдения проводятся в строгом соответствии с *планом-заданием*, утвержденным УГМС (ЦГМС). План агрометеорологических наблюдений в течение года может быть изменен только по решению УГМС (ЦГМС).

Результаты агрометеорологических наблюдений записываются в специальные *полевые книжки*:

КСХ-1м — Книжка для записи агрометеорологических наблюдений в вегетационный период (сезонная);

КСХ-1П — Книжка для записи агрометеорологических и зоометеорологических наблюдений в районах пастбищного животноводства (сезонная);

КСХ-2м — Книжка для записи агрометеорологических наблюдений в осенне-зимне-весенний период (сезонная);

КСХ-3 — Книжка для записи наблюдений за влажностью почвы (месячная);

КСХ-8м — Книжка для записи результатов наземных маршрутных агрометеорологических наблюдений и обследований сельскохозяйственных угодий в сельскохозяйственном году (сезонная);

КСХ-12 — Книжка для записи агрометеорологических наблюдений в районах северного оленеводства (сезонная).

Книжки КСХ-1м, КСХ-2м и КСХ-8м обеспечивают возможность занесения данных агрометеорологических наблюдений непосредст-

венно из них на технические носители для последующей обработки на ЭВМ с целью долговременного хранения и многократного использования.

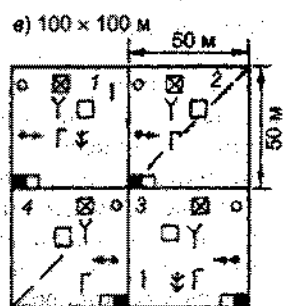
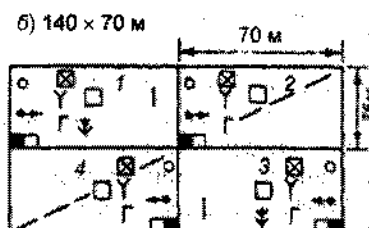
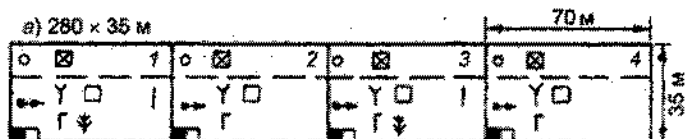
8.2. Выбор, описание и организация наблюдательных участков

Все регулярные агрометеорологические наблюдения проводятся на специальных участках. Их выбирают на полях, огородах и бахчах, пастбищах, сенокосах, в садах и на других сельскохозяйственных угодьях ближайшего коллективного, индивидуального или частного хозяйства и называют *наблюдательными участками*. При проведении наблюдений на *опытных* полях сельскохозяйственных учреждений наблюдательные участки надо выделять на производственных посевах или на больших массивах опытных посевов.

Выбор наблюдательного участка является одним из ответственных этапов в организации и проведении наблюдений. Местоположение наблюдательного участка должно быть таким, чтобы этот участок характеризовал возможно большую площадь, на которой произрастает наблюдаемая культура в данном хозяйстве, и в то же время он должен находиться в условиях, аналогичных условиям расположения метеорологической площадки. Эти требования строго обязательны и только при их соблюдении можно характеризовать метеорологические условия произрастания наблюдаемой культуры наблюдениями на метеорологической площадке, а результаты наблюдений на выбранном участке можно распространять на возможно больший район, иначе говоря, наблюдательный участок должен быть репрезентативным.

Наблюдательные участки на полях с сельскохозяйственными культурами, лугах, пастбищах обычно имеют форму прямоугольника площадью 1 га. Если площадь посева (например, огородных культур) меньше 1 га, то вся площадь считается наблюдательным участком. Участки в садах и других древесных насаждениях должны охватывать группы деревьев (кустарников, кустов) основных пород (сортов), характерных для данного насаждения (лесоцолосы, сада, виноградника и т. п.).

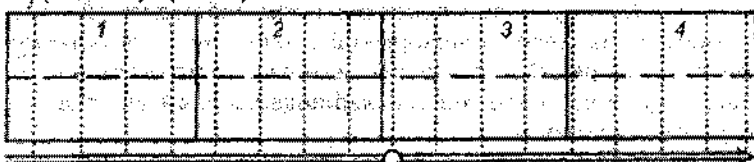
Каждому выбранному наблюдательному участку присваивается постоянный номер, сохраняемый на все годы проведения наблюдений. Если участок в дальнейшем исключается из наблюдений (застроен, затоплен и т. п.), то присвоенный ему номер в последующем не может быть использован для обозначения других участков. Это правило необходимо строго соблюдать, так как только в этом случае возможно формирование баз данных на технических носителях.



a) $(200...400) \times (25...50)$ M



б) $(200...400) \times (25...50)$ M



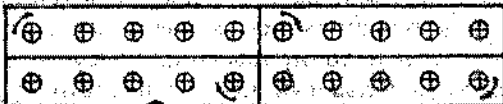
в) $(100...200) \times (50...100)$ M



г) $(100...200) \times (50...100)$ M



3)



Выбранные наблюдательные участки закрепляются на местности, т. е. обозначаются по углам их границы (кучками дерна, колышками, посадкой высокорослых растений и т. п.), составляются *план и описание*. На схематическом плане общепринятыми в топографии условными обозначениями отмечаются местоположение метеорологической площадки, контуры основных сельскохозяйственных угодий, лесонасаждений, населенных пунктов, дороги, водоемы, наблюдательные участки, почвенные разрезы. План расположения наблюдательных участков составляется, как правило, в масштабе 1:20 000 или 1:25 000. Для этого используется лист бумаги или кальки размером 50 × 50 см.

В описании наблюдательных участков, составляемом по форме таблицы ТСХ-4, указываются: краткая характеристика хозяйства в целом и сведения по каждому наблюдательному участку. В краткой характеристике хозяйства указываются: рельеф местности, общая площадь землепользования хозяйства и площадь сельскохозяйственных угодий в севооборотах (полевом, кормовом и овощном), а также угодий, занятых сенокосами и пастбищами. Сведения по каждому наблюдательному участку включают: номер участка, номер поля севооборота, площадь поля, расстояние от метеорологической площадки и относительную высоту (выше или ниже уровня метеорологической площадки) в метрах, местоположение (на склоне, в котловине, в долине и т. д.), крутизну и экспозицию склона, наименование почвы по генетическому и механическому составу, глубину залегания уровня грунтовых вод, номер почвенного разреза, данными которого

Рис. 8.1. Примерные схемы организации наблюдательных участков

а — при удлиненной форме участка, располагаемого по диагонали или вдоль поля; б и в — при прямоугольной и квадратной форме участка на малых полях, когда диагональ поля менее 380 м; г и е — на осушаемых полях, при расстоянии между дренами от 25 до 50 м; ж и з — на осушаемых полях, при расстоянии между дренами менее 25 м; 1, 2, 3, 4 — части наблюдательного участка (повторности); — граница наблюдаемого участка и отдельных его повторностей; — линия маршрута при проведении снегомерной съемки; — дренажное устье коллектора со смотровым колодезём; ... — трассы дрена; Ф — плодовые деревья и ягодные кустарники, выделенные для наблюдений.

Места наблюдений и взятия проб:

Y — для определения фаз развития сельскохозяйственных культур, высоты растений, элементов продуктивности зерновых бобовых и кукурузы в период листоборозования, структуры урожая кукурузы, для учета убранных листьев табака; □ — для определения густоты стояния растений и стеблей, а также структуры урожая зерновых колосовых и бобовых культур; ☉ — для определения массы корнеплодов, клубней и ботвы картофеля, растительного покрова природных кормовых угодий, многолетних и однолетних озимых трав и травосмесей; Г — для определения элементов продуктивности хлебных зерновых культур (кроме кукурузы); ♣ — для определения площади листьев табака и структуры урожая кукурузы в период формирования зерна; * — для определения влажности почвы; (→) — направление перемещения скаканий; о — для наблюдений за почвенными корками; | — для измерения температуры пахотного слоя почвы весной и на глубине залегания узла кущения озимых зерновых культур и корневой шейки многолетних трав зимой, глубины промерзания и оттаивания почвы, высоты снежного покрова; ■ — для определения жизнеспособности озимых зерновых культур и многолетних трав.

следует пользоваться при определении влагозапасов почвы, и другие характеристики; кроме того, указывают ориентиры для нахождения наблюдательного участка на местности. При описании наблюдательных участков на природных кормовых угодьях указываются также наименование, тип и подтип кормового угодья, названия растений-эдикаторов (растений-индикаторов), условия увлажнения и т. п. При описании наблюдательных участков в садах сообщаются сведения о наименовании породы и сорта культуры, количестве выбранных для наблюдения экземпляров, возрасте насаждений и т. п.

После ежегодного закрепления на поле мест наблюдательных участков, отобранных для выполнения плана-задания текущего года по различным сельскохозяйственным культурам, приступают к организации каждого участка для проведения отдельных видов наблюдений на нём. Наблюдательный участок может быть удлинённой или квадратной формы. Для проведения наблюдений территория участка делится на четыре части площадью 0,25 га каждая (рис. 8.1).

На всех частях участка выделяются специальные места для проведения определённого вида наблюдений. Особенно важна специфика закрепления мест повторностей для определения влажности почвы, так как места отбора проб почвы смещаются по участку от первого срока наблюдений к последующим.

На каждом наблюдательном участке места проведения определённого вида наблюдений (визуально, переносными или постоянными приборами) должны быть закреплены специальными вешками-указателями. Вешки необходимо снимать при проведении на участке сельскохозяйственных работ и вновь ставить по их окончании, если наблюдения продолжаются.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Назовите основные принципы агрометеорологических наблюдений.
2. Назовите основные задачи станций и постов при производстве агрометеорологических наблюдений.
3. Для каких целей используется агрометеорологическая информация станций и постов?
4. Чем обеспечивается достоверность результатов агрометеорологических наблюдений на станциях и постах?
5. Какие подразделения Росгидромета проводят агрометеорологические наблюдения?
6. Как распределяется сеть агрометеорологических наблюдений по статусу?
7. Какие виды программ агрометеорологических наблюдений вы знаете и чем они различаются между собой?

8. В каком документе изложен объем наблюдений сетевой наблюдательной организации?
9. Какие полевые книжки для записи агрометеорологических наблюдений вы знаете?
10. Каким требованиям должны соответствовать материалы, подлежащие занесению на технические носители?
11. Как правильно выбрать и организовать наблюдательный участок на поле, в саду, на пастбище?
12. Как составляют „План расположения наблюдательных участков” и „Описание наблюдательных участков”?

Глава 9

ОСОБЕННОСТИ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ФАЗАМИ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ

9.1. Состав, сроки и основные правила наблюдений

Фазами развития сельскохозяйственных культур (растений) являются внешние морфологические изменения, связанные с процессом развития растений. *Наблюдения за фазами развития растений называются фенологическими наблюдениями.*

У каждой сельскохозяйственной культуры на протяжении всего периода развития различают следующие основные фазы: всходы, появление очередных листьев, появление боковых побегов (кущение), рост стебля (стеблевание), появление бутонов и соцветий, цветение, формирование семян и плодов, созревание семян и плодов.

В зависимости от условий произрастания в отдельные годы некоторые фазы развития могут не наступить. Например, при возникновении почвенной засухи после образования 2-го листа зерновые злаковые культуры не кустятся. Это же явление наблюдается при недостаточном освещении основания стебля (загущенные посевы). При сильной засухе у ячменя может не наступить фаза колошения (образовавшийся мелкий колос только частично выходит из влагалища верхнего листа или остается в нем).

Целью фенологических наблюдений является регистрация даты наступления признаков той или иной фазы развития растений. Точность наблюдений зависит от периодичности осмотра растений, правильного понимания наблюдателем признаков наступления фаз и соблюдения методики проведения наблюдений.

Достаточная для агрометеорологических прогнозов и исследований точность наблюдений за развитием растений может быть обеспечена при осмотре наблюдаемых объектов через один день. Для периодической агрометеорологической информации можно пользоваться данными, полученными при осмотре растений два раза в декаду.

При проведении наблюдений через один день обход наблюдательных участков проводится по четным числам, а при наблюдениях два раза в декаду — по четвертым дням (4, 14 и 24-го) и в последний день декады.

Наблюдения за фазами развития растений следует проводить во второй половине дня, а в засушливых районах — в первой. Если

осмотр растений проводится не в указанные сроки, то об этом следует сделать соответствующую запись в книжке КСХ-1м в графе „Примечание”.

Все гидрометстанции и посты, привлеченные к агрометеорологическим наблюдениям, должны иметь *гербарий фаз развития* наблюдаемых культур, который следует хранить постоянно. Гербарий необходимо использовать на занятиях по технической учебе.

Из-за одновременного наступления фаз развития у всех растений для определения степени охвата наблюдаемой культуры той или иной фазой развития с требуемой точностью на наблюдательном участке осматривают, как правило, 40 растений — по 10 растений в четырех местах наблюдательного участка. На участках, занятых плодовыми культурами и хмелем, выбирают 20 постоянных экземпляров растений из числа типичных по своему состоянию — по 5 в четырех частях участка. В отдельных случаях, когда та или иная плодово-ягодная культура, древесные или кустарниковые растения вблизи станции (поста) произрастают в небольшом количестве или если возделываемый сорт является новым и перспективным, но еще мало распространенным, допускаются наблюдения по меньшему числу растительных объектов (вплоть до единичных растений).

Все растения как объекты типовых наблюдений могут быть подразделены на три вида.

1. Многолетние постоянные объекты наблюдений — плодово-ягодные, субтропические культуры, дикорастущие деревья и кустарники. Эти объекты выбираются один раз на много лет наблюдений.

2. Однолетние постоянные объекты наблюдений — растения пропашных, огородных, бахчевых и некоторых зернобобовых культур (бобы конские, горох, соя, люпин), а также растения хмеля. Они выбираются только на каждый конкретный год.

3. Непостоянные объекты наблюдений — растения непропашных зерновых культур, сеяных трав, растения природных кормовых угодий. Выбор этих растительных объектов проводится при каждом (очередном) наблюдении.

Выбранные для наблюдений растения должны быть типичными. Типичными в ранние периоды своего развития считаются такие растения, которые по высоте, числу листьев и общему состоянию характеризуют большинство растений на участке. В более поздние периоды признаками типичности служат степень разветвленности (кустистость), размеры соцветий, колосьев (метелок) и общее состояние растений.

В случае гибели, а также при повреждении выбранных для наблюдения постоянных растений их заменяют другими, типичными по развитию, росту и общему состоянию.

При посещении наблюдательного участка подсчитывают количество растений, вступивших в очередную фазу развития. За *начало фазы (а)* принято считать день ее наступления не менее чем у 10 % растений, а за *массовое наступление фазы (б)* — не менее чем у 50 % растений. Бывают случаи, когда при дружном развитии растений начало и массовое наступление фазы приходится на один и тот же день.

При наблюдении за небольшим количеством экземпляров (например, древесных и кустарниковых пород) охват растений фазой развития отмечают следующим образом: при наблюдениях за пятью экземплярами, если признаки фазы обнаружены у одного экземпляра, то записывают „а“, если у трех экземпляров — записывают „б“ без указания количества растений, вступивших в фазу, и доли охвата (%) фазой развития. При наблюдениях за тремя-четырьмя экземплярами отмечают начало фазы (а), если она обнаружена у одного экземпляра, и массовое ее наступление (б) — если у двух и более растений (без указания количества растений и доли охвата). Если наблюдаются один-два экземпляра, наступление у них фазы развития следует относить к ее началу (а).

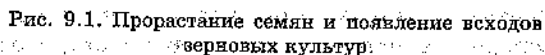
После регистрации фазы у 75 % (или более) растений наблюдения за ней прекращают и подсчеты возобновляют с наступлением новой фазы развития.

9.2. Фазы развития растений и признаки их наступления

Зерновые злаки: рожь, пшеница, ячмень, овес, просо, рис, сорго, чумиза, тритикале. Наблюдаемые фазы развития: прорастание семян (рожь, пшеница, тритикале, ячмень, овес, просо), всходы, 3-й лист, кушение, выход в трубку (стеблевание), появление нижнего стеблевого узла над поверхностью почвы (рожь, пшеница, тритикале, ячмень, овес), колошение (выметывание), цветение (рожь, пшеница, тритикале, сорго), молочная и восковая спелость (рожь, пшеница, тритикале, ячмень, овес, рис), полная спелость. Кроме того, у всех культур, кроме риса, отмечают образование узловых корней, а у озимых культур — прекращение и возобновление вегетации растений.

Прорастание семян отмечается в тот день, когда при осмотре выкопанных 20 семян (по 5 семян в четырех частях наблюдательного участка) не менее чем у 5 семян обнаружены первые корни (рис. 9.1).

Всходы отмечают в тот день, когда в разных местах наблюдательного участка развернутся листочки первых всходов (а). Массовые всходы (б) отмечают в день появления развернувшихся листочков на большей части наблюдательного участка (при рядовом посеве четко обозначаются рядки).



1, 3 и 5 — прорастание семян пшеницы, кукурузы и озимой ржи соответственно; 2, 4 и 6 — появление всходов пшеницы, кукурузы и озимой ржи соответственно; К — кофелепиль; III — шильде

Если осенью при позднем посеве или после длительной засухи ко времени установления температуры ниже 0 °С всходов на участке с озимой культурой не будет, а проростки появились и находятся в виде влагалищного листа (колеоптиль) или в виде пиляда (см. рис. 9.1), то в книжку КСХ-1м необходимо записать: „Колеоптиль” или „Пиляда” и указать, какая стадия этого явления наблюдается — начало (а) или массовое наступление (б). В этом случае посевы ушли в зиму до наступления фазы „всходы”.

Фаза 3-й лист отмечается, когда начинает разворачиваться 3-й лист. При достаточном увлажнении верхнего слоя почвы разворачивание 3-го листа совпадает с началом роста вторичных (узловых) корней.

Образование узловых корней. Для определения этой фазы в четырех частях наблюдательного участка выкапывают по 5 растений, достигших фазы 3-го листа, и, отряхнув землю, тщательно осматривают. Датой наступления этой фазы считается день, когда появление узловых корней отмечено у большинства осмотренных растений.

Кущение считается начавшимся, если кончики первых листьев боковых побегов появились из влагалищ листьев главного стебля. При достаточном увлажнении верхнего слоя почвы начало кущения наблюдается почти одновременно с разворачиванием 3-го листа. Если верхний слой почвы сухой, растения не кустиятся — боковые побеги появляются только после дождей, достаточно увлажнивших почву.

В крайних северных сельскохозяйственных районах, около Полярного круга, кущение яровых хлебов происходит после начала выхода в трубку. Стадия яровизации растений там заканчивается до появления всходов. Световая стадия благодаря круглосуточному освещению начинается вскоре после появления всходов. Поэтому растения выходят в трубку при 2-м или 3-м листе, т. е. до того, как образовались вторичные корни и боковые побеги. Из-за этого боковые побеги у растений в северных районах по сравнению с южными больше отстают в своем развитии от главных побегов.

Озимые зерновые культуры при нормальных условиях увлажнения почвы осенью вегетацию прекращают в фазе кущения. При недостатке влаги они могут уйти в зиму в фазе 3-го листа, всходов или могут не взойти.

Прекращение вегетации озимых зерновых культур. Днем прекращения вегетации озимых зерновых культур считается тот день, начиная с которого в течение пяти дней подряд средняя суточная температура воздуха была ниже 5°C (в южных районах европейской части России — ниже 3°C).

Возобновление вегетации озимых культур отмечается весной после схода снега, когда появляются свежие, еще не развернувшиеся листочки; старые сохранившиеся листья выпрямляются и становятся упругими. Признаки фазы возобновления вегетации обычно заметны, когда максимальная температура воздуха превысит 5°C . Эта фаза отмечается одной датой при появлении признаков отращения у большинства растений на участке.

Выход в трубку (стеблевание). Под выходом в трубку понимается начало роста стебля, т. е. начало удлинения нижнего междоузлия соломины, расположенного над узлом кущения. К этому времени происходит образование зачаточного колоса с заложенными на нем зачатками колосков.

Выход в трубку следует считать начавшимся, если нижний узел стебля приподнят на 3...5 мм над узлом кущения, а на верхушке стебля обнаруживается видимый в лупу с 10-кратным увеличением зачаточный колос (размером 1...2 мм) с первыми колосковыми булорками (рис. 9.2).

На большей части территории России яровые хлебные злаки (пшеница, ячмень, овес) вступают в фазу стеблевания одновременно

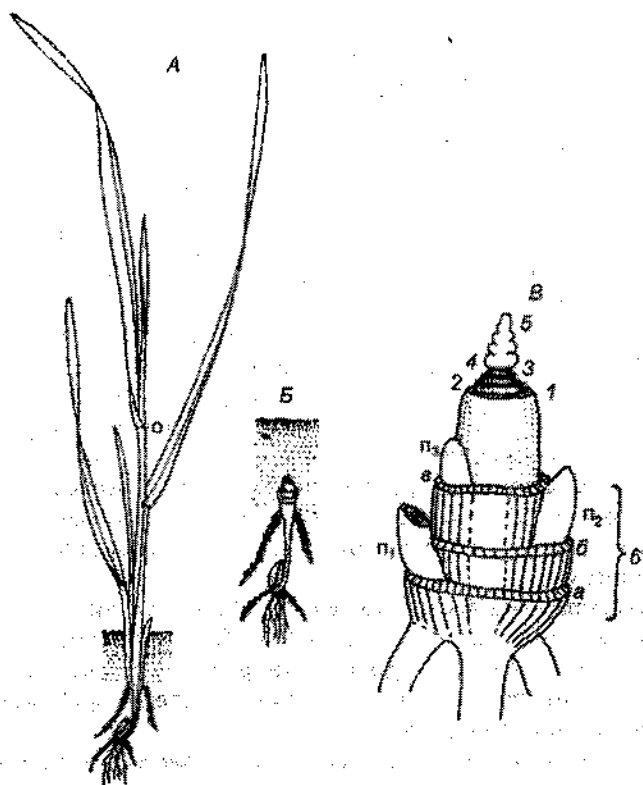


Рис. 9.2. Яровая пшеница. Фаза выхода в трубку

А — общий вид растения, вышедшего в трубку в начале разворачивания 4-го листа (о — отгиб 3-го листа); Б — растение после удаления листьев (показано положение зачаточного стебля под поверхностью почвы); Б' — то же при увеличении: 1—4 — узлы соломки; 5 — зачаточный колос с первыми колосковыми бугорками; 6 — узел кушения; а, б, в — базальные стеблевые узлы (оставшиеся под поверхностью почвы), с тремя побегами п, п₁, п₂

с появлением 3-го или 4-го листа, на юге — одновременно с появлением 5-го листа, а иногда и 6-го.

В засушливых условиях выход в трубку яровых хлебов даже в южных широтах может наступить с появлением 3-го листа. Обильное увлажнение в начале развития яровых хлебных злаков (пшеницы, овса, ячменя) задерживает переход растений к стеблеванию.

Около Северного полярного круга яровые хлеба могут начать трубкование с появлением 2-го листа. В средней полосе, около широты 55°, поздние посевы яровых хлебов, у которых всходы появляются в середине июня, выходят в трубку обычно с появлением 3-го

листа. В горных местностях южных шпирот начало стеблевания также возможно с появлением 3-го листа.

Наступление фазы выхода в трубку у озимых растений, сохранивших после перезимовки листья, происходит обычно вскоре после возобновления вегетации. В случае же значительной потери образовавшихся осенью листьев эта фаза наступает после появления весной двух-трех новых листьев. Таким образом, при хороших результатах перезимовки озимых за наступлением фазы выхода в трубку необходимо следить начиная с возобновления вегетации, а при значительной потере листьев — после появления первых новых листьев. Для этой цели при каждом осмотре в четырех частях участка выкапывается по 2...3 растения (всего 10), имеющих первые новые листья (независимо от их числа). Затем у всех образцов отделяются главные стеблевые побеги (наиболее развитые). У самого их основания последовательно с помощью иглы удаляют все листья, подрезая их в месте прикрепления. Удлинение нижнего междоузлия на 3...5 мм будет указывать на наступление фазы. При этом в лупу хорошо виден зачаточный колос с заложившимися колосковыми бугорками.

При наступлении фазы выхода в трубку растения имеют высоту (до отгиба верхнего листа) от 5 до 12 см. Поэтому, когда высота растений достигает 4 см, при проведении фенологических наблюдений надо быть очень внимательным, чтобы вовремя зарегистрировать дату наступления этой фазы.

Появление нижнего стеблевого узла соломины над поверхностью почвы. Узел обнаруживается путем прощупывания на главном стебле утолщения на высоте около 0,5 см над поверхностью почвы.

Признаком фазы *колошения* (*выметывания*) служит появление колоса (метелки) из влагалища верхнего листа.

Цветение. У ржи (озимой и яровой), тритикале и сорго признаком начавшегося цветения является раскрытие цветковых чешуй и появление снаружи их пыльников (рис. 9.3).

Если цветение пшеницы происходит в пасмурную погоду с большой влажностью воздуха и при пониженной температуре, то цветковые чешуй не раскрываются, пыльники наружу не выходят и пыльца из них высыпается непосред-

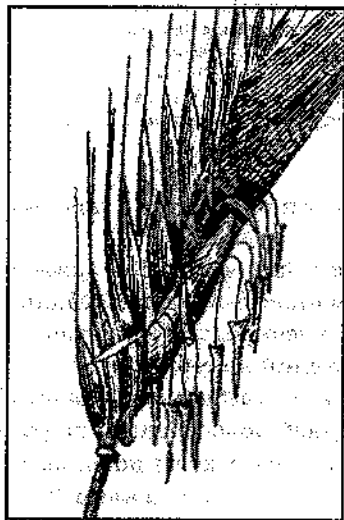


Рис. 9.3. Озимая рожь. Фаза цветения

ственно на пестик. Чтобы обнаружить наступление фазы цветения, надо отделить колосок из средней части колоса главного стебля и раздвинуть цветковые чешуи с помощью иглы или булавки; если пыльники окажутся лопнувшими, цветение следует считать наступившим. В солнечную, теплую погоду цветковые чешуи пшеницы раскрываются, и пыльники бывают видны снаружи цветков, что и служит признаком начавшегося цветения.

Фаза цветения у овса, ячменя, проса, чумизы и риса не отмечается. О наступлении этой фазы с достаточным приближением можно судить по массовому колошению (выметыванию), так как начало цветения этих злаков почти совпадает с массовым появлением колоса или метелки.

Молочная спелость. Признаки молочной спелости следующие: зерно в длину достигает почти такого же размера, что и окончательно сформировавшееся, причем у пшеницы оно к этому времени по длине занимает всю полость внешней цветковой чешуи; зерно имеет зеленую окраску; при сжатии его между пальцами оболочка лопается и содержимое выдавливается наружу: у овса и риса — в виде жидкого „молочка“, у пшеницы — в виде более густой жидкости молочного цвета. У ржи, тритикале и ячменя содержимое зерна выдавливается из оболочки целиком, имеет желтоватый цвет и по консистенции похоже на вареный некрутой белок. В начале этой фазы растения еще зеленые, пожелтение бывает лишь у нижних стеблевых листьев.

Восковая спелость. Одним из признаков окончания формирования зерна и наступления фазы восковой спелости у ржи, пшеницы, тритикале и ячменя является изменение зеленой окраски колоса на желтую (у некоторых сортов пшеницы — на бурую или иного цвета) и пожелтение листьев.

Зерно, завершившее свое развитие, желтеет одновременно с пожелтением колоса, теряет упругость, мнется, при надавливании ногтем на его оболочке остается незаплывающий след; содержимое зерна с трудом выдавливается из оболочки и легко, почти без прилипания к пальцам, скатывается в шарик. Эти признаки надо определять по зернам в средней части колосов.

Полное пожелтение зерна и его восковая консистенция являются основным признаком наступления фазы восковой спелости.

При определенных условиях потеря колосом зеленой окраски происходит преждевременно. При повреждении заморозками, суховеями, засухой, при сильном поражении ржавчиной и т. п. зерно, подсыхающее в пожелтевшем колосе, оказывается щуплым. Степень щуплости зависит от того, на каком этапе формирования зерна произошло повреждение. Щуплость может быть вызвана также усиленным расходом накопленных в зерне веществ на дыха-

ние, если при наступлении восковой спелости на долгое время устанавливается теплая дождливая погода (явление „истекания” зерна).

Полная спелость. При наступлении полной спелости зерно становится твердым и раскалывается, если на него надавить ножом. При скашивании хлебов в восковой спелости (раздельная уборка) наступление полной спелости отмечается в валках.

Кукуруза. У кукурузы начальные и завершающие фазы развития (прорастание семян, всходы, молочная, восковая и полная спелость) отмечаются по признакам, описанным выше для зерновых культур.

Появление очередных листьев. Необходимость наблюдений за появлением листьев объясняется тем, что количество листьев служит признаком скороспелости сорта. У раннеспелых сортов образуется 10...11 листьев, у позднеспелых — более 19.

Начиная с 3-го листа отмечается появление каждого следующего нечетного листа: 5, 7, 9-го и т. д. Признаком наступления фазы служит появление развернутой верхушки его листовой пластинки из влагалища предыдущего листа.

Кроме наблюдений за появлением каждого нечетного листа, один раз за вегетационный период (по указанию ЦГМС) проводится определение числа не вышедших наружу листьев, показывающее, сколько листьев должно появиться до выметывания метелки (эта информация необходима для составления прогноза даты выметывания метелки). Техника определения не вышедших наружу листьев состоит в следующем. На участке отбирается 10 растений, близких по высоте и облиственности к наблюдаемым 40 растениям. Отобранные растения срезаются под корень. У них обрезаются все вышедшие листья, затем продольным разрезом стебель делится на две неравные части (разрез стебля делается снизу вверх); меньшая, боковая часть стебля (примерно $1/3$) отрезается так, чтобы не повредить конус нарастания, находящийся в центре (на оси) стебля.

После удаления боковой части стебля хорошо видны не вышедшие наружу листья, окружающие конус нарастания. Эти листья подрезаются у основания и последовательно снимаются, пока не обнаружится метелка, заложенная в конусе нарастания. Число не вышедших наружу листьев подсчитывается по каждому из 10 растений и затем выводится их среднее число, приходящееся на одно растение.

Выметывание метелки завершает период листообразования кукурузы. Признаком выметывания служит появление верхней части метелки из влагалища последнего листа. При неблагоприятных условиях, предшествующих выметыванию (при засухе, очень высоких или низких температурах), рост верхних, еще не вышедших, листьев и соответствующих им междоузлий стебля происходит за-

медленно. Вследствие этого верхушка метелки выдвигается из влагалища раньше, чем верхушка последнего листа.

Цветение метелки отмечается по появлению пыльников из цветков на главной ветви метелки.

Цветение початка отмечается по появлению из обертки початка нитевидных столбиков, несущих рыльце. В зависимости от агрометеорологических условий продолжительность периода от выметывания метелки до появления нитей может изменяться от 1 до 10 дней и более.

Картофель. У картофеля отмечаются следующие фазы: всходы, появление боковых побегов, появление соцветий, цветение, конец цветения и увядание ботвы. В названии перечисленных фаз содержатся признаки их наступления, поэтому дополнительных разъяснений не требуется. Укажем лишь, что фаза увядания ботвы может наступить до завершения вегетации вследствие повреждений заморозками, засухой или болезнями. В этом случае указывается причина преждевременного увядания.

Корнеплоды (сахарная свекла, столовая свекла, кормовая свекла, морковь, турнепс и др.). У корнеплодов отмечаются следующие фазы развития: всходы, первая пара настоящих листьев (1-й настоящий лист), вторая пара настоящих листьев (3-й настоящий лист), третья пара настоящих листьев (5-й настоящий лист), начало утолщения корнеплода. Кроме того, отмечаются: смыкание растений в рядах, закрытие междурядий и пожелтение наружных листьев (когда каждое из этих явлений наступит на большей части наблюдательного участка).

Несмотря на то что листья у корнеплодов образуются попарно, они располагаются не супротивно парами, а несколько раздельно, поодиночке. Поэтому признаком наступления фаз первой, второй и третьей пар настоящих листьев считается появление 1, 3 и 5-го настоящих листьев соответственно.

Признаком наступления фазы начала утолщения корнеплода является увеличение диаметра корнеплода в наиболее широкой части до 3...5 мм и появление продольных трещин на кожуре корнеплода.

Овощные и бахчевые культуры (огурец, кабачок, патиссон, помидор, капуста, баклажан, перец, арбуз, дыня и др.). У овощных и бахчевых культур отмечаются даты появления всходов, 1-го настоящего листа, 3-го настоящего листа, появления боковых побегов (у помидора, баклажана, перца), появления бутонов (у помидора — соцветий), цветения и созревания плодов (или съемная спелость, когда плоды убираются до наступления биологической зрелости). Пояснения требует только фаза „созревание“. Если плоды собирают до созревания (при съемной спелости), то дата созревания плодов не

указывается, а отмечается только дата сбора плодов. Это прежде всего относится к таким культурам, как огурец, кабачок, патиссон. Признаком созревания тыквы, арбуза и дыни является подсыхание плодоножки.

У помидора отмечают три вида спелости: зеленая, бланжевая, полная. *Зеленая спелость* — плоды на кисти первого порядка достигли нормального, свойственного данному сорту размера; цвет плодов зеленовато-белый, семенные камеры заполнены жидкостью (плацентой), что определяется путем разрезания плода. *Бланжевая спелость* — первые плоды приобрели желтовато-бурую окраску, при дозревании не теряют своих вкусовых качеств и пригодны к транспортировке. *Полная (биологическая) спелость* — плоды приобрели окраску, свойственную данному сорту, и пригодны к непосредственному употреблению в пищу.

Если растения овощных культур высажены рассадой, то при посадке необходимо отметить дату посева семян в парники или теплицы, срок высадки рассады в поле и на наблюдательном участке, а также фазу развития, в которой находятся высаживаемые растения. После того как высаженные растения начнут образовывать новые листья, в четырех частях участка на рядах отмеряют по 10 м и подсчитывают количество высаженных и прижившихся растений.

У капусты кочанной отмечают фазы: всходы, 1-й настоящий лист, 3-й настоящий лист, завивание кочана и техническая спелость. *Завивание кочана* определяется по образованию вокруг точки роста головки из плотно завитых листьев. Признаки наступления *технической спелости*: у ранних сортов сформировавшиеся кочаны стали плотными (не мнутся), у поздних — покровные листья побелели.

Сеяные травы. Сеяные травы подразделяют на однолетние и многолетние. Многолетние травы, произрастающие в год посева, называют травами первого года жизни, в последующие годы — травами 2-го, 3-го и т. д. годов жизни.

Однолетние сеяные травы в основном относятся к двум семействам — злаковые и бобовые. У злаковых (суданская трава, могар, райграс однолетний, африканское просо и др.) отмечают следующие фазы: всходы, 3-й лист, кущение, колошение (выметывание), цветение, созревание семян. Признаки их наступления те же, что и у зерновых культур. У бобовых (люпин, вика яровая, сераделла и др.) отмечают фазы: всходы, 3-й настоящий лист, появление соцветий, начало цветения, созревание семян. Признаки наступления фазы созревания семян — пожелтение (побурение, почернение) первых бобов, семена в них приобрели свойственную данному сорту окраску.

У *сеяных многолетних злаковых трав* (тимopheевка луговая, овсяница луговая, ежа сборная, костер безостый, житняк и др.) в первый год жизни отмечаются те же фазы, что и у однолетних злаковых трав. У *сеяных многолетних бобовых трав* (клевер, люцерна, эспарцет, лядвенец рогатый, донник, козлятник восточный и др.) в первый год жизни отмечаются фазы: всходы, купание (клевер), начало роста стебля, появление боковых побегов (люцерна, донник, эспарцет, козлятник), появление соцветий, цветение, созревание семян. Кроме того, у всех многолетних трав первого года жизни отмечается дата прекращения вегетации (дата устойчивого перехода температуры воздуха осенью через 3°C). На второй и в последующие годы жизни у злаковых и бобовых многолетних трав отмечаются следующие фазы: возобновление вегетации, начало роста стебля или цветоноса (бобовые), появление боковых побегов (люцерна, эспарцет, донник, козлятник восточный), колошение (выметывание метелки) (злаковые), появление соцветий (бобовые), цветение, созревание семян, прекращение вегетации.

Природные кормовые угодья. Фенологические наблюдения на природных кормовых угодьях (пастбищах и сенокосах) проводят по двум-трем видам трав, преобладающих в травостое (растениям-эдификаторам), из числа злаковых, бобовых и разнотравья. Наблюдаемые фазы здесь те же, что и у сеяных многолетних трав второго и последующих лет жизни.

После укуса сеяных однолетних и многолетних трав, трав природных кормовых угодий, а также после стравливания первой наблюдаемой фазой будет фаза отрастания. Следующей фазой у злаковых будет колошение (выметывание метелки), у бобовых — появление соцветий. Последующие фазы — те же, что и на скашиваемых травах.

Плодовые культуры (яблоня, груша, слива, вишня, черешня, абрикос, персик, смородина, крыжовник, малина и др.). У плодовых культур отмечается наступление следующих фаз развития.

Набухание почек отмечается в тот день, когда на чешуйках почек вследствие начала их роста появляются более светлые полосы или уголки на верхушках почек. У косточковых и семечковых эти признаки раньше обнаруживаются на плодовых почках, чем на ростовых; у яблочных культур заметных различий в этот период между плодовыми и ростовыми почками нет. *Распускание почек* регистрируется в день, когда между раздвинувшимися чешуйками обнаруживаются верхушки бутонов или свернутые в трубку листочки околоплодной розетки, или листочки и бутоны одновременно (рис. 9.4). Признаком наступления фазы *распускания первых листьев из ростовых почек* является развертывание из ростовых почек первых листочков, фазы *появления соцветий* — появление за-



Рис. 9.4. Распускание почек

1 — плодовая почка миндаля; 2 — ростовая почка черной смородины; 3 — плодовая почка яблони; 4 — ростовая почка яблони; 5 — плодовая почка груши; 6 — плодовая почка вишни; 7 — плодовая почка абрикоса; 8 — ростовая почка абрикоса.

чатков бутонов в пазухах листьев (отмечается только у малины), фазы *обособления бутонов* — обособление бутонов друг от друга и появление лепестков из-под чашелистиков (эта фаза отмечается только у яблони и груши). *Цветение* отмечается, когда распускаются первые цветы, *конец цветения* — когда лепестки большинства цветков на дереве (кусте) засохли или осыпались. Признаком наступления фазы *формирования (роста) плодов* является: у косточковых (абрикос, вишня, слива и др.) — разрыв околоплодника растущей завязью; у семечковых (яблоня, груша и др.) — момент, когда средний диаметр плода достигает примерно 1,5 см. *Созревание плодов* у косточковых и ягодных отмечается, когда плоды становятся мягкими и приобретают цвет, свойственный данному сорту. У семечковых созревшие плоды приобретают характерную окраску и легко отделяются от плодушек. *Осеннее расцвечивание листьев* отмечают в день, когда не менее чем у 50 % наблюдаемых растений большая часть листьев приняла осеннюю окраску, *листопад* — когда не менее чем у 50 % растений опали почти все листья.

Дикорастущие растения. Наблюдения ведутся за дикорастущими древесными, кустарниковыми и травянистыми растениями, у

древесных и кустарниковых растений отмечаются следующие фазы: начало сокодвижения (у березы и клена), начало распускания листовых почек (шиповник, жимолость), разворачивание первых листьев (у хвойных пород — зеленение), цветение, созревание (у березы, вяза, голубики, дуба, клена, малины, осины, рябины, тополя), осеннее расцвечивание листьев (у березы, дуба, клена, липы, лиственницы), листопад (шиповник), окончание листопада (у березы, клена, лиственницы). Признаки наступления фаз — те же, что и у плодовых; пояснения требуют только некоторые фазы.

Сокодвижение считается начавшимся, если через минуту после укола ствола дерева шилом из отверстия появляется капля сока. Признаки *зеленения* у хвойных пород: у лиственницы — хвоя, вышедшая из почек, имеет вид пучков, у сосны — сидящие попарно на молодом побеге хвоинки на концах начинают отходить друг от друга. У растений, опыляющихся ветром (тополь, осина, сосна, лиственница, дуб и др.), *цветение* отмечается, когда при встряхивании веток осыпается пыльца. Признаки *созревания*: у березы и вяза — под кроной дерева появились первые опавшие плоды; у дуба — желуди, имеющие окраску зрелых, легко отделяются от плюски; у клена — отдельные плоды полностью побурели, разъединились на две крылатки и каждая повисла отдельно; у осины и тополя — начался „лёт пуха“.

У дикорастущих *травянистых растений* отмечаются следующие фазы: начало цветения (у всех трав, кроме пушицы), массовое цветение (иван-чай, донник, цикорий), появление пуховок (пушица), начало созревания ягод (морошка), полное созревание (морошка). За дату *массового цветения* принимается та дата, в которую более половины цветков в соцветиях полностью раскрылись. Отмечается одной датой без подсчета доли охвата. *Появление пуховок* — появились первые пуховки. Отмечается одной датой при появлении пуховок у 10 % растений. *Начало созревания ягод* морошки — ягоды приобрели красноватую окраску. *Полное созревание* ягод морошки — ягоды приобрели желтоватую окраску и начали размягчаться, стали сладкими.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Может ли нарушаться очередность наступления фаз развития растений? Приведите примеры.
2. Назовите примеры фаз развития растений, которые при определенных условиях могут не наступить (случай гибели растений не рассматривается).
3. От чего зависит точность фенологических наблюдений?

4. Составьте гербарий фаз развития какой-нибудь сельскохозяйственной культуры.
5. Назовите три вида объектов фенологических наблюдений на сельскохозяйственных полях и природных кормовых угодьях в зависимости от правил их выбора.
6. Сколько растений осматривается при проведении фенологических наблюдений?
7. По каким признакам выделяются типичные растения?
8. Когда отмечаются даты: начало наступления (а) и массовое наступление (б) фазы развития растений?
9. Назовите фазы развития зерновых злаковых культур, картофеля, свеклы, плодовых культур.
10. Каковы особенности регистраций фазы „созревание” у овощных культур?
11. Назовите характерные признаки наступления фаз развития растений.
12. Проведите фенологические наблюдения за сельскохозяйственными культурами и дикорастущими растениями и занесите результаты наблюдений в таблицу 108 книжки РСХ-1м.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОДУКТИВНОСТИ И СТРУКТУРЫ УРОЖАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Определение элементов продуктивности сельскохозяйственных культур, как правило, является трудоемкой работой, требующей специальных знаний и опыта. Получаемая информация используется для определения количественной оценки состояния сельскохозяйственных культур, для оценки видов на урожай, для составления прогнозов средней областной урожайности и т. п. Так, в период от появления нитей початка до наступления фазы молочной спелости при определении оценки состояния посевов кукурузы учитывается среднее количество початков на одном растении. В фазе молочной спелости оценку состояния посевов определяют по среднему количеству початков и озерненности початка. При составлении прогнозов средней областной урожайности озимой и яровой пшеницы в субъектах РФ Северного Кавказа, Поволжья, Южного Урала, Западной Сибири, Алтая чаще всего используется такой параметр, как количество развитых колосков в колосе.

Знания элементов продуктивности, входящих в показатели структуры урожая, позволяют сделать количественный и качественный анализ влияния погоды на продуктивность сельскохозяйственной культуры и качество урожая. Так, при одинаковой урожайности картофеля в один год клубней может заложиться много, но к моменту уборки они могут оказаться мелкими, а в другой — наоборот, клубней будет мало, но они будут крупные. Это определяется тем, как менялась погода на протяжении вегетационного периода.

10.1. Элементы продуктивности

Зерновые колосовые культуры (рожь, пшеница, тритикале, ячмень, овес, рис). В программу наблюдений за формированием элементов продуктивности зерновых колосовых культур входят определения количества колосков в колосе (метелке) и количества зерен в колосе.

Количество колосков в колосе у ржи, пшеницы (озимой и яровой) и тритикале подсчитывается в три срока: после появления над поверхностью почвы нижнего узла соломины, одновременно с опре-

делением густоты стеблестоя в фазу колошения и при массовом наступлении молочной спелости. У ячменя, риса и овса количество колосков в колосе (метелке) подсчитывают один раз — одновременно с определением густоты стеблестоя в фазу колошения (выметывания). В первый срок на наблюдательном участке выкапывается 10 типичных растений и на них подсчитывают количество колосков в колосьях главных стеблей. Во второй и третий сроки на каждой повторности у типичных растений срезается по 10 стеблей (всего 40) без выбора (главные и боковые). В каждом колосе (метелке) подсчитывается количество развитых и недоразвитых колосков.

Количество зерен в колосе подсчитывается только у пшеницы, ржи и тритикале при наступлении молочной спелости. Для этого используются те же колосья, у которых подсчитывалось количество колосков в колосе.

Гречиха. Ежедекадно (в 8...9-й день), начиная с третьей декады после массового наступления фазы цветения и до полной спелости или уборки, подсчитывается количество образовавшихся зерен на растениях. Для этого в четырех частях наблюдательного участка выкапывается по 10 плодonoсящих растений гречихи без выбора (подряд). Затем подсчитывается количество зерен путем отрыва тех завязей, у которых прощупывается ядро зерна.

Кукуруза. В период листообразования продуктивность кукурузы определяется по массе растений. Масса растений определяется в последний день декады, начиная с появления 9-го листа, до появления последнего листа, а также при массовом наступлении фазы выметывания метелки. Для этого измеряются высота и диаметр стебля в нижней его части тех же 40 растений, которые закреплены для наблюдений за фазами развития. Масса растений определяется по значениям этих параметров с помощью приложения 39 Наставления, вып. 11, ч. I.

В период от наступления фазы цветения початка до фазы молочной спелости в последний день каждой декады подсчитывается количество сформировавшихся початков у каждого из 40 наблюдаемых растений. Сформировавшимся считается такой початок, у которого из обертки показались нитевидные столбики.

Определение продуктивности кукурузы в период формирования зерна производится один раз в фазе молочной спелости. Для этого в двух частях наблюдательного участка (первой и третьей) вблизи растений, закрепленных для наблюдений за фазами развития, срезается по пять растений, типичных по высоте, диаметру стебля и числу початков, т. е. подобных тем, за которыми ведутся постоянные наблюдения. У каждого из срезаемых растений определяются: высота главного стебля, диаметр главного стебля в приземной части (с точностью до 1 мм), масса растения (с точностью до 5 г), количе-

ство початков на главном стебле, количество боковых стеблей, количество початков на боковых стеблях, масса початков главного стебля без обертки (с точностью до 1 г), количество зерен в одном из продольных рядков початка, количество продольных рядков в початке, количество зерен в початке (как произведение средних значений количества зерен в продольном рядке и количества продольных рядков в початке).

Массы растений и початков определяются путем взвешивания с точностью до 5 и 1 г соответственно.

Урожайность растительной массы в фазе молочной спелости определяется умножением среднего значения массы растения, полученного по результатам взвешиваний, на количество растений на единице площади.

Урожайность початков кукурузы Y_n (т/га) вычисляется по формуле

$$Y_n = \frac{M_n N_n N_p}{10\,000}, \quad (10.1)$$

где M_n — среднее значение массы одного початка, г; N_n — среднее количество початков на главном стебле; N_p — среднее количество растений на 100 м².

10.2. Структура урожая

Структура урожая — это элементы продуктивности, определенные в период созревания сельскохозяйственной культуры или перед уборкой урожая.

Зерновые культуры (рожь, пшеница, тритикале, ячмень, овес, просо, рис, гречиха). Структура урожая гречихи определяется при массовом наступлении фазы созревания, проса — после наступления фазы полной спелости, других зерновых культур — после наступления фазы восковой спелости у 100 % растений (при раздельной уборке урожая — перед началом уборки).

В структуру урожая входят следующие показатели: высота растений, количество стеблей (у гречихи — растений) с озерненным колосом (метелкой) на 1 м²; количество колосьев, пораженных болезнями и вредителями, %; количество колосков в колосе (метелке) колосовых культур (по решению ЦГМС); масса зерна с 1 м², г; продуктивность колоса (метелки, растения гречихи), г; масса 1000 зерен, г; количество зерен в колосе (метелке или на растении гречихи); количество пустых зерен, %; интенсивность полегания, баллы, и площадь полеглых посевов, %; фактическая урожайность зерна на поле и в хозяйстве, т/га. Эти показатели структуры урожая (кроме

интенсивности полегания и урожайности) определяются на площадках или отрезках рядков, выделенных для подсчета густоты стояния сельскохозяйственной культуры. Средняя высота стеблестоя вычисляется по данным измерений 20 растений без выбора (по 5 в каждой повторности). После подсчета количества продуктивных стеблей (у гречихи — растений), а также количества растений, пораженных вредителями и болезнями, все растения срезаются и обмолачивается зерно (каждой повторности отдельно). Вывеянное зерно каждой повторности взвешивается с точностью до 0,1 г.

Для определения массы 1000 зерен все зерно из четырех повторностей сыпается в один сосуд и тщательно перемешивается. Затем берется проба зерна массой 25 г для проса и 50 г — для остальных зерновых культур. Взятая проба зерно расстилается ровным слоем в виде квадрата, который делится по диагоналям на четыре треугольника. Из каждого треугольника отбирается подряд по 250 зерен. Зерно из двух пар противоположных треугольников объединяются и взвешиваются с точностью до 0,1 г. Взвешенная масса представляет собой массу 1000 зерен. Кроме того, в пробе из 1000 зерен подсчитывается количество щуплых зерен.

Для приведения массы зерна к стандартной влажности определяют влажность зерна. С этой целью зерно, оставшееся после взятия проб для определения массы 1000 зерен, тщательно перемешивается и отбираются четыре пробы объемом около половины весового стаканчика каждая. Эти пробы взвешиваются и высушиваются в термостате при температуре 100...105 °C до постоянной массы. Влажность зерна W в процентах рассчитывается по формуле

$$W = \frac{M_v \cdot 100}{M}, \quad (10.2)$$

где M_v — масса испарившейся воды, г; M — масса зерна в пробе до высушивания, г.

Масса зерна при стандартной влажности рассчитывается по формуле

$$M' = \frac{M_s(100 - W)}{100 - W'}, \quad (10.3)$$

где M' и M_s — масса зерна, г, соответственно при стандартной (W') и фактической (W) влажности, %.

Подставив в эту формулу значение массы зерна до высушивания и значение его влажности, а также значение стандартной влажности, вычисляют массу зерна из четырех повторностей (которая пересчитывается на 1 м²) и массу 1000 зерен, приведенные к стандартной влажности.

Среднее количество зерен в колосе (метелке) N_s определяется по формуле

$$N_s = \frac{M'_k \cdot 1000}{M'_{1000}}, \quad (10.4)$$

где M'_k и M'_{1000} — продуктивность колоса (средняя масса зерна одного колоса или метелки) и масса 1000 зерен соответственно, приведенные к стандартной влажности.

Чтобы рассчитать количество щуплых зерен в процентах, необходимо общее количество щуплых зерен в двух пробах для определения массы 1000 зерен разделить на 10.

Разделив количество растений (колосьев, метелок) в четырех повторностях, пораженных болезнями и вредителями, на их общее количество и умножив на 100, определяют количество растений (колосьев, метелок) в процентах, пораженных вредителями и болезнями.

Кукуруза. Структура урожая кукурузы определяется перед уборкой урожая по растениям, закрепленным для наблюдений за фазами их развития. Если уборка кукурузы проводится в период листообразования, в фазы выметывания или цветения метелки, то срезаются 40 закрепленных для наблюдений растений и у них определяются: высота растения, диаметр главного стебля, масса главного стебля (по приложению 39 Наставления, вып. 11, ч. I), масса растения фактическая (с боковыми стеблями), количество боковых стеблей.

При уборке кукурузы в период от цветения початка до наступления восковой спелости структура урожая определяется по 20 закрепленным растениям (по 5 растений в каждой повторности) так же, как и при определении продуктивности кукурузы в фазе молочной спелости (см. раздел 10.1).

При уборке кукурузы в фазе восковой спелости и позже структура урожая определяется по зерну. При этом определяются следующие параметры: количество продуктивных растений на 100 м^2 , масса зерна с 1 м^2 , продуктивность початка, масса 1000 зерен, количество зерен в початке, высота растений, а также урожайность зерна на поле и в хозяйстве.

Количество продуктивных (озерненных) початков определяется на 20 растениях (по 5 в каждой повторности), закрепленных для проведения фенологических наблюдений. С указанных растений срезаются початки и обмолачивается зерно. После его взвешивания рассчитывается масса зерна, убранного с 1 м^2 . Для этого необходимо массу зерна всех початков разделить на 20 и результат умно-

жить на количество продуктивных растений на 1 м^2 , рассчитанное с точностью до второго знака после запятой.

Так же, как и у других зерновых культур, определяются влажность зерна и масса 1000 зерен. Для определения массы 1000 зерен отбирается проба зерна, равная 500 г. Масса зерна с 1 м^2 и масса 1000 зерен приводятся к стандартной влажности. Для определения средней продуктивности початка необходимо массу зерна с 1 м^2 разделить на количество продуктивных стеблей на 1 м^2 , умноженное на среднее количество продуктивных початков на главном стебле.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. В какие сроки определяются элементы продуктивности гречихи, кукурузы, зерновых колосовых и зернобобовых культур?
2. Какие агрометеорологические параметры определяются при наблюдениях за элементами продуктивности названных выше культур?
3. Когда определяется структура урожая кукурузы, других зерновых и зернобобовых культур?
4. Значения каких агрометеорологических параметров регистрируются при определении структуры урожая кукурузы, других зерновых и зернобобовых культур?
5. Расскажите о методике определения элементов продуктивности гречихи, кукурузы, зерновых колосовых и зернобобовых культур.
6. Расскажите о методике определения структуры урожая кукурузы, других зерновых и зернобобовых культур.
7. В какие таблицы записываются результаты наблюдений за элементами продуктивности и структуры урожая сельскохозяйственных культур?
8. Подсчитайте количество колосков в колосе, количество зерен в колосе, метелке, початке.
9. Определите массу 1000 зерен одной из зерновых культур.
10. Определите влажность зерна.
11. Приведите массу зерна с 1 м^2 к стандартной влажности.
12. Рассчитайте среднее количество зерен в колосе (метелке).

МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПАРАМЕТРАМИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

Состояние сельскохозяйственных культур характеризуется качественными и количественными показателями, зависящими от возраста растений, условий произрастания и биологии культуры. Наиболее общими и важными параметрами состояния сельскохозяйственных культур являются: густота растительного покрова, высота растений, фитомасса, жизнеспособность зимующих культур в зимний период.

11.1. Определение густоты стояния растений и густоты стеблестоя

Густота стояния растений и густота стеблестоя — это количество растений и стеблей соответственно на единице площади. Урожайность сельскохозяйственных культур в значительной степени определяется густотой стояния растений или продуктивным стеблестоя. Увеличение густоты посева до определенного предела, ограничиваемого критическим количеством света, воды и питания растений, сопровождается ростом урожайности. На слишком загущенных посевах растения испытывают угнетение из-за недостатка света, влаги или минерального питания. Чаще всего лимитируют рост растений сразу два фактора, а иногда и все три одновременно. Причем воздействие каждого из факторов на растение можно описать параболой, т. е. растение комфортно себя чувствует при определенном значении фактора. Заниженное или избыточное значение приводит к угнетению растения.

Густота стояния не кустящихся видов растений (подсолнечник, чеснок, капуста и т. д.) в течение вегетационного периода (если не происходит их повреждения) меняется мало. Поэтому после всходов (высадки рассады) таких культур часто бывает достаточным произвести одно определение их густоты. У кустящихся видов растений густота стеблестоя постоянно меняется и за вегетационный период ее следует определять несколько раз. Рассмотрим, как меняется динамика стеблестоя у ярового ячменя, по материалам исследований А. П. Федосеева и А. Д. Пасечнюка.

Густота стеблестоя зависит от нормы посева, биологических особенностей сорта, погодных условий, почвенного плодородия и агротехники возделывания сельскохозяйственной культуры.

Норма посева в процессе роста растений оказывает влияние на изменение условий освещения основания стебля. Если посадить одно растение и обеспечить ему в оптимуме все факторы, оно будет куститься до колошения. Растения, произрастающие при этих же условиях, но при норме посева 350...500 всхожих семян на 1 м^2 , перестанут куститься при появлении нижнего узла соломины над поверхностью почвы. В этот период у основания стебля, откуда появляются побеги кущения, условия освещения окажутся критическими. Если же посеять ячмень нормой 2000 всхожих семян на 1 м^2 , то только на незначительном количестве растений (раньше взошедших) образуется один побег кущения. В посевах нормальной густоты растения, поздно взошедшие и оказавшиеся в нижнем ярусе (подсед), не образуют побегов кущения даже в оптимальных условиях водного и пищевого режимов. Точно так же формируется и вторичная корневая система.

Теперь рассмотрим влияние погодных факторов. Максимальная густота стеблестоя у ячменя при достаточной влагообеспеченности растений обычно бывает через декаду после выхода растений в трубку, т. е. примерно совпадает с датой появления нижнего узла соломины над поверхностью почвы (рис. 11.1, тип 2). С повышением температуры при переходе от весны к лету происходит гибель побегов, которая может продолжаться почти до фазы полной спелости, но во второй половине вегетации (после колошения) менее интенсивно, чем в первой.

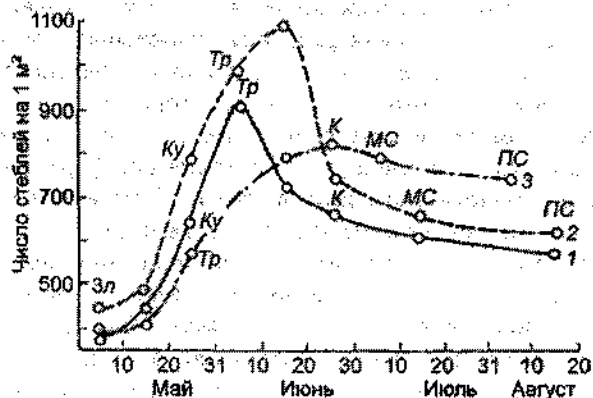


Рис. 11.1. Динамика стеблестоя ячменя при различных метеорологических условиях (1, 2, 3) вегетационного периода. Лесная зона

Зл — третий лист; Ку — кущение, Тр — выход в трубку, К — колошение, МС — молочная спелость, ПС — полная спелость

Более ранний максимум густоты стеблестоя наступает в годы, когда после начала кушения наступает засушливый период: резко повышаются температура и недостаток насыщения воздуха, прекращаются осадки (рис. 11.1, тип 1). При этом интенсивный отпад стеблей начинается уже в фазу выхода растений в трубку.

При сухой весне и позднем выпадении осадков максимум стеблей может наблюдаться в период колошения (рис. 11.1, тип 3). При этих условиях формируется нередко низкий и изреженный стеблестой и основание стебля достаточно хорошо освещено. Кушение возобновляется с наступлением влажной погоды. Поздно образовавшиеся побеги или совсем не дают колосьев (недогон), или запаздывают с созреванием зерна (подгон).

Посевы на удобренных или плодородных почвах отличаются более высокой энергией кушения и образованием большого количества побегов. Хотя отпад побегов на плодородных почвах выше, их высокая густота приводит в конечном счете к формированию более плотного продуктивного стеблестоя, чем на малоплодородных или слабоудобренных почвах (рис. 11.2).

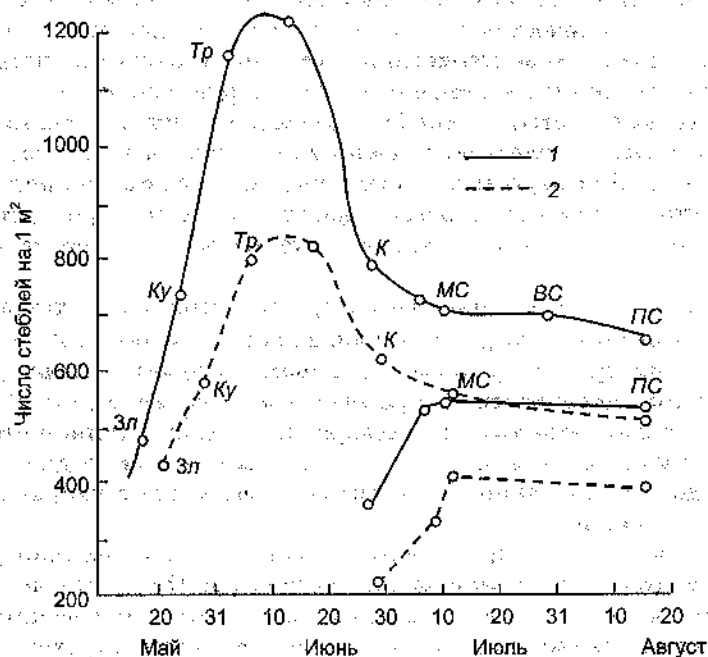


Рис. 11.2. Динамика общего (верхние кривые) и продуктивного (нижние кривые) стеблестоя ячменя на плодородных (1) и малоплодородных (2) почвах. Лесная зона

Усл. обозначения см. рис. 11.1

Густота стояния растений (густота стеблестоя) полевых культур определяется в сроки, характеризующие основные фазы развития растений при массовом их наступлении (табл. 11.1). Исключением являются наблюдения за густотой стеблестоя зерновых культур в фазу колошения (выметывания); которые проводятся при наступлении этой фазы не менее чем у 75 % растений.

В отдельных случаях наблюдения за густотой стояния растений (густотой стеблестоя) при большом объеме других агрометеорологических работ могут быть перенесены на день следующего обхода участка, несмотря на то что наступила фаза, соответствующая сроку определения этого параметра. Это исключение не применяется, если срок определения густоты стояния растений (густоты стеблестоя) совпадает с последним днем декады.

В зависимости от вида сельскохозяйственной культуры и способа ее посадки (посева) учет густоты стояния растений или густоты стеблестоя проводится на площадках или отрезках рядков разного размера в четырёхкратной повторности. При этом места для определения густоты растительного покрова выбираются так, чтобы они были типичными по размещению и состоянию растений и чтобы по небольшому количеству растений или стеблей получить наиболее полную картину характеристики состояния сельскохозяйственной культуры на всем поле в течение всего периода вегетации.

Существуют четыре способа определения густоты стояния растений (густоты стеблестоя) в зависимости от вида культуры и способа посева. При первом и втором способах густота стояния растений (густота стеблестоя) рассчитывается на 1 м^2 , при третьем и четвертом — на 100 м^2 ; среднее значение округляется до целого числа.

Первый способ определения густоты стояния растений (густоты стеблестоя) — подсчет на площадках размером $50 \times 50 \text{ см}$. Он применяется при узкорядном, сплошном, рядовом (с междурядиями до 25 см), перекрестном и разбросном способах посева. Для выбора площадки используется квадратная рамка с длиной стороны 50 см . Рамка устанавливается так, чтобы одна из ее диагоналей (при рядовом или узкорядном посевах) совпадала с направлением одного из рядков.

Второй способ определения густоты стояния растений (густоты стеблестоя) — подсчет в рядках длиной 1 м . Он применяется при рядовом посеве мелкостебельных растений с шириной междурядий более 25 см , а также при ленточном (двухстрочном и трехстрочном) способе посева.

Для подсчета густоты стояния растений в двух смежных рядках каждой повторности выбираются и закрепляются колышками два отрезка по $0,5 \text{ м}$ каждый.

Таблица 11.1

Сроки наблюдений за густотой стояния сельскохозяйственных культур

Культура	Фаза развития или сельскохозяйственная работа в срок наблюдения			
	1-й	2-й	3-й	4-й
Рожь, пшеница, три- тикале, ячмень, овес	3-й лист	Появление нижнего стеб- левого узла над поверх- ностью почвы	Колошение (вы- метывание)	Молоч- ная спе- лость
Рис	3-й лист	Выметывание метелки	Молочная спе- лость	
Просо, сорго, чумиза	3-й лист	То же		
Гречиха	Появление соцветий	Цветение		
Кукуруза	После окончательного прорежи- вания (или при массовом появле- нии 9-го листа)	Выметывание метелки		
Зерновые бобовые	3-й настоящий лист (у сои — 5-й лист)	Начало цветения		
Ряпс, горчица	1-й настоящий лист	То же	После опадения нижних листьев ряпса (на посе- вах, возделывае- мых на семена) ¹	
Подсолнечник, кле- пешина	После окончательного прорежи- вания	Цветение		
Лен	Начало роста стебля	"	Зеленая спелость семян	
Конопля	Вторая пара настоящих листьев	"	После уборки по- скони	

¹ Наблюдения проводятся по указанию УГМС.

Культура	Фаза развития или сельскохозяйственная работа в срок наблюдения			
	1-й	2-й	3-й	4-й
Картофель	Через 10 дней после появления массовых всходов	Появление соцветий		
Сахарная свекла и кормовые корнеплоды	После окончательного прореживания (при рассадном способе возделывания — после начала роста новых листьев)	Закрытие междурядий		
Табак	Следующая декада после высадки рассады	Цветение у семенников; после удаления соцветий — у несемеников		
Однолетние сеянные травы:				
злаковые	3-й лист	Колошение (выметывание)		
бобовые	3-й настоящий лист	Начало цветения		
Однолетние кормовые растения (малъна, редька масличная)	Начало роста стебля			
Многолетние сеянные травы и перспективные кормовые культуры:				
1-го года жизни	Злаковые — 3-й лист; бобовые — начало роста стебля (клевер), появление боковых побегов у остальных культур; перспективные кормовые культуры — через 20 дней после всходов (высадка рассады)	Злаковые — колошение (выметывание); остальные виды трав — цветение		

2-го и последующих лет жизни

Тѣ же

Примечания.

1. У всех зерновых, зернобобовых и крушных культур учет густоты стеблестоя проводится также при определении структуры урожая, у озимых зерновых культур и многолетних трав — кроме того, при весеннем и осеннем обследовании; у озимых зерновых культур — ежегодно осенью от начала кущения растений до прекращения их вегетации.
2. Если после выхода в трубку у зерновых колосовых культур (пшеница, рожь, тритикале, овес, ячмень) через 10...15 дней не отмечено появления нижнего узла соломины на поверхности почвы, густота стеблестоя определяется незамедлительно.
3. Если прореживание пропашной культуры (кроме кукурузы) не проводится, то густота стояния растений определяется один раз (2-й срок).
4. В районах, где у картофеля не образуются соцветия (при летних посадках) или ботва в этой фазе развития стелется по поверхности почвы, густота стояния растений во 2-й срок не определяется.
5. На подпокровных посевах многолетних трав 1-й подсчет густоты стояния растений проводится после уборки покровной культуры.
6. Сроки определения густоты стояния растений (густоты стеблестоя) на посевах (посадках) других (не упомянутых в таблице) полевых культур определяются ЦУМС по согласованию с ВНИИСХМ.

Для определения густоты стояния растений (густоты стеблестоя) результаты подсчетов, проведенных в каждой повторности, суммируются, сумма делится на количество повторностей и частное умножается на количество рядков в 1 м.

Третий способ определения густоты стояния растений (густоты стеблестоя) — подсчет в рядках длиной 10 м. Он применяется для корнеплодов, клубнеплодов и растений с крупным стеблем при широкорядном (не квадратно-гнездовом) посеве. Вблизи мест определения фаз развития выбираются отрезки по 10 м (по 5 м в двух смежных рядках) с растениями, типичными по своему состоянию для большей части участка, и помечаются колышками.

Во все сроки определения густоты стояния растений (густоты стеблестоя) в каждом из отмеченных мест подсчитывается количество растений (кустов, стеблей). Результаты подсчетов на каждой повторности суммируются, сумма делится на количество повторностей, а полученное частное умножается на количество рядков в 10 м. Таким образом рассчитывается густота стояния растений (кустов) или густота стеблестоя на 100 м^2 .

Четвертый способ определения густоты стояния растений (густоты стеблестоя) — подсчет на площадках размером 5×5 м. Он применяется при квадратно-гнездовом способе посева. Такие площадки разбиваются вблизи мест закрепления растений для наблюдений за фазами развития. Первый колышек при разбивке площадки забивается в центре пересекающихся междурядий. От него мерной лентой отмеряются по 5 м и фиксируются колышками остальные углы квадрата. Для того чтобы во время междурядных обработок колышки не были вырваны, они переставляются к ближайшему „гнезду”, расположенному внутри квадрата, и глубоко забиваются в почву.

На каждой площадке подсчитываются растения, стебли или кусты. Сумма четырех повторностей будет показывать их густоту стояния, рассчитанную на 100 м^2 .

Особенности подсчета густоты растительного покрова отдельных культур изложены в Наставлении, вып. 11, ч. I.

11.2. Измерение высоты растений

Высота растения является сортовым признаком. Так, ультраскороспелые и ранние сорта кукурузы имеют высоту 0,6...2,0 м, среднеспелые — 2,0...3,5 м, среднепозднеспелые и позднеспелые — более 3,5 м. Высота растений ярового ячменя на полях Пушкинских лабораторий (Ленинградская область) в десятилетний период наблюдений колебалась от 47 до 140 см, а в посевах озимого ячменя

на Майкопской опытной станции сортовая изменчивость этого признака выражена значениями высоты 45...160 см.

В пределах одного сорта высота растений определяется агрометеорологическими условиями, плодородием почвы и агротехникой возделывания сельскохозяйственной культуры. На высоту растений могут также оказывать влияние повреждения их сельскохозяйственными вредителями и болезнями.

Высокорослые растения, как правило, формируют больший урожай, в том числе хозяйственно ценной его части. Так, в годы с хорошо сформировавшимся стеблестоем растения пшеницы имеют крупный колос с большим количеством крупных зерен. Низкорослые посевы, как правило, формируют урожай более низкого качества.

Считается, что высота растений увеличивается до конца цветения. После этого все продукты фотосинтеза расходуются на рост и развитие семян, плодов, клубней, т. е. органов размножения. Если условия внешней среды в этот период складываются неблагоприятно для роста и развития растений, то для создания полноценных семян может даже отвлекаться часть пластических веществ из стебля.

Информация о высоте растений необходима для оценки видов на урожай, для определения вероятности полёта зерновых культур, для корректировки технологии уборочных работ.

Высота растений измеряется с помощью *переносной снегомерной рейки* длиной 180 или 130 см, которая должна иметь знак (клеймо) бюро поверки. Это свидетельствует о ее пригодности к применению в качестве измерительного устройства.

Высота растений сельскохозяйственных культур измеряется в день массового наступления фазы и в последний день декады. Сроки начала и окончания измерений высоты растений указаны в табл. 11.2. Измерение высоты растений проводится в четырех частях наблюдательного участка (по 10 растений в каждой) недалеко от места определения фаз развития и густоты стояния растений.

У озимых, ранних яровых зерновых культур и риса высота измеряется от поверхности почвы до конца листа, возвышающегося над другими листьями растения. В фазу выхода в трубку делаются два измерения: как указано выше и от поверхности почвы до отгиба верхнего листа. В дальнейшем (до массового колошения или выметывания) высота растений измеряется только вторым способом. С наступлением фазы колошения (выметывания) высота измеряется от поверхности почвы до конца колоса, без учета остей. У двудольных растений высота измеряется до точки роста, после цветения — до вершины соцветия, которым заканчивается главный стебель.

Таблица 11.2

Сроки начала и окончания измерений высоты растений

Культура	Срок измерения	
	первый	последний
Озимые зерновые (рожь, пшеница, ячмень, тритикале)	Осенью — 3-й лист Весной — при обследо- вании состояния озимых	Осенью — при осеннем обследовании состояния озимых Летом — молочная спе- лость
Яровые зерновые (рожь, пшеница, ячмень, овес, рис)	3-й лист	Молочная спелость
Кукуруза	5-й лист	То же
Просо, сорго, чумиза	Выход в трубку	После прекращения роста (когда результаты двух очередных декадных из- мерений будут различать- ся не более чем на 3 см)
Лен, рапс	Начало роста стебля (у льна — „елочка”)	То же
Конопля, подсолнеч- ник	Вторая пара листьев	”
Гречиха, клеверина	Появление соцветий	”
Картофель	Появление боковых побегов	”
Зерновые бобовые	3-й настоящий лист	То же. У гороха — в фазу конца цветения
Табак	Сразу после высадки рассады	Цветение (у семенников), перед удалением соце- тий (у несеменников)
Травы на природных кормовых угодьях, однолетние и много- летние сеяные тра- вы, а также травос- меси, перспектив- ные кормовые куль- туры	При достижении вы- соты 5 см весной, а после укоса — при появлении молодых побегов длиной 5 см	Начало сенокоса на на- блюдательном участке или начало стравливания, пре- кращение роста (когда результаты двух очеред- ных декадных измерений будут различаться не бо- лее чем на 3 см)

При ширококормном и квадратно-гнездовом посеве (посадках) культур (кукуруза, картофель, подсолнечник, клеверина, борщевик и др.) высота измеряется на 40 закрепленных растениях, по которым отмечается и время наступления фаз развития.

11.3. Определение растительной массы клубнеплодов и корнеплодов

Определение массы клубней и ботвы картофеля. Масса клубней и ботвы (последняя — по указанию ЦГМС) картофеля определяется на 8...9-й день декады на тех же наблюдательных участках, где ведутся все агрометеорологические наблюдения за этой культурой. Первое определение массы делается примерно через 20 дней после наступления фазы появления у растений соцветий, а затем ежелекдно до полного увядания ботвы или ее полной гибели от заморозков.

Для определения массы клубней и ботвы картофеля на наблюдательном участке выкапывается 24 куста (по 6 кустов средней высоты и мощности в четырех повторностях). Ботва складывается в один мешок, а клубни (включая и самые мелкие) — в другой и доставляются в помещение. В помещении станции у нижней части стебля, окрашенной в зеленый цвет, отрезаются корни и подсчитывается общее количество облиственных стеблей у 24 кустов. Ботва взвешивается, и значение массы ботвы в дальнейшем используется при оценке сложившихся и ожидаемых условий формирования урожая картофеля.

Приступая к анализу клубней, сначала взвешивают все клубни из 24 кустов, затем из общего количества клубней отбираются, подсчитываются и взвешиваются клубни нормального размера (массой 60 г и более). Учитываются также все поврежденные клубни и отдельно клубни, поврежденные фитофторой. Затем определяется среднее количество клубней под одним кустом. Зная, сколько кустов было на 1 га, можно рассчитать урожайность клубней в тоннах на 1 га.

Определение массы корня сахарной свеклы и кормовых корнеплодов (свекла, турнепс, брюква). Определение массы корня сахарной свеклы и кормовых корнеплодов проводится на 8...10-й день декады. Масса корня определяется по результатам измерений 40 постоянных растений, которые должны быть типичными для наблюдательного участка.

Масса корня сахарной свеклы определяется по его диаметру с помощью табл. 11.3. Первое определение проводится при средней массе корня, равной 50 г, а последнее — за день до уборки. В период уборки наблюдаемые растения выкапываются и взвешиваются для сравнения фактической массы и рассчитанной.

Техника измерения диаметра корня у растущего растения следующая: корень, выбранный для измерения, обнажается на глуби-

Таблица 11.3

Масса корня сахарной свеклы (г) в основной зоне свеклосеяния в зависимости от его диаметра

Диаметр корня, мм	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	38	41	44	47	50	54	58	61	65	69
40	74	78	83	87	92	97	102	108	113	119
50	125	131	137	144	150	157	164	172	179	187
60	194	202	211	219	228	237	246	255	264	274
70	284	294	305	315	326	337	349	360	372	384
80	397	409	422	435	449	462	476	499	505	520
90	535	550	565	581	597	614	630	647	665	682
100	700	718	737	755	774	794	813	833	853	874
110	895	917	938	960	982	1005	1028	1051	1075	1099
120	1123	1148	1173	1198	1224	1250	1276	1303	1330	1358
130	1386	1414	1444	1472	1501	1531	1561	1592	1623	1654
140	1696	1718	1750	1783	1816	1850	1884	1919	1954	1989
150	2025									

ну 2...3 см, а затем медицинским циркулем (рис. 11.3) или кронциркулем измеряется диаметр в наиболее утолщенной части корня по двум взаимно перпендикулярным направлениям (одно — вдоль рядка растений, а другое — поперек).

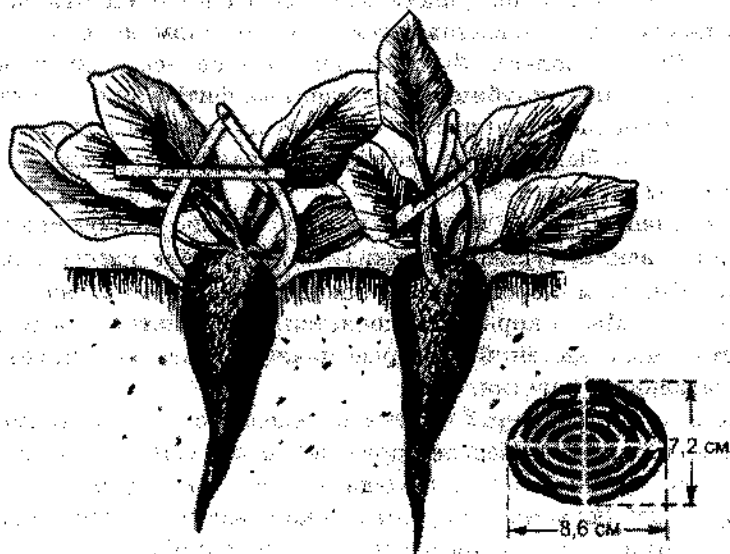


Рис. 11.3. Измерение диаметра корня сахарной свеклы медицинским циркулем

После измерения диаметра корни снова присыпают землей, слегка ее уплотняя. При этом нужно соблюдать осторожность, чтобы не нарушить условия роста растения.

Последующие измерения корня повторяются так, чтобы точки и направление измерений диаметра совпадали с предшествующими. Из двух измерений каждого растения находится среднее значение диаметра корня, по которому с помощью табл. 11.3 определяется масса корня. После вычисления массы каждого из 40 корней определяется средняя масса одного корня.

Для определения массы корней *кормовых корнеплодов* (свекла, турнепс, брюква) необходимо знать длину окружности корня в наиболее утолщенной его части (рис. 11.4) и форму корнеплода, которая определяется коэффициентом K . Первое определение массы корней 40 растений проводят при достижении средней длины окружности корня 60...80 мм. Длина окружности корня измеряется мерной лентой с точностью до 1 мм в наиболее утолщенной его части, как правило, на 2...4 см ниже корневой шейки. Если корень полностью погружен в почву, он аккуратно обнажается на требуемую глубину, а после измерения снова засыпается землей.

Коэффициент K рассчитывается по длине окружности корня и его длине по образующей (см. рис. 11.4) по формуле

$$K = \frac{\bar{C}}{\bar{L}}, \quad (11.1)$$

где $\bar{C}$ — средняя длина окружности корня, вычисленная по 40 измерениям, мм; $\bar{L}$ — средняя длина корня, вычисленная по 20 измерениям, мм.

Первое измерение длины корня делается во время первого измерения длины окружности корня у 40 растений, второе — по достижении длины окружности корня 140 мм, третье — 250 мм. Соответственно этому в течение вегетации 3 раза рассчитывается коэффициент K , и его значения используются при расчете массы корней в определенные периоды роста растений. Первое значение K используется для расчета массы корня при длине его окружности 60...140 мм, второе — 141...250 мм, третье — свыше 250 мм.

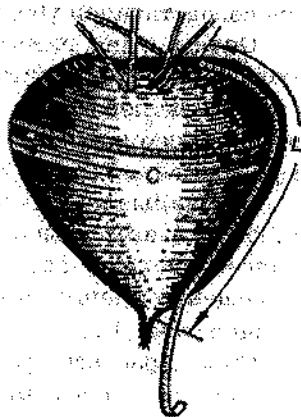


Рис. 11.4. Техника измерения корня кормовых корнеплодов

Средняя масса корня кормовых корнеплодов $\bar{M}$ (г) рассчитывается по формуле

$$\lg \bar{M} = -0,9 + 2,7 \lg \bar{C} - \lg K. \quad (11.2)$$

Для упрощения расчетов массы корня можно использовать специальную таблицу, приведенную в Наставлении, вып. 11, ч. I, п. 11.4.

Урожайность корней Y (т / га) рассчитывается по формуле

$$Y = \frac{n\bar{M}}{10\,000}, \quad (11.3)$$

где n — количество растений на 100 м^2 .

11.4. Определение массы растительного покрова природных кормовых угодий, многолетних и однолетних сеяных трав и травосмесей

На наземной сети агрометеорологических наблюдений определяется фитомасса по сырому и сухому веществу. Определение сырой фитомассы проводится на тех полях, на которых планируется скашивание растений на сено, сенаж или силос, а также на культурных пастбищах. На сенокосах определяется также сухая фитомасса.

Пробы для определения фитомассы берутся ежедекадно (в 8...9-й день декады), в период от достижения растениями высоты 10 см до массового цветения или укоса (если укос проведен до начала цветения трав). Кроме того, дополнительные пробы берутся в день наступления массового колошения (выметывания) злаковых или начала цветения других культур (время, наиболее благоприятное для производственной уборки трав на сено) и перед укосом.

Определение фитомассы трав проводится в четырех частях (повторностях) наблюдательного участка. Стебли срезаются на площадках размером $50 \times 50 \text{ см}$, а при широкорядном посеве — на отрезках рядков длиной 1 м. Высота среза 5 см от поверхности почвы в увлажненной зоне и 3 см — в степной зоне.

Срезанные на каждой повторности растения с этикеткой, на которой указаны номер повторности и дата учета, укладываются в полиэтиленовые пакеты. Пакеты завязываются, доставляются в помещение станции и взвешиваются все вместе или по отдельности с точностью $\pm 1 \text{ г}$.

Способ расчета урожайности сырой фитомассы трав с 1 м^2 зависит от способа взятия проб в поле. Если растения срезаются на

площадках размером 50 × 50 см, то при четырехкратной повторности урожайность трав с 1 м² будет равна общей массе растений, срезаемых с четырех площадок.

При срезании растений с рядков длиной 1 м в повторности необходимо массу пробы разделить на количество повторностей (четыре) и результат умножить на количество рядков в 1 м, рассчитанное при определении густоты стояния растений.

Расчет урожайности сухой фитомассы (г/м²) на сенокосах проводится путем умножения урожайности фитомассы на выход сухого вещества (безразмерная величина). Для определения выхода сухого вещества отбирается средняя проба растений (не менее 0,5 кг) и высушивается в термостате при температуре 80 °С до постоянной массы. Выход сухого вещества (с точностью до третьего после запятой знака) получают, разделив значение сухой массы на значение сырой массы пробы растений (см. Наставление, вып. 11, ч. I, п. 11.5).

После первого укоса трав наблюдения за фитомассой отавы продолжают с момента образования молодых ростков длиной 5 см до прекращения линейного роста трав. В тех районах, где проводят 2 укоса и более, определение фитомассы проводят в течение всего периода формирования каждого из укосов.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. В какие сроки определяется густота стояния основных зерновых культур?
2. Какие существуют способы определения густоты растений (густоты стеблестоя)?
3. Вычислите густоту стояния проса при двухстрочном (ленточном) посеве в фазе 3-го листа, если общее количество растений по повторностям составляет соответственно 56, 60, 58 и 63. В отрезке 5 м 20 см содержится 20 строчек (10 лент).
4. Подсчитайте густоту стеблестоя пшеницы, кукурузы, картофеля, клевера. Занесите результаты подсчетов в таблицу 111 книжки КСХ-1м.
5. В какие сроки измеряется высота растений озимых и яровых зерновых культур?
6. Расскажите, как проводятся измерения высоты зерновых культур в течение вегетационного периода.
7. Как измеряется высота кукурузы?
8. В какие дополнительные сроки измеряется высота однолетних и многолетних сеяных трав?
9. Как измеряется высота многолетних сеяных трав и трав на природных кормовых угодьях?
10. Измерьте высоту ячменя, травосмеси однолетних сеяных трав, трав на природном кормовом угодье. Запишите результаты измерений в таблицу 109 книжки КСХ-1м.

11. В какие сроки измеряется высота растений озимых и яровых зерновых культур?
12. Как отбираются клубни нормального размера?
13. Определите массу клубней и ботвы картофеля. Запишите данные в таблицы 118 и „Показатели продуктивности картофеля“ книжки КСХ-1м.
14. Как определить срок начала измерения массы корня кормовых корнеплодов на 40 растениях?
15. Расскажите о технике измерения диаметра корня сахарной свеклы у растущего растения.
16. Как рассчитывают коэффициент К, необходимый для определения массы корня кормовых корнеплодов?
17. Определите массу корня сахарной или кормовой свеклы. Запишите результаты измерений в книжку КСХ-1м.
18. Когда берут пробы для определения фитомассы трав?
19. Как рассчитать урожайность сырой фитомассы трав?
20. Как рассчитать урожайность сухой фитомассы?
21. Как определить выход сухого вещества?
22. Определите сырую и сухую фитомассу растительного покрова на природном кормовом угодье. Запишите результаты определений в книжку КСХ-1м.

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ ЗИМУЮЩИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ПОЗДНИЙ ОСЕННИЙ, ЗИМНИЙ И РАННИЙ ВЕСЕННИЙ ПЕРИОДЫ

Наблюдения за состоянием зимующих сельскохозяйственных культур в поздний осенний, зимний и ранний весенний периоды включают три вида работ: осеннее обследование посевов, определение жизнеспособности в зимний период и весеннее обследование состояния посевов и садов.

12.1. Осеннее и весеннее обследование озимых зерновых культур и многолетних трав

Одной из основных целей осеннего и весеннего обследования состояния зимующих культур является получение информации для оценки видов на урожай или прогноза состояния посевов на ближайшую или отдаленную перспективу. По зависимостям, найденным Т. А. Максименковой, зная только средние областные значения густоты стояния растений во время прекращения вегетации, можно определить площадь (в процентах), на которой посевы находятся в плохом состоянии.

По исследованиям В. А. Моисейчик, состояние озимых посевов после прекращения вегетации осенью имеет большое значение для их перезимовки. Слаборазвитые и переросшие посевы значительно сильнее повреждаются при неблагоприятных условиях. Критическая температура их вымерзания на 1...3 °C выше температуры вымерзания нормально развитых растений. Слаборазвитые посевы с кустистостью менее двух побегов вследствие малой высоты растений и небольших запасов питательных веществ в большей степени подвержены вымоканию, быстрее погибают под притертой к почве ледяной коркой. Отсутствие вторичных корней у нераскутившихся озимых посевов приводит к более сильному выпиранию растений при неоднократном замерзании и оттаивании верхнего слоя почвы и более сильному повреждению посевов пыльными бурями. Переросшие посевы (более 5 боковых побегов, высота более 25 см) имеют большую растительную массу, загущенный стеблестой и поэтому сильнее, чем нормально развитые посевы, подвержены выпреванию

и повреждению различного рода вирусными и грибковыми заболеваниями в ранневесенний период.

Е. С. Улановой были получены зависимости, позволяющие по данным о запасах продуктивной влаги в метровом слое почвы и густоте стеблестоя во время весеннего обследования рассчитать среднюю областную урожайность озимой пшеницы.

Осеннее обследование посевов озимых зерновых культур (рожь, пшеница, тритикале, ячмень) и озимого рапса проводится в конце осени после того, как в течение 5 дней подряд средняя суточная температура воздуха была ниже 5°C (на Северном Кавказе — ниже 3°C). В южных районах в годы с поздним переходом температуры воздуха через 3°C обследование проводится 10 ноября. В случае возврата тепла на продолжительное время (на 10 дней и более) осеннее обследование проводится повторно.

Во время осеннего обследования посевов озимых зерновых культур и озимого рапса на каждом наблюдательном участке определяют: фаза развития растений, количество настоящих листьев в розетке рапса, высота растений, густота стояния растений, густота стеблестоя, кустистость (у зерновых), степень распространения сорняков, повреждения растений неблагоприятными метеорологическими явлениями, сельскохозяйственными вредителями и болезнями, оценка состояния посевов, глубина залегания узла кущения и состояние корневой системы (у зерновых), площадь поля с невзошедшими и погибшими посевами, причины отсутствия всходов или их гибели. Большинство из названных наблюдений проводят по общепринятым методикам, изложенным в соответствующих главах Наставления, вып. 11, ч. I.

Для определения густоты стояния растений (по их кустистости) и состояния корневой системы в непосредственной близости от мест определения густоты стояния выкапывается по 10 растений без выбора (всего 40). Затем у каждого десятка выкопанных растений подсчитывается общее количество стеблей (вместе главных и боковых). Средняя кустистость определяется делением общего количества стеблей у выкопанных растений на 40 (результат округляется до первого знака после запятой). Затем делением количества стеблей, подсчитанных на 1 м^2 , на среднюю кустистость одного растения получают количество растений на 1 м^2 .

Далее у выкопанных 40 растений подсчитывают количество растений, у которых нет узловых корней, менее чем по 5 узловых корней и по 5 (и более) узловых корней, а также их процентное соотношение. После этого у каждого выкопанного растения измеряют глубину залегания узла кущения (расстояние от узла кущения до того места на главном побеге, где стебель теряет зеленую окраску) в сантиметрах, округляя до целого числа. Если растения имеют два

узла кущения, то измеряется глубина залегания только второго (верхнего) узла.

Площадь поля с погибшими и невзошедшими посевами определяется визуально путем осмотра видимой поверхности поля и состояния растений. При этом наблюдатель должен обойти все поле и оценить, на какой части поля (в процентах от общей площади) посевы погибли и не взошли (суммарно).

Весеннее обследование состояния озимых зерновых культур и озимого рапса проводится через 10 дней после возобновления вегетации на тех же наблюдательных участках, на которых проводилось осеннее обследование посевов. Во время весеннего обследования определяются те же параметры, что и во время осеннего, кроме глубины залегания узла кущения и состояния корневой системы. Эти параметры весной не определяются.

Определение густоты стояния растений осенью и весной необходимо для выявления степени изреженности посевов в течение зимы. Сравнение результатов осеннего и весеннего подсчетов густоты позволяет установить количество погибших за зиму растений. Например, если осенью в рамке было 75 живых растений, а весной осталось 60, значит, за зиму погибло 15 растений. Следовательно, изреженность посевов к весне составляет $(15 : 75) \cdot 100 = 20 \%$.

Осеннее и весеннее обследование состояния зимующих трав первого и последующих лет жизни проводится одновременно с обследованием состояния озимых зерновых культур. Если травы весной отрастают позже, чем озимые зерновые, то их обследование проводится через 10 дней после возобновления вегетации трав на наблюдательном участке.

Во время обследования состояния зимующих трав на каждом наблюдательном участке определяются: фаза развития растений; высота растений; густота стояния растений (в первый год жизни) и густота стеблестоя; степень повреждения растений неблагоприятными метеорологическими явлениями, сельскохозяйственными вредителями и болезнями; оценка состояния посевов; площадь поля с погибшими растениями и причины гибели.

12.2. Методы определения жизнеспособности озимых зерновых культур, озимого рапса и многолетних трав в зимний период

Огромный ущерб народному хозяйству наносит гибель посевов зимой, значительно уменьшая валовой сбор зерна и вызывая большие затраты на пересев погибших озимых весной яровыми культурами. Для подготовки к посеву и ликвидации большого

напряжения в весенних полевых работах планирующие и сельскохозяйственные органы должны с большой заблаговременностью знать по каждой области, краю, республике и в целом по России размеры площадей, на которых ожидается гибель озимых к моменту возобновления их вегетации. Сокращение потерь от гибели посевов зимой возможно также за счет дифференцированного применения агротехники в зависимости от сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий в каждом конкретном году.

Определение жизнеспособности зимующих сельскохозяйственных культур осуществляется четырьмя методами: отрапчиванием растений в монолитах почвы, отрапчиванием проб в воде, тетразольным экспресс-методом и методом биологического контроля. Для определения жизнеспособности озимых зерновых культур применяются все перечисленные методы, для озимого рапса и многолетних трав — три первых. Все они являются визуальными. Точность определений в значительной степени зависит от опыта наблюдателя.

В 1980-х годах был разработан инструментальный способ определения жизнеспособности озимых зерновых культур и многолетних трав на основе применения устройства „Тигран-Д”. В нем в качестве показателя, характеризующего состояние биологического объекта, использовался коэффициент K , представляющий собой отношение электрического сопротивления растительных тканей узла кущения или корневой шейки растения на двух частотах. Центральной комиссией Госкомгидромета СССР по приборам и методам получения информации о состоянии природной среды и климата (ЦКПМ) этот метод был рекомендован к применению только при благоприятно складывающихся условиях перезимовки. Он применялся на небольшом количестве станций и в настоящее время почти не используется.

Наибольшую точность определения жизнеспособности озимых зерновых культур, озимого рапса и многолетних трав обеспечивает метод отрапчивания растений в монолитах почвы. Он является стандартным и используется как контрольный при оценке возможности применения любого другого метода. Его недостатком является то, что среди перечисленных методов он наименее оперативный: информацию о состоянии растений можно получить только через две недели после взятия образцов растений в поле. При определении жизнеспособности растений методом отрапчивания проб в воде состояние растений можно определить через неделю. Наиболее оперативными (но менее точными) являются тетразольный экспресс-метод и метод биологического контроля. Используя их, состояние растений можно определить на следующий день после взятия образцов в поле.

Приведем краткое описание основных особенностей применения стандартного метода и метода биологического контроля. Более подробно с этими методами, а также с методом отращивания проб в воде и тетразольным экспресс-методом можно ознакомиться в На- ставлении, вып. 11, ч. I.

Определения жизнеспособности озимых зерновых культур, озимого рапса и многолетних трав на всей территории их возделывания в России проводятся 25 января и 20 февраля. В случае неблагоприятных агрометеорологических условий для перезимовки сельскохозяйственных культур в отдельные периоды зимы по указанию ЦГМС может проводиться внеочередное дополнительное определение их жизнеспособности.

Метод отращивания растений в монолитах почвы. Места для взятия монолитов выбираются с осени вблизи постоянных мест для определения густоты стояния зимующих культур. Выделяются и отмечаются вешками по две площадки на каждой повторности. Растения на выбранных площадках не должны отличаться от растений на основном массиве участка.

Для облегчения вырубki монолитов и предупреждения их разлома при транспортировке монолиты целесообразно подготовить с осени. На выбранную с осени площадку накладывается рамка размером 30 × 30 см, сделанная из узких дощечек (способ предложен М. В. Шохиным). Необходимо следить, чтобы в рамку попали растения двух смежных рядков. После этого берут щиток-лопатку и, прислоняя ее к одной из сторон рамки, нажимают на рукоятку, погружая щиток-лопатку в почву на глубину 15...20 см. При этом нужно пошатывать лопатку по сторонам вдоль щели в почве как при заглублении, так и тогда, когда вынимают ее из почвы. Затем в приготовленную щель вдавливается согнутая вдвое плотная бумага (или газета), наложенная снизу на щиток-лопатку. Когда бумага вдавится на нужную глубину, щиток-лопатка вынимается, оставляя бумагу в щели. В каждую щель нужно вдавить бумагу толщиной в два слоя и более. Таким образом подготавливаются монолиты на всех восьми выделенных площадках.

Зимой в каждый срок наблюдения вырубаются четыре монолита — по одному монолиту в каждой из четырех частей участка. На месте, выбранном для взятия проб (монолитов), прежде всего переносной рейкой определяется высота снежного покрова, а при наличии притертой ледяной корки измеряется ее толщина в миллиметрах. С площадки, предназначенной для взятия монолитов почвы с растениями, осторожно счищается снег (лопаткой, затем веником). Отмечаются визуально состояние верхнего слоя почвы (мерзлая,

талая), особенности местоположения площадки (пологий западный склон, ровное место, возвышенная часть поля и т. д.).

Пробы почвы с растениями вырубаются монолитом, имеющим размеры 30 × 30 см при глубине 15...20 см. В случае разлома монолита во время его взятия растения по линии разлома следует удалить.

После вырубки монолит тотчас же помещается в заранее подготовленный почвенный деревянный ящик размером 30 × 30 × 20 см. Ящик с пробой немедленно укрывается, для того чтобы избежать повреждения растений низкими температурами при перевозке.

Привезенные с поля ящики с монолитами следует поместить на 1...2 дня в полусветлое прохладное помещение для постепенного оттаивания, а затем перенести в светлое теплое помещение с температурой выше 15 °С.

После оттаивания почвы в монолитах отменяются фаза развития растений и их внешний вид (побуревшие, зеленые и т. д.). Ящики с монолитами ставят близко к окнам (так как при недостаточном освещении создаются неблагоприятные условия для отрастания) и по мере надобности поливают почву, не допуская переувлажнения. Вода для полива должна быть комнатной температуры.

На 15-й день после взятия проб проводится оценка внешнего вида растений и учет результатов отращивания. Для этой цели все без исключения растения осторожно выбираются из монолита, а их корни промываются в воде. После промывки подсчитывается общее количество растений (кустов), затем они сортируются на две группы: растения живые, отросшие, и растения погибшие, не отросшие. Живыми следует считать растения с новыми листочками, а у растений, находящихся в фазе кушения, — и с новыми корнями (новые корни имеют белый цвет, легко рвутся).

Крайние растения (кусты), поврежденные при взятии монолитов еще на поле, в подсчет не включаются.

На основании результатов подсчета вычисляется процент гибели растений в каждой пробе по следующей формуле:

$$\Pi = \frac{\delta \cdot 100}{\alpha}, \quad (12.1)$$

где Π — количество погибших растений (кустов), %; δ — количество неотросших растений (кустов) в повторности; α — общее количество растений (кустов).

Метод биологического контроля. При определении жизнеспособности этим методом пробы почвы с растениями вырубаются не целиком монолитом, а отдельными кусками из двух смежных ряд-

ков растений (каждый по 0,5 м). Почва подрубается с двух сторон рядка на глубину 8...10 см. Куски почвы с растениями вынимаются по частям, так чтобы большая часть растений, особенно их узлы кущения, сохранилась неповрежденной.

Приемы доставки почвы с растениями в помещение станции и их оттаивания такие же, как при применении метода отращивания растений в монолитах почвы. Для анализа используются 40 растений (по 10 растений без выбора, взятых в четырех местах наблюдательного участка).

После оттаивания почвы и промывания водой комнатной температуры растения в зависимости от цвета листьев сортируются на группы в соответствии с пятибалльной шкалой: зеленый — 5, желто-зеленый — 4, желтый — 3, бурый — 2, черно-бурый — 1. Отсортированные по цвету листьев растения используются для определения состояния конуса нарастания. Для рассмотрения конуса нарастания растения препарируются. При этом на расстоянии 2 см от узла кущения обрезаются корни, а у побегов последовательно иглой снимаются верхние листья.

Место расположения конуса нарастания показано на рис. 12.1. Иглой осторожно удаляются недоразвитые листочки, покрывающие конус нарастания. Обнаруженный конус нарастания рассматривается под бинокулярной (с 4- или 6-кратным увеличением) или руч-

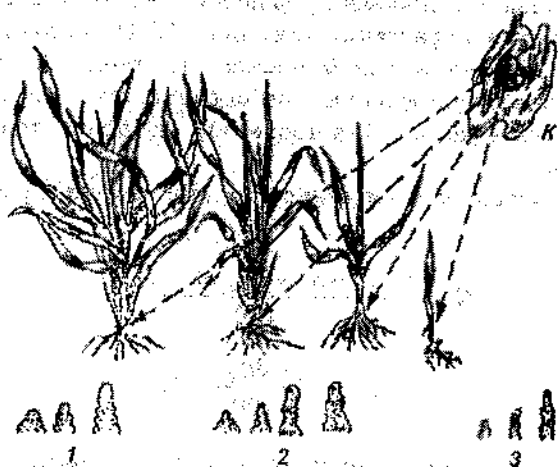


Рис. 12.1. Конус нарастания (K) растений озимых зерновых культур в осенне-зимний период.

Местоположение конуса нарастания в разных фазах развития показано стрелками. Состояние конусов нарастания: 1 — живые (5 баллов); 2 — слабо поврежденные морозами (3 балла); 3 — погибшие (1 балл)

ной лупой. У живых растений конус нарастания бледно-зеленый или почти белый с хорошо выраженным тургором всех тканей. У растений, погибших от низких температур, конус нарастания характеризуется полной потерей тургора (при прикосновении иглой чувствуется мягкость, вялость тканей), помутнением клеток и появлением желто-бурой и даже коричнево-черной окраски (табл. 12.1).

Таблица 12.1

Оценка состояния растений озимых зерновых культур по состоянию конуса нарастания

Состояние конуса нарастания	Оценка, балл
Живой, тургорный, бледно-зеленый	5
Слабо поврежденный, тургорный, белый, мутный	3
Мертвый, бурый, сморщенный	1

При оценке состояния растений отдельно указываются степень повреждения листьев и конуса нарастания. Степень повреждения растений по цвету листьев определяется путем подсчета количества растений, имеющих ту или иную окраску листьев (в процентах от общего количества растений, взятых для анализа).

При оценке степени повреждения растений по конусу нарастания рассматривается наиболее развитый стебель. В зависимости от состояния конуса нарастания (см. рис. 12.1) состояние растений оценивается по трехбалльной шкале (см. табл. 12.1). Состояние озимых зерновых культур при этом оценивается с учетом количества поврежденных растений (в процентах от общего количества рассмотренных).

Средние взвешенные оценки состояния растений рассчитываются по формулам:

$$Q_1 = \frac{5N_1 + 4N_2 + 3N_3 + 2N_4 + N_5}{100}; \quad (12.2)$$

$$Q_2 = \frac{5n_1 + 3n_2 + n_3}{100}, \quad (12.3)$$

где Q_1 и Q_2 — средние взвешенные оценки состояния растений по цвету листьев и состоянию конуса нарастания соответственно, балл; $N_1 \dots N_5$ — количество растений каждой градации оценки их состояния по цвету листьев, %; $n_1 \dots n_3$ — количество растений каждой градации оценки их состояния по состоянию конуса нарастания, %.

12.3. Определение жизнеспособности веток плодовых культур зимой

Определение жизнеспособности плодовых культур проводится путем отращивания их веток. Пробы веток на отращивание берутся через 5...7 дней после сильных морозов: $-25...-30^{\circ}\text{C}$ — в центральных и северных районах и $-18...-25^{\circ}\text{C}$ — в южных районах. Если резкому понижению температуры предшествовала оттепель, то пробы веток на отращивание следует брать после более слабых морозов: $-20...-25^{\circ}\text{C}$ в центральных и северных районах и $-15...-20^{\circ}\text{C}$ в южных. Если зимой наблюдается несколько волн холода, то ветки следует брать на отращивание после каждой из них. В первой половине марта отращивание веток проводится во всех районах.

Для определения жизнеспособности веток плодовых культур на деревьях основных пород срезаются (острым ножом под углом) по 2...4 ветки длиной 30...40 см с однолетней и двухлетней древесиной. Чтобы в клетки проводящих тканей не проник воздух, концы срезов необходимо сразу же замазать стеарином или пластилином. Ветки помещаются в полиэтиленовый пакет для предохранения тканей от пересыхания.

После доставки веток на станцию (пост) они помещаются в холодное помещение с температурой $2...5^{\circ}\text{C}$ для постепенного оттаивания. Через 12 ч ветки переносятся в теплое помещение, где они вынимаются из полиэтиленового пакета и помещаются в сосуд с водой для отращивания. При этом ранее замазанный конец каждой ветки обрезается под водой острым ножом или бритвой на 3...4 см. Воду в сосуде следует менять 1 раз в неделю; одновременно нужно подрезать концы веток, не вынимая их из сосуда. Ветки погружаются в воду на $1/3$ их длины, причем уровень воды после ее смены должен оставаться одним и тем же. Чтобы обеспечить создание повышенной влажности воздуха около почек и улучшить условия для их набухания и распускания, ветки во время отращивания следует прикрыть сверху полиэтиленовым пакетом.

Отращивание проводится до распускания почек. Если на ветках в течение 20...25 дней не будет отмечено не только распускания, но и набухания почек, то отращивание прекращается.

После прекращения отращивания на всех срезанных ветках данной породы подсчитывается общее количество почек, количество распустившихся, набухших и неразвившихся почек. Для пород, у которых легко отличить цветочные почки от листовых (яблоня, груша), подсчет ведется отдельно для цветочных и листовых почек.

Для определения наличия поврежденных почек неразвившиеся почки разрезаются острым ножом или бритвой вдоль на две равные

части. Срезы рассматриваются в луну. Бурая или светло-желтая окраска внутренних частей почек указывает на их повреждение.

Степень повреждения определяется по количеству поврежденных почек в процентах от их общего количества.

Состояние однолетней и двухлетней древесины определяется по ее цвету. Для этого делается продольный разрез веток до середины. Неповрежденная древесина имеет, как правило, светло-зеленую окраску. Поврежденная древесина имеет потемнение различной интенсивности и различных оттенков — от светло-желтого до темно-бурого. О степени повреждения можно судить по интенсивности окраски разрезанных веток, которая зависит также от породы дерева, возраста и других факторов.

12.4. Весеннее обследование садов

Обследование плодовых культур (яблоня, груша, слива, вишня, абрикос) проводится один раз — после массового зацветания. При обследовании садов осматриваются 100 деревьев каждой породы (желательно одного сорта) как на наблюдательных участках, выделенных для производства наблюдений за плодовыми, так и на общем массиве сада. Если нет 100 экземпляров, обследование проводится по имеющемуся количеству, о чем делается запись в книжке КСХ-2м. Общая оценка повреждения надземной части дается по следующим признакам:

повреждений нет — дерево совершенно здоровое;

слабое повреждение — дерево хорошо облиствено, листья нормальные, гибель плодовых элементов не превышает 30 %, засохших побегов и веток мало;

среднее повреждение — погибло около половины „плодушек” и молодых побегов, наблюдается выпадение полускелетных или единичных скелетных веток;

сильное повреждение — усыхание большей части кроны;

гибель надземной части — крона усохла полностью.

При сильных морозах и небольшом снежном покрове возможно повреждение корневой системы плодовых деревьев. При поврежденной корневой системе и при сохранившейся надземной части начальные фазы развития дерева проходят нормально (за счет имеющихся в надземной части питательных веществ). Однако в дальнейшем дерево не дает поросли и некоторое время спустя начинает засыхать. Такие повреждения отмечаются в книжке КСХ-1м при наблюдениях в вегетационный период.

При проведении обследования необходимо указывать возможные причины гибели (вымерзание, вымокание от затопления садов талыми или поднявшимися грунтовыми водами и т. д.). Следует

также отмечать, несут ли повреждения массовый характер или встречаются на отдельных участках сада (различающихся по рельефу, экспозиции склона, близости к водоему и т. д.), зависят от возраста дерева или от агротехники.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. В какие сроки проводятся осенние и весенние обследования озимых зерновых культур и многолетних трав?
2. Какие наблюдения проводятся при осеннем и весеннем обследованиях?
3. Как измеряется высота озимой пшеницы при весеннем обследовании, если растения вступили в фазу выхода в трубку?
4. Как рассчитать изреженность посевов?
5. Подсчитайте количество растений с различным количеством узловых корней и измерьте глубину залегания узла кущения.
6. Какой метод определения жизнеспособности зимующих культур считается основным?
7. Что нужно сделать осенью, чтобы облегчить вырубку монолитов почвы зимой; каковы размеры монолита?
8. Как определить жизнеспособность многолетних трав методом отращивания проб в воде?
9. Как определяется оценка состояния озимых зерновых культур методом биологического контроля?
10. Рассчитайте среднюю взвешенную оценку состояния растений по состоянию конуса нарастания, если 30 % растений имели оценку 5 баллов, 45 % — 3 балла и 25 % — 1 балл.
11. В какие сроки проводится весеннее обследование сада?
12. По каким признакам дается общая оценка повреждения надземной части плодовых при весеннем обследовании?
13. Возьмите образцы веток плодовых деревьев, поставьте их на отращивание, проведите анализ результатов отращивания.
14. По какому признаку определяется состояние однолетних и двухлетних древесных веток плодовых деревьев зимой?

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПОВРЕЖДЕНИЯМИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НЕБЛАГОПРИЯТНЫМИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ЯВЛЕНИЯМИ, ВРЕДИТЕЛЯМИ И БОЛЕЗНЯМИ

13.1. Определение повреждений сельскохозяйственных культур неблагоприятными метеорологическими явлениями

Как было описано в главе 4, нормальные рост, развитие растений и формирование урожая происходят при значениях метеорологических параметров, близких к оптимальным. Чем больше их значения отличаются от оптимальных (для данного вида растений и в данный межфазный период) и чем длительнее воздействие, тем сильнее растения угнетаются. Когда значения метеорологических параметров (или комплекса параметров) существенно отклоняются от оптимальных значений (превышают определенное критическое значение), мы говорим, что наблюдаются неблагоприятные метеорологические явления. Они подробно описаны во второй и третьей главах. Это заморозки, засухи, суховеи, пыльные бури и т. п. Даже непродолжительное воздействие их на растения может привести к значительному снижению урожайности или к полной гибели посевов. Поэтому наблюдатели гидрометеорологических станций и постов должны тщательно следить за возникновением неблагоприятных метеорологических явлений и за их воздействием на объекты сельскохозяйственного производства. Результаты наблюдений записываются в таблицу 112 и на страницах „Сведения о влиянии погоды на состояние сельскохозяйственных культур и сельскохозяйственные работы” книжки КСХ-1м.

При оценке влияния неблагоприятных явлений погоды на объекты сельскохозяйственного производства учитываются характеристика и степень повреждения, а также площадь распределения и особенности местоположения растений, оказавшихся поврежденными.

Характеристика повреждения заключается в описании его сущности. Перечисляются поврежденные органы растений с указанием изменений их внешнего вида (увяли, почернели и т. д.).

Определение степени повреждения состоит в визуальной оценке количества поврежденных органов: единичные (до 10 %), немногие (11...20 %), многие (21...50 %), большая часть (51...80 %), все (81...100 %). Кроме того (также визуально), оценивается степень охвата растений данными повреждениями: отдельные растения (до 10 %), немногие (11...20 %), многие (21...50 %), большинство (51...80 %), все (81...100 %).

Площадь поля с поврежденными посевами определяют визуально при обходе поля. Наблюдатель должен оценить, на какой части поля (в процентах от общей площади) посевы повреждены (погибли, выдуты, не взойшли и т. д.). При наличии поврежденных растений в отдельных местах необходимо дать краткую характеристику этих мест (понижение, возвышенность, склон и т. п.), особенностей почвы, сорта культуры, приемов агротехники и т. д.

Если наблюдения ведутся через день, то осмотр растений должен проводиться во второй половине того дня, в который неблагоприятное метеорологическое явление наблюдалось. При обходе участков два раза в декаду регистрацию повреждений следует произвести в очередной день обхода.

Если гидрометеорологическое явление или комплекс гидрометеорологических параметров достигли критерия опасных природных (гидрометеорологических) явлений (ОЯ), то степень вреда, нанесенного сельскому хозяйству, должна быть оценена даже в том случае, когда повреждение нанесено сельскохозяйственной культуре, наблюдения за которой не запланированы. Следует также отмечать ОЯ, которые наблюдались только в соседних хозяйствах.

Заморозки. Осмотр растений осуществляют после каждого заморозка, отмеченного после появления всходов (высадки рассады) теплолюбивых культур; после начала цветения садов, после открытия кустов винограда, и ведут до уборки урожая сельскохозяйственных культур.

Повреждение заморозком регистрируется в следующих случаях: повреждены листья (листья погибли полностью или частично, листопад ускорен заморозками); коробочки хлопчатника верхнего, среднего или нижнего ярусов; стебли и побеги, почки у плодовых; соцветия; бутоны, цветки, завязи, незрелые плоды или зерно, не достигшее восковой спелости; зрелые плоды, зерно, достигшее восковой спелости; вымерзли пестики; растения целиком вымерзли.

Первым признаком возможного повреждения зерна кукурузы, не достигшего восковой спелости, является изменение цвета листьев обертки — после оттаивания они быстро теряют зеленую окраску и засыхают, поврежденное зерно теряет упругость.

У пшеницы и ячменя, не завершивших налив зерна, поврежденные листья и колосья желтеют вскоре после заморозка, и созда-

ется впечатление „созревания“. Зерно при этом не желтеет и при высыхании оказывается сморщенным, покрытым трещинами (при сильном повреждении), щуплым. Щуплость может иметь разную степень в зависимости от того, на каком этапе формирования зерно было повреждено заморозком.

Степень морозобойности зерна яровой пшеницы определяется следующим образом. После первого осеннего заморозка, через 1...3 дня (так как возможны случаи, когда повреждение обнаруживается не сразу), проводится обход поля, на котором ведутся наблюдения. Проба из 25 колосьев без выбора отбирается в каждом элементе рельефа (вершина, долина, котловина, верхняя часть склона и т. д.). Срезанные колосья помещаются в пакет, туда же вкладывается этикетка с указанием даты взятия пробы, фазы развития, внешнего вида поврежденных растений, а также даты заморозка или инея, элемента рельефа.

Через 2...3 дня колосья обмолачиваются, зерна хорошо перемешиваются. Затем из пробы берутся 100 зерен без выбора. Эти 100 зерен сортируются на поврежденные заморозком и неповрежденные. Степень морозобойности определяется по следующим признакам:

морозобойность первой степени: зерно нормального размера и формы, но с тусклым блеском. На всей поверхности зерна или только на спинке имеется мелкая поперечная морщинистость;

морозобойность второй степени: зерно нормального размера, но без блеска, с несколько измененной окраской, по всей поверхности зерна хорошо заметна поперечная морщинистость. При перетирании зерна между пальцами слой оболочки иногда стирается;

морозобойность третьей степени: зерно недоразвитое, щуплое, имеет измененную форму и окраску. По всей поверхности зерна наблюдается резкая морщинистость, переходящая в складчатость. При перетирании зерна между пальцами оболочка легко отделяется.

После сортировки подсчитывается количество зерен первой, второй и третьей степени повреждения. Затем вычисляется процент морозобойного зерна от 100 взятых зерен (каждой степени морозобойности отдельно).

Засуха и суховей. За действием засухи и суховея необходимо следить в период сухой погоды (10 дней и более с относительной влажностью воздуха днем 30 % и менее), особенно если запасы почвенной влаги незначительны (в пахотном слое суглинистой почвы менее 10 мм), а также в дни с высокой температурой и низкой относительной влажностью воздуха, при наличии ветра.

Явные внешние признаки повреждения растений следующие: пожелтение или побурение листьев (нижнего и верхнего ярусов), а также их засыхание в зеленом состоянии; пожелтение колосьев;

засыхание соцветий, бутонов, цветков, завязей; опадение бутонов, цветков, завязей, незрелых плодов; подсыхание только что появившихся из обертки нитевидных столбиков у кукурузы.

Признаками приближающихся глубоких повреждений при дальнейшем сохранении неблагоприятных условий могут быть: побеление остей (у зерновых колосовых культур), свертывание верхней части листьев в трубочку (у злаков), потеря тургора листьев в дневное время, о чем свидетельствует их временное увядание (листья поникают).

Суховеи и недостаток влаги в почве могут вызвать засыхание зерна, формирование которого не закончилось. Иногда это явление ошибочно принимается наблюдателем за созревание. Отличительный признак засохшего (не завершившего налива) зерна — его пуплость. Не следует смешивать это явление с мелким, но выполненным зерном, которое развивается при очень быстром завершении налива при сравнительно высокой температуре воздуха и наличии доступной влаги в почве до перехода зерна к восковой спелости.

Другим признаком преждевременного засыхания зерна служит малая продолжительность периода от колошения до пожелтения зерна — менее 20...22 дней у мягких сортов пшеницы и менее 23...25 дней у твердых.

На природных кормовых угодьях отмечается выгорание (преждевременное засыхание) трав. При недостатке влаги в почве, высокой температуре воздуха и суховеях растения прекращают рост, теряют тургор (который не восстанавливается и ночью), желтеют и засыхают. Трава на пастбищах может выгореть местами или на всем пастбище.

Град, ливни, сильный ветер, пыльная буря и другие явления. Отмечается продолжительность и интенсивность перечисленных явлений, нанесших повреждение сельскохозяйственным культурам. Повреждение растений неблагоприятными явлениями отмечается в тех случаях, когда:

- происходит выдувание хлопка-сырца из коробочек;
- побиты листья, стебли (побеги), стволы, сучья, ветки древесных растений сломаны; сломаны или повалены деревья;
- побиты или сбиты соцветия, бутоны, цветки, завязи плодов, незрелые плоды, зрелые плоды;
- зерно выбито из колосьев или проросло на корню;
- посевы смыты потоками воды или селевыми потоками;
- происходит выдувание посевов — обнажение корней, обнажение узлов кущения у злаков, полное выдувание слабо укоренившихся растений;

появилось пожелтение каких-либо органов растений от ливневых дождей или от переувлажнения почвы; посевы полегли;

растения покрыты перенесенной ветром почвой;
посевы заилены в результате наводнений, дождевых или селе-
вых потоков;

поле залито водой;

имело место плохое опыление из-за туманов и дождей;

наблюдается растрескивание ягод после дождя.

Начиная с декады, в которую растения достигают высоты 10...15 см, до уборки на всех полевых культурах и на природных кормовых угодьях в дни обхода проводят наблюдения за полеганием растений. Отмечаются дата начала полегания или его усиления; интенсивность; площадь поля, занятая полеглыми растениями (в процентах от общей площади поля); причины, вызвавшие полегание или его усиление.

С начала раздельной уборки хлебов в хозяйстве (или с наступления фазы полной спелости) и до полного окончания уборочных работ следят за прорастанием зерна в валках и на корню. Прорастание зерна начинается, если после окончания периода покоя наблюдается пасмурная, дождливая, безветренная погода. В первую очередь прорастают зерна в колосьях, расположенных в нижних ярусах валка. Но в очень влажные годы прорастают зерна и в колосьях нескошенных хлебов.

Если при обходе наблюдательного участка будет обнаружено хотя бы одно наклонувшееся¹ зерно (колосья для осмотра лучше брать из нижнего яруса валка), то в каждой части наблюдательного участка отбираются подряд (без выбора) по пять колосьев (всего 20). Из них осторожно, чтобы не поломать ростки, вынимаются зерна. Затем подсчитывается количество зерен проросших, наклонувшихся и не проросших, а также рассчитывается количество проросших и наклонувшихся зерен, выраженное в процентах от общего количества зерен.

Почвенная корка. К почвенным коркам принято относить сильно уплотненный, „сцементированный“ поверхностный слой почвы. В одних случаях корка отслаивается в виде плиток, в других — представляет собой монолитный плотный слой, постепенно переходящий в нижележащую рыхлую почву.

Обычно корка на поверхности почвы возникает после сильных дождей (более 10 мм), чаще ливневых, при последующем повышении дневных температур воздуха до 15...25 °С и температуры поверхности почвы до 25...40 °С. выпадающие затем дожди либо увеличивают прочность корки, если температура воздуха продолжает оставаться высокой, либо, при понижении температуры до 10...15 °С и менее, смягчают ее.

¹ Зерно считается наклонувшимся, если из разрывов оболочки появится корешок. Зерно с корешком длиной более 2 мм считается проросшим.

Поверхность корок гладкая, плотная, более светлой окраски, чем общий цвет поверхности почвы. Толщина корок может быть от 1...2 до 50...80 мм.

Наблюдения за почвенными корками проводятся в дни обхода (через день) на наблюдательных участках:

ранней яровой зерновой культуры — от посева до кущения, а при его отсутствии до фазы выхода в трубку;

кукурузы, хлопчатника или других технических культур — от посева до появления массовых всходов;

картофеля — от посадки до смыкания растений в рядках.

При наблюдениях за почвенными корками на наблюдательном участке в четырех повторностях (см. рис. 8.1) определяется прочность корки в баллах согласно табл. 13.1 и измеряется ее толщина по излому (в мм).

Таблица 13.1

Оценка прочности почвенной корки

Прочность почвенной корки	Оценка, балл
Очень хрупкая. Рассыпается от прикосновения пальцами	1
Хрупкая. Легко разламывается на мелкие кусочки	2
Твердая. Разламывается с некоторым усилием	3
Плотная. Разламывается на крупные куски со значительным усилием	4
Очень плотная. Для разламывания требуется очень большое усилие	5

При визуальных наблюдениях за почвенными корками отмечаются распространение корки на поле (на всем поле, местами, на пониженных участках и т. п.), задержка всходов или их гибель из-за почвенной корки.

13.2. Определение повреждений сельскохозяйственных культур вредителями и болезнями

За повреждениями растений вредителями и болезнями наблюдения проводятся в дни обхода наблюдательных участков. Учет повреждений проводится во всех случаях обнаружения угнетенного состояния растений. Оно может быть вызвано вредителями и болезнями, хорошо видимыми на растениях (ржавчина, головня, вредная черепашка и др.), или вредителями и болезнями скрытого характера (шведская и гессенская мухи, кукурузный мотылек и др.).

Степень повреждения растений устанавливают непосредственно в поле на основании детального осмотра растений в четырех частях наблюдательного участка. Описания вредителей и характера повреждений вредителями и болезнями приведены в Наставлении, вып. 11, ч. I.

Степень повреждения растений определяется визуально: повреждены отдельные растения, немногие, многие, большинство, все (см. раздел 13.1).

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какие неблагоприятные метеорологические явления наносят существенный вред сельскому хозяйству (растениеводству и животноводству)?
2. Где и когда проводятся наблюдения за повреждениями растений неблагоприятными метеорологическими явлениями?
3. Какие параметры неблагоприятного метеорологического явления должен зафиксировать наблюдатель?
4. Как оценивается степень повреждения растений на поле?
5. Каковы отличительные особенности наблюдений за опасными гидрометеорологическими явлениями (ОЯ)?
6. Какие повреждения растениям наносят заморозки?
7. Какие повреждения растениям наносят засуха и суховей?
8. Как проводятся наблюдения за прорастанием зерна на корню и в валках?
9. Проведите наблюдения за почвенной коркой.
10. Как проводятся наблюдения за повреждениями сельскохозяйственных культур вредителями и болезнями?
11. Проведите наблюдения за повреждениями сельскохозяйственной культуры вредителями и болезнями и запишите результаты наблюдений в книжку КСХ-1м.

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПРОВЕДЕНИЕМ ПОЛЕВЫХ РАБОТ, ЗАСОРЕННОСТЬЮ ПОСЕВОВ И СОСТОЯНИЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

14.1. Наблюдения за проведением полевых работ

Состояние посевов, их продуктивность и качество в значительной степени определяются своевременностью проведения агротехнических мероприятий по уходу за ними. Почва перед посевом должна быть хорошо подготовлена, внесены минеральные удобрения. Если после посева образовалась почвенная корка, ее необходимо разрушить. На протяжении вегетационного периода должны проводиться агротехнические мероприятия по борьбе с сорняками, вредителями, болезнями и т. д. Нарушение технологии проведения агротехнического мероприятия может нанести вред состоянию посевов. Так, завышение дозы препарата при опрыскивании растений с целью уничтожения вредителей или возбудителей болезни может привести к ожогу растений и существенному снижению их урожайности.

На качество проведения агротехнического мероприятия большое влияние оказывают метеорологические условия. Если, например, при обработке посевов ячменя солью 2,4-Д (аминная соль) опрыскивание проводится при пониженном температурном режиме (ниже 14 °C), то даже небольшие дозы гербицида (0,4 кг/га) могут вызвать значительное повреждение растений.

Хорошее качество вспашки достигается при мягкопластичном состоянии почвы. Если она очень сухая, то после вспашки будут большие глыбы. В такую почву хорошо заделать семена при посеве невозможно, качество посева будет плохое.

Регистрация всех агротехнических мероприятий, проводимых на наблюдательном участке, позволяет сделать корректный анализ влияния агрометеорологических условий на состояние и продуктивность сельскохозяйственной культуры.

Наблюдения за проведением агротехнических мероприятий ведут на каждом наблюдательном участке, где осуществляются агрометеорологические наблюдения в текущем году. В состав наблюдений входит учет особенностей предпосевной обработки почвы и

агротехники посева растений, дат проведения основных работ по уходу за культурой и по уборке урожая, качества полевых работ.

При посеве культуры на наблюдательном участке отмечаются следующие сведения о предпосевной агротехнике и агротехнике посева: культура и ее сорт; предшественник; агротехнический фон (посев по зяби, пару, орошаемый участок, осушаемый и т. п.); характер основной и предпосевной обработки почвы (виды работ, дата вспашки и др.); глубина заделки семян, способ посева; расстояние между рядами (строчками) растений и растениями в ряду, между гнездами; вид удобрения, его наименование, дата и способ внесения (под вспашку, под предпосевную культивацию, в рядки, прикорневое, поверхностное и внекорневые подкормки). При наблюдениях за огородными и бахчевыми культурами, а также за земляникой дополнительно указывается способ возделывания культуры (на грядах, гребнях и др.).

Даты проведения полевых работ на наблюдательном участке отмечаются при очередном осмотре участка для регистрации фаз развития сельскохозяйственных культур. Необходимо отмечать даты, когда начатые в хозяйстве работы проводились с перерывами или совсем не проводились из-за неблагоприятных погодных условий.

При наблюдениях отмечают даты проведения основных полевых работ: по обработке почвы (вспашка, боронование, лущение, культивация, прикатывание и т. п.); по посеву, посадке (посев, подсев, пересев и т. п.); по уходу за культурами (подкормка, прополка, прореживание, окучивание, культивация или рыхление междурядий, полив, внесение удобрений, дефолиация, десикация, борьба с вредителями, затопление чеков, спуски воды и т. п.); по уборке урожая (сенокос, прямая или раздельная уборка, скашивание в валки, обмолот комбайнами, ручной или машинный сбор, копка корнеплодов, уборка урожая огородных и садовых культур).

Качество полевых работ оценивается по полевым работам, проводимым на наблюдательном участке. Оценка качества полевых работ дается по шкале: отлично (5), хорошо (4), удовлетворительно (3), плохо (2).

При оценке качества обработки почвы следует принимать во внимание наличие огрегов в отдельных местах поля, равномерность глубины обработки почвы, состояние поверхности поля (наличие глыб или слитности комков) и состояние увлажнения обрабатываемой почвы. Отличную оценку следует давать при глубине обработки почвы, соответствующей установленной для данного района норме, отсутствии огрегов и выполнении обработки при мягкопластичном состоянии почвы, что обеспечивает мелкокомковатую поверхность

поля. При недостаточной глубине обработки почвы, глыбистости или слитности поверхности поля, а также при наличии других недостатков оценка качества полевых работ снижается.

При оценке качества посева следует обращать внимание на наличие огрехов, отклонение от нормальной глубины заделки, равномерность высева семян, прямолинейность рядов, ширину междурядий и расстояние между зернами в ряду. При отличном качестве посева ряды получаются ровные, с установленной шириной междурядий (междугнездий), нормальной глубиной заделки семян и густотой стояния растений.

При оценке качества уборки следует учитывать потери (наличие остатков урожая на поле), признаки высокой влажности зерна, высоту скашивания трав и пр. При отличной уборке наблюдаются минимальные потери и нормальное качество урожая.

При плохой оценке любой полевой работы следует отметить причины снижения оценки (по погодным условиям, состоянию почвы или организационно-техническим причинам). Отмечаются также причины, по которым работы на наблюдательном участке затягивались на два дня и более.

14.2. Наблюдения за засоренностью посевов

Наблюдения за степенью распространения сорняков (засоренностью посевов) проводятся на всех наблюдательных участках, за исключением участков многолетних сеяных трав, природных кормовых угодий, древесных и кустарниковых растений.

Засоренность посева определяется во все дни осмотра растений при наблюдении за фазами развития. Интенсивность засоренности оценивается в баллах согласно табл. 14.1.

Таблица 14.1

Оценка интенсивности засоренности посевов

Интенсивность засорения	Оценка, балл
Сорняков нет	0
Очень слабая. Сорняки встречаются редко, почти незаметны среди культурных растений	1
Слабая. Сорняки заметны только вблизи, издали их не видно	2
Средняя. Сорняки встречаются часто, но не создают условий для заметного угнетения культурных растений	3
Большая. Сорняков много, заметно угнетение культурных растений	4

14.3. Визуальная оценка состояния сельскохозяйственных культур

Под общей визуальной оценкой состояния посевов сельскохозяйственной культуры (далее — состояния) понимается его визуальная характеристика в данный момент времени, отражающая совместно развитие, изреженность, высоту, засоренность, повреждения и относительную продуктивность в виде условной пятибалльной шкалы. Состояние посевов оценивается в последний день декады и при массовом наступлении наблюдаемых фаз развития.

При оценке состояния культур на наблюдательном участке учитываются мощность растений, равномерность посевов, степень повреждения метеорологическими явлениями, вредителями и болезнями, ожидаемая продуктивность и пр. При этом в период вегетативного роста принимаются во внимание высота и густота стояния растений, кустистость, интенсивность нарастания растительной массы. С переходом к репродуктивному периоду учитываются также количество и размер продуктивных органов: у зерновых — количество колосonoсных побегов, размер и озерненность колоса (метелки, початка); у хлопчатника — количество бутонов, цветков, завязей и коробочек; у льна-долгунца и конопли — количество коробочек и семян в них; у корнеплодов — размер корней; у овощных культур — количество бутонов (соцветий), цветков, завязей и плодов и их размеры.

Состояние посевов оценивается по шкале, приведенной в табл. 14.2, с учетом совокупности признаков или какого-либо одного признака, определяющего ожидаемую продуктивность.

Состояние плодово-ягодных культур (в баллах) оценивается визуально по двум характеристикам: 1) по общему состоянию деревьев или кустов без учета элементов плодоношения; 2) по видам на урожай с учетом элементов плодоношения.

Оценка плодовых деревьев и ягодных культур по общему состоянию проводится в период от разворачивания первых листьев до листопада по шкале, приведенной в табл. 14.3. При этом учитываются интенсивность цветения, количество завязей, а также количество сформировавшихся плодов. Следует иметь в виду, что при хорошем общем состоянии растения, оцениваемом в 5 баллов, оценка состояния по видам на урожай (см. табл. 14.2) может быть плохой (слабое цветение, необеспеченность цветков в период их цветения перекрестным опылением, опадение завязей). При отсутствии цветения в саду состояние культуры по видам на урожай оценивается в 1 балл.

Таблица 14.2

Оценка состояния посевов сельскохозяйственных культур

Оценка состояния, балл	Характеристика состояния участка, роста и развития культуры, ожидаемого урожая
5 (отличное, очень хорошее)	Густота стояния растений равномерная, высота одинаковая. Растения мощные, здоровые, хорошо укоренившиеся, с хорошо развитыми многочисленными соцветиями. Злаки имеют много колосовосных стеблей; колосья (метелки, початки) большие, озерненность колоса (метелки, початка) хорошая. У сахарной свеклы листья растут интенсивно: первый десяток листьев образуется в течение 4...5 декад после посева, второй десяток — в течение 2...3 декад после образования первого десятка. Рост и развитие растений проходят нормально. Можно ожидать урожая, близкого к максимальному для данного хозяйства
4 (хорошее)	Густота стояния растений недостаточно равномерная, местами наблюдается небольшая изреженность; при общем хорошем состоянии растения имеют среднюю кустистость (разветвленность), нарастание растительной массы идет несколько замедленно, посевы заметно засорены, повреждены вредителями, болезнями и др. Ожидаемый урожай выше среднего
3 (среднее)	Густота стояния растений не вполне равномерная. Высота и кустистость (разветвленность) средние; соцветия (колосья, метелки, початки) средних размеров. У сахарной свеклы период образования второго десятка листьев растянут до четырех декад и более. Имеются повреждения растений болезнями, вредителями или неблагоприятными метеорологическими явлениями. Посевы засорены. Можно ожидать урожая, близкого к среднему многолетнему для данного хозяйства
2 (плохое)	Посевы изрежены, густота стояния растений неравномерная, часто встречается оголенная почва. Растения имеют угнетенный вид, небольшую высоту, слабую кустистость (разветвленность). Соцветия (колосья, метелки, початки) небольшие. Посевы сильно засорены, отмечается их значительное повреждение болезнями, вредителями или неблагоприятными метеорологическими явлениями (засуха, суховеи, град, ливень, заморозки и др.). Урожай ожидается ниже среднего для данного хозяйства
1 (очень плохое)	Полная или почти полная гибель растений (плодов). Посевы сильно изрежены, густота стояния растений очень неравномерная, много свободных мест (из-за отсутствия всходов или гибели растений). Растения преимущественно низкорослые, очень слабораскутившиеся (слаборазветвленные), с мелкими соцветиями (колосьями, метелками, початками). Имеются значительные повреждения вредителями, болезнями или неблагоприятными метеорологическими явлениями. Ожидается очень плохой урожай или его отсутствие

Таблица 14.3

Оценка состояния плодово-ягодных культур по общему состоянию

Оценка, балл	Повреждение	Состояние растений
5	Нет	Совершенно здоровые
4	Слабое	Хорошее облиствение, листья нормальные, засохших веток и побегов мало
3	Среднее	Погибло около половины плодушек и молодых побегов, наблюдается выпад полускелетных ветвей и единичных скелетных сучьев
2	Сильное	Усохла большая часть кроны, куста
1	Гибель надземной части	Растение засохло полностью

Если состояние растений с начала вегетации оценивается ниже хорошего или балл оценки снижается в течение вегетационного периода, то необходимо указать, по каким признакам снижена или дана недостаточно высокая оценка и предполагаемые причины снижения оценки.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что регистрируется в книжке КСХ-1м при проведении наблюдений за агротехническими мероприятиями?
2. Какие агротехнические мероприятия и их характеристики указываются в сведениях о предпосевной агротехнике и агротехнике посева?
3. Как оценивается качество проведения агротехнического мероприятия?
4. Как определяется засоренность посева на наблюдательном участке?
5. Когда определяется визуальная оценка состояния сельскохозяйственной культуры?
6. Расскажите о шкале оценки состояния сельскохозяйственной культуры по видам на урожай.
7. Как определяется состояние плодово-ягодных культур?

НАЗЕМНЫЕ МАРШРУТНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И ОБСЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР И СРЕДЫ ИХ ОБИТАНИЯ

Большая пространственная изменчивость агрометеорологических параметров и низкая плотность сети агрометеорологических наблюдений в большинстве субъектов Российской Федерации не позволяют по данным стандартных наблюдений получить с необходимой точностью даже средние областные значения агрометеорологических параметров, не говоря уже о реальной картине их пространственного распределения. Поэтому в системе получения агрометеорологической информации особенно важное значение придается маршрутным наблюдениям (обследованиям) за состоянием сельскохозяйственных растений и среды их обитания.

Большое значение имеют данные маршрутных наблюдений, проводимых в наиболее ответственные периоды, например при составлении и уточнении прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур, в период посева озимых зерновых культур в зоне недостаточного увлажнения и т. д. Агрометеорологическая информация, полученная при маршрутных обследованиях сельскохозяйственных угодий, особенно важна при возникновении неблагоприятных для сельскохозяйственного производства погодных явлений. Она используется для достоверной оценки реальной площади распространения особо опасного для сельского хозяйства явления (ОЯ); оценки ущерба, нанесенного ОЯ; принятия решения о корректировке технологии возделывания сельскохозяйственной культуры и т. д.

Маршрутные агрометеорологические наблюдения бывают наземными и авиационными. Авиационные, в свою очередь, бывают визуальными и инструментальными. В зависимости от способа передвижения наблюдателя по маршруту наземные маршрутные наблюдения бывают пешеходными, велосипедными и автомобильными. Наземные маршрутные наблюдения делятся также на типы:

а) по масштабу — на внутрихозяйственные, районные и областные (краевые, в республиках — республиканские, далее по тексту — областные);

б) по срокам проведения — на эпизодические, постоянные и декадные.

Эпизодические обследования проводятся при возникновении неблагоприятных для сельского хозяйства явлений погоды (града, пыльных бурь, засух, заморозков и др.). Такие обследования заранее планировать невозможно. Однако каждое подразделение должно быть готово к их проведению в любое время.

Маршрут эпизодического обследования прокладывается по полям с наибольшим повреждением сельскохозяйственных культур или по районам с наибольшим распространением неблагоприятного метеорологического явления (почвенной засухи, почвенной корки и др.), определенным по предварительным данным (опросу населения, из средств массовой информации, сообщения администрации района и др.). Так как природа явлений, вызывающих повреждение, разная, то маршруты эпизодических обследований нередко меняются, при этом наблюдения проводятся не на наблюдательных участках, а на полях. К маршрутным обследованиям приступают, как правило, на следующий день после окончания неблагоприятного метеорологического явления.

Программу эпизодических обследований и необходимое оборудование определяют каждый раз в соответствии с видом опасного явления и той сельскохозяйственной культурой, которая подверглась неблагоприятному воздействию. Во всех случаях при маршрутных обследованиях в перечень регистрируемых параметров состояния посевов и среды их обитания должны входить: фаза развития, оценка состояния сельскохозяйственной культуры; площадь погибших и поврежденных посевов; оценка степени и характера повреждения растений; наименование метеорологического явления, болезни или вредителя, вызвавших их повреждения.

При оценке влияния неблагоприятных метеорологических явлений на сельскохозяйственные посевы учитываются характер и степень повреждения, а также площадь распространения и особенности расположения поврежденных растений (см. раздел 13.1).

Основная цель постоянных маршрутных наблюдений — получение дополнительной информации для расчета с заданной точностью средних областных значений агрометеорологических параметров в наиболее ответственные периоды роста и развития растений, а также проведения сельскохозяйственных работ. Эти наблюдения в течение всего года проводятся на одних и тех же полях и на одних и тех же наблюдательных участках. Областной маршрут разрабатывается ЦГМС, а районный и внутрихозяйственный — гидрометеорологической станцией, осуществляющей гидрометеорологическое обеспечение организаций и учреждений на соответствующей территории. Принципы выбора маршрута, составления программы наблюдений подробно изложены в РД 52.33.343—94.

Программа постоянных маршрутных наблюдений меняется от срока к сроку как по количеству наблюдательных участков применительно к каждой культуре, так и по составу наблюдаемых параметров. Для реального отображения в годовых обзорах влияния агрометеорологических условий на состояние сельскохозяйственных культур сохраняется определенное минимальное количество полей и регистрируемых параметров от срока к сроку, а объем информации для оперативного обеспечения сельскохозяйственных организаций постоянно меняется. Следует отдавать предпочтение той информации, в которой в данный момент нуждается потребитель (внутриведомственные организации, предприятия и частные лица, работающие в отраслях сельского хозяйства, и др.).

Постоянные маршрутные наблюдения выполняются в сроки, указанные в плане-задании. Если срок наблюдения определен датой наступления фазы, то наблюдения проводятся на 3...5-й день после того, как на станции отмечено массовое наступление фазы.

Методика наблюдений та же, что и при стандартных наблюдениях. Однако имеются некоторые упрощения. Так, влажность почвы и глубина весеннего промачивания измеряются не в четырехкратной, а в двухкратной повторности. При наблюдениях за высотой измеряются 10 типичных растений. Густота стояния растений и стеблей на наблюдательном участке подсчитывается в двухкратной повторности, за исключением следующих случаев:

стеблестой на поле имеет большую пространственную изменчивость (оценка состояния менее 4 баллов);

количество наблюдательных участков, на которых запланирован подсчет густоты стояния растений, меньше необходимого для расчета с заданной точностью среднего значения по области или району (эти сведения станции сообщает ЦГМС).

Декадные маршрутные наблюдения проводятся ежедекадно в течение всего вегетационного периода или его части. Они также являются постоянными, но сроки их проведения устанавливаются по дням декады (7...9-й день)

Если объем маршрутных наблюдений очень большой и нет возможности ежедекадно проводить наблюдения по полной программе на всех полях, включенных в план-задание, то выбираются контрольные поля: по два — на 4...5 ведущих культурах и по одному — на остальных 4...6 культурах. На этих полях наблюдения ведутся ежедекадно по полной программе. На остальных полях наблюдения ведутся по сокращенной программе, т. е. регистрируется фаза развития растений, засоренность, повреждения неблагоприятными метеорологическими явлениями, вредителями и болезнями, а также визуальная оценка состояния посевов.

Каждую декаду при проведении декадных маршрутных наблюдений основное внимание уделяется какой-либо одной культуре (в некоторых случаях — двум). Это, как правило, та культура, по которой необходим дополнительный объем информации для составления очередного агрометеорологического прогноза. Наблюдения за этой культурой проводятся по полной программе. Если объем этих наблюдений очень велик, сокращается количество полей с наблюдениями по сокращенной программе других культур.

Результаты определения влажности почвы при проведении маршрутных наблюдений записывают в книжки КСХ-3, указав на обложке „Маршрутные наземные агрометеорологические наблюдения 20... года”. Результаты наблюдений при определении жизнеспособности зимующих культур, а также за снежным покровом на полях помещаются в полевых книжках КСХ-2м. Результаты наблюдений за другими параметрами записываются в „Книжку для записи результатов наблюдений при проведении наземных маршрутных агрометеорологических обследований сельскохозяйственных угодий в 20...-м сельскохозяйственном году” (КСХ-8м).

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какова цель проведения маршрутных наблюдений?
2. Назовите типы маршрутных наблюдений.
3. Расскажите об особенностях организации и методики проведения агрометеорологических обследований сельскохозяйственных угодий.
4. Расскажите об организации и проведении постоянных маршрутных наблюдений за состоянием сельскохозяйственных культур и среды их обитания.
5. Какова особенность проведения декадных маршрутных наблюдений?

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

По данным наблюдений многочисленных гидрометеорологических станций изучаются климатические условия территории. Но наряду с общими макроклиматическими особенностями местности, характерными для больших пространств, практическое значение имеют особенности климата, возникающие на небольших участках местности под влиянием рельефа, растительности, состояния почвы, наличия водоемов и т. д. Различия микроклимата характерны для самого нижнего, приземного, слоя воздуха. В более высоких слоях они быстро исчезают. Растения на полях испытывают микроклиматические изменения особенно сильно, так как самые большие колебания температуры и влажности воздуха, скорости ветра, интенсивности солнечного нагрева происходят в пределах нижних 50...100 см над поверхностью почвы.

Микроклиматические различия наиболее сильно проявляются в ясные, солнечные дни при слабом ветре или штиле и в тихие ясные ночи. При сильном ветре или пасмурной погоде с низкой облачностью они сглаживаются.

Наиболее благоприятные по условиям теплообеспеченности участки обычно располагаются на склонах, на сухих песчаных почвах, т. е. на полях с пониженным плодородием почвы. Участки же с богатым плодородием почвы, расположенные, как правило, в пониженных местах, часто являются холодными, избыточно влажными, морозобойными, т. е. неблагоприятными по микроклиматическим условиям. Чтобы правильно оценить пригодность отдельных полей или участков для посева определенных культур, должны учитываться одновременно оба фактора — микроклиматические условия и плодородие почвы.

В данной главе описаны наиболее простые и доступные методы, применяемые для качественной и количественной оценки микроклиматических особенностей земельных угодий, пригодных для сельскохозяйственного применения.

Микроклиматические особенности сельскохозяйственных угодий проявляются главным образом вследствие неодинакового нагрева солнцем разных участков поверхности (склонов, ровных поверхностей, различно удаленных от водоемов, лесных массивов, покрытых растительностью полей или оголенных и т. д.). Для

оценки микроклиматических особенностей сельскохозяйственных угодий применяются глазомерные и инструментальные методы. Из инструментальных методов наиболее простыми и широко применяемыми являются: микроклиматические съемки минимальной температуры воздуха, маршрутные термометрические съемки, микроклиматические съемки для определения сумм температур воздуха, анемометрические съемки.

16.1. Глазомерная микроклиматическая съемка

Глазомерная микроклиматическая съемка может применяться как самостоятельный метод изучения метеорологического режима сельскохозяйственных угодий (например, при определении морозоопасности территории) и как подготовительный этап при инструментальной съемке. Этот этап облегчает интерполяцию данных инструментальной микросъемки по сходным условиям местности, позволяет связать в одно целое результаты отдельных, территориально разобщенных инструментальных микросъемок и наблюдений метеорологических станций.

Глазомерная микроклиматическая съемка позволяет лишь качественно оценить влияние подстилающей поверхности и форм рельефа на образование микроклиматических особенностей местности. Для приближенной количественной оценки этих особенностей необходимо иметь шкалу поправок, разработанную на основе инструментальных наблюдений на опорных станциях и на склонах разной ориентации (экспозиции) и крутизны, на местах, различно удаленных от кромки леса или водоема, и т. д.

При глазомерной съемке оцениваются: экспозиция и крутизна склонов, форма долин, степень их замкнутости и извилистости, степень облесенности склонов, открытость местности к холодным ветрам или ее защищенность от этих ветров лесными полосами, элементами рельефа и др.

При слабоизрезанном или равнинном рельефе основное внимание уделяется характеру распределения древесной растительности и степени заболоченности территории.

Ознакомление с местностью нужно начинать с наиболее возвышенной точки, откуда просматривается наибольшая площадь изучаемой территории. Съемка проводится по маршрутам, намеченным с расчетом охвата всех основных особенностей рельефа и распределения растительного покрова в исследуемом районе. Удобно проводить съемку по круговым маршрутам, продвигаясь по долинам рек и переходя по водоразделам из одной долины в другую (рис. 16.1).

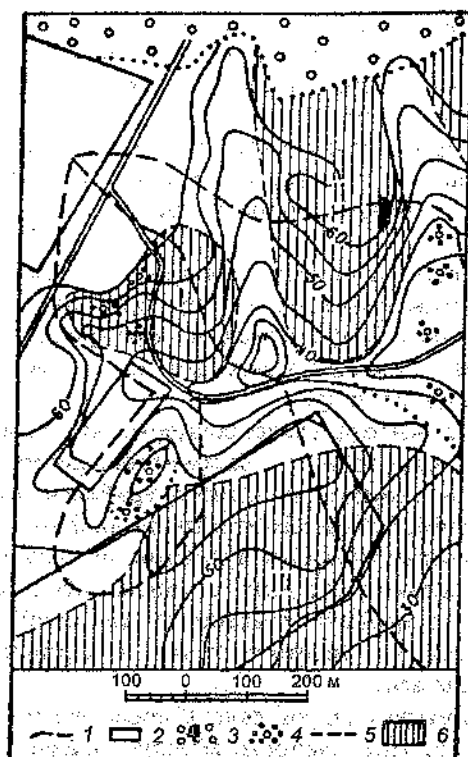


Рис. 16.1. Гипсометрическая основа для составления микроклиматической карты сельскохозяйственного угодья с указанием склонов южной экспозиции

1 — горизонталь (сечение через 5 м); 2 — границы полей; 3 — лес; 4 — кустарник; 5 — маршруты глазомерной съемки; 6 — южные склоны

Для определения морозоопасности территории особенно большое значение имеет учет выраженности рельефа, которая определяется относительной высотой выпуклых форм рельефа над дном долины (или другой формой понижения).

Для проведения микроклиматических съемок в первую очередь необходимо иметь крупномасштабную гипсометрическую карту (масштаб 1:10 000 или 1:25 000) и план хозяйства с указанием полей севооборота. Карты на гипсометрической основе на станциях, как правило, отсутствуют. Но некоторые элементы рельефа можно нанести на план-схему хозяйства, проведя простую топографическую съемку местности.

Схема ориентируется по направлению север—юг. Эта линия должна быть параллельна краю бумаги (схемы). Такую ориенти-

ровку схемы делают в нескольких точках. Для вычерчивания направлений пользуются трехгранной линейкой. Деления линейки используют для нанесения на план измеренных расстояний на местности с учетом масштаба схемы.

Расстояния при глазомерной и простой инструментальной съемках можно измерять шагами, рассчитывать по времени проезда измеряемого расстояния с определенной скоростью, а также оценивать на глаз.

Экспозицию склона определяют при помощи компаса или на глаз, если съемщик умеет по другим признакам определять направление: днем по солнцу, ночью по Полярной звезде, в лесу по стволу спиленного дерева, по выходам из муравейников, которые всегда обращены на юг, и др.

Относительная высота возвышенности над ближайшим понижением рельефа определяется барометром-высотометром (анероидом). Определение высоты проводится тройным отсчетом: первый отсчет на исследуемой возвышенности, второй — у подножия, третий — снова на возвышенности. Значения первого и третьего отсчетов не должны сильно расходиться между собой (для повышения точности следует проводить измерения при устойчивом атмосферном давлении). Все три отчета по времени не должны различаться больше чем на полчаса.

Отсчет высотомера следует делать после легкого постукивания по стеклу прибора. При разности между показаниями до и после постукивания, превышающей 2 мм (20 м), необходимо проводить повторные отсчеты через 5...10 мин после прихода на место для преодоления инерции прибора. Относительная высота между понижениями рельефа и возвышенностями вычисляется по разности отсчетов высотомера наверху и внизу.

Повышение и понижение рельефа, а также крутизну склонов можно определить при помощи эклиметра и вехи. Для этого один человек через каждые 20 м ставит вежу с помеченной на ней высотой глаза наблюдателя. Другой наблюдатель наводит нить предметного диоптра эклиметра на метку, нанесенную на вежу, нажимает кнопку и на кольце читает отсчет. Если идут по склону вверх, то отсчеты будут с плюсом, если по склону вниз — то с минусом.

Таким образом, получают крутизну склона в градусах. Затем по переводной шкале, учитывая постоянное расстояние (20 м) и высоту в градусах, определяют повышения или понижения рельефа в метрах. При некотором навыке крутизна склонов и разность высот с приемлемой точностью оцениваются на глаз.

Наибольшие микроклиматические различия наблюдаются при радиационных и адвективно-радиационных заморозках, так как

такие заморозки связаны с местным выхолаживанием при ясном небе и слабых ветрах.

Особенно внимательно следует относиться к определению конфигурации так называемых морозобойных ям, зависящих от форм рельефа. Охлажденный воздух ведет себя как вязкая жидкость, и уже небольшие препятствия на пути его стока могут явиться причиной образования „озера холода”.

Наряду с отметками на карте следует дать описание особенностей местности (характеристику ее изрезанности, преобладающую ориентировку склонов, наличие осушенных болот и т. д.).

Для того чтобы составить карту морозоопасности территории, нужно провести 3...4 съемки весной и 3...4 осенью при соответствующих условиях. Использование для этой цели ранних весенних и поздних осенних заморозков большой длительности (7...8 ч и больше) не рекомендуется, так как в этих условиях микроклиматические особенности рельефа значительно сглаживаются.

При проведении глазомерных съемок по определению морозоопасности территории применяют два вида съемок: по распределению инея и по повреждениям растений после заморозка (по фитомерам).

Глазомерная микроклиматическая съемка по инею. Простейшим видом термометрической съемки без приборов является обход или объезд территории во время заморозка при ясной тихой погоде перед самым восходом солнца, когда еще не начал таять иней. Отмечая на плане землепользования места, на которых лежит иней, можно получить представление о морозобойности отдельных участков. При этом надо следить, чтобы состояние подстилающей поверхности было более или менее однородным. Лучше всего отмечать иней на луговых травах, посевах зерновых культур, картофеле. На черном пару вследствие хорошей теплопроводности почвы иней не будет даже в том случае, если поле расположено низко и по существу является морозобойным. Больше всего иней будет на густом травостое вследствие его значительного охлаждения под влиянием ночного излучения и затрудненного теплообмена между воздухом и почвой.

Съемки следует повторять несколько раз поздней весной и ранней осенью, так как в каждом случае в зависимости от условий погоды и интенсивности заморозка степень морозобойности отдельного поля будет несколько иной. После 5...6 съемок, проведенных при заморозках в начале и конце вегетационного периода, получается уже достаточно надежное представление о сравнительной морозобойности отдельных частей территории.

Глазомерная микроклиматическая съемка по фитомерам. Об относительной морозоопасности территории можно также судить по

повреждениям растений после заморозка. Этот способ несколько сложнее предыдущего, так как следует отмечать лишь повреждения культур, одинаковых по морозостойкости. Хорошим весенним фитоиндикатором заморозков служат картофель и кукуруза, критическая температура повреждения которых $-2...-3^{\circ}\text{C}$. Этот вид съемки может быть проведен через один-два дня после заморозка, требует наличия посевов одинаковых по морозостойкости культур в разных частях рельефа и несколько лучшей подготовки наблюдателей.

Оба вида бесприборных съемок по определению морозобойности территории позволяют разделить ее (территорию) на три части: *наиболее морозобойную*, на которой наблюдаются любые заморозки, даже легкие; *среднюю*, захватывающуюся лишь более сильными заморозками; *теплую*, на которой заморозки либо не отмечаются совсем, либо отмечаются редко и отличаются небольшой интенсивностью.

Обработка материала бесприборных термометрических съемок заключается в критическом просмотре и сопоставлении данных отдельных съемок между собой и составлении карты по осредненным данным наиболее типичных случаев.

Для получения более точных количественных характеристик всех особенностей микроклимата сельскохозяйственного угодья следует проводить микроклиматические съемки с помощью метеорологических приборов.

16.2. Инструментальная микроклиматическая съемка

Выбор точек и маршрутов наблюдений. Для проведения инструментальных съемок (по определению морозоопасности территории, распределению сумм температуры воздуха, температуры почвы, скорости и направления ветра) на основании предварительных глазомерных съемок выбирается ряд характерных точек, на которых устанавливаются приборы. Количество точек (их должно быть не менее 3...4) зависит от разнообразия микроклиматических условий и лимитируется наличием приборов и наблюдателей.

В условиях изрезанного рельефа выбираются точки на дне долины, на склонах и на вершине возвышенности, а также по возможности на ровном открытом месте; в лесном районе — на полянах различного размера и открытом широком поле; в районе осушенных болот — на полях разного времени и разной степени осушенности и на прилегающем суходольном поле.

Каждую точку следует нанести на план хозяйства и описать ее местоположение. В описании точки указываются: форма рельефа (низина, склон, вершина), положение на склоне (верхняя, средняя, нижняя часть), экспозиция и крутизна склона, относительная высо-

та над ближайшим понижением рельефа, условия подтока и стока холодного воздуха около точки, характер растительности, влажность почвы; в болотистых районах — время и способ осушения болот; в лесных районах — расстояние до опушки леса и размер поляны.

При обработке результаты наблюдений всех точек сравниваются с данными наблюдений на одной, так называемой опорной точке, по местоположению приближающейся к условиям метеорологической станции, с данными которой будут сравниваться полученные результаты. При холмистом рельефе за опорную точку принимается точка на открытом ровном месте, в заболоченной местности — на суходоле, в лесной — на открытом месте, на расстоянии от леса не менее 0,5 км.

Микроклиматическая съемка минимальной температуры воздуха. Для получения количественных показателей морозоопасности территории на нескольких характерных точках (не менее 3...4), расположенных в разных по морозоопасности условиях, в весенний и осенний период возникновения заморозков проводится съемка минимальной температуры. Минимальные термометры устанавливаются на высоте 50 см над поверхностью почвы в горизонтальном положении на специальных проволочных петлях-держателях, прикрепленных к вбитому в землю колышку (рис. 16.2), или на двух рогатках. Наблюдения проводятся одним наблюдателем, обходящим или объезжающим выбранные точки 2 раза в сутки. Ежедневно вечером на каждой точке устанавливается минимальный термометр; штифт, как обычно, подводится до касания его со спиртом.

Утром на каждой точке в наблюдательную книжку записываются значения температуры воздуха, отсчитанные по спирту и по штифту. После этого термометр снимается и убирается в прохладное затененное место. При снятии отсчетов по термометру отмечается наличие ночью росы или инея. Для дальнейшей обработки материала необходимы сведения о погоде каждой ночи (ясно, переменная облачность, пасмурно, дождь, штиль, слабый или сильный ветер и т. д.).

Один раз в две-три недели показания термометров сверяются между собой. Разность в показаниях термометров не должна превышать 0,3...0,4 °C.

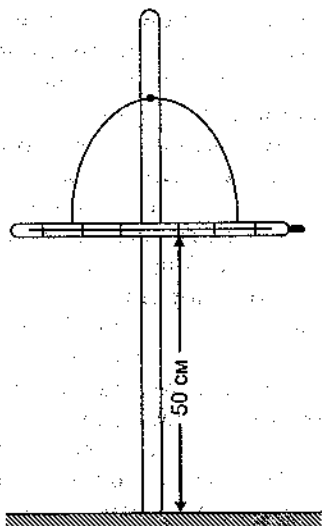


Рис. 16.2. Установка минимального термометра

Результаты всех проведенных наблюдений распределяются по типам погоды. Затем за каждый день вычисляется разность между значениями температуры на каждой точке и на опорной точке. Разности, полученные в среднем за 7...8 тихих ясных ночей после холодной адвекции (падение температуры ниже 0 °C при этом не является обязательным или может наблюдаться только на самой холодной точке), отражают относительную характеристику морозоопасности определенного участка территории.

Маршрутная термометрическая съемка. Для проведения маршрутной съемки необходимо участие не менее двух наблюдателей, так как одновременно с наблюдениями на отдельных точках маршрута, проводимыми одним из наблюдателей, второй наблюдатель в течение всей съемки ведет наблюдения на опорной точке. С данными опорной точки в дальнейшем сравниваются данные всех остальных точек маршрута, поэтому весьма важно рассчитать время наблюдений на каждой точке маршрута, чтобы наблюдения на всех точках, включая опорную, проводились одновременно.

Наблюдения проводятся перед восходом солнца в ясные ночи. Длина маршрута рассчитывается таким образом, чтобы за 1,5...2 ч можно было провести наблюдения на всех точках и закончить наблюдения к моменту восхода солнца.

При маршрутной термометрической съемке наблюдатель должен иметь психрометр, переносной шест (или установленные в каждой точке наблюдений шесты), часы, компас, легкий вымпел (ленточка), карманный электрический фонарь.

За весну и осень на маршруте должно быть проведено около 10 съемок. Методика выбора характерных точек примерно такая же, как и при проведении съемки минимальной температуры почвы. Для каждой точки наблюдения составляется подробное описание, точка наносится на план и фиксируется на местности путем забивки колышка.

Наблюдения проводятся с помощью аспирационного психрометра, подвешенного на специальном шесте горизонтально на высоте 150 см (а при наличии второго психрометра — и на высоте 50 см). Психрометр располагается так, чтобы воздух при ветре перемещался от прибора в сторону наблюдателя, а не наоборот. При каждом наблюдении снимаются по два отсчета показаний сухого и смоченного термометров. Первый отсчет проводится через 3 мин после смачивания батиста и завода аспиратора психрометра. После первого отсчета подзаводится аспиратор и через 1 мин делается второй отсчет. В наблюдательскую книжку записываются время начала отсчета и показания обоих термометров.

Во время наблюдений на каждой точке, так же как и на опорной, в наблюдательскую книжку записываются: количество и фор-

ма облаков, направление (с использованием вымпела и компаса) и скорость ветра (по табл. 16.1) и наличие гидрометеоров (росы, иней). Отмечаются также время восхода солнца и время попадания его лучей на участок, на котором проводятся наблюдения.

Таблица 16.1

Глазомерная оценка скорости ветра

Характеристика	Глазомерная оценка	Скорость по флюгеру, м/с
Штиль	Дым поднимается отвесно или почти отвесно, листья неподвижны	0...1
Слабый ветер	Дым отклоняется, лицо ощущает ветер	1...2
Легкий ветер	Дуновение ветра хорошо чувствуется лицом, листья шелестят	2...3

При обработке результатов наблюдений сначала подсчитывается среднее значение из двух отсчетов каждого термометра и по ним определяется влажность воздуха. Затем полученные для каждой точки данные сравниваются (посредством вычисления разностей) с данными опорной точки.

Микроклиматическая съемка температуры почвы. Данные о температуре почвы нужны для определения времени наступления ее спелости и возможного времени начала посева или посадки сельскохозяйственных культур, при выборе участков под теплолюбивые культуры, при разработке наиболее рациональных агротехнических мероприятий на отдельных полях.

Значения температуры пахотного слоя значительно различаются на отдельных полях, они зависят от механического состава почвы, рельефа местности, экспозиции склонов, заболоченности, растительного покрова и др. Наибольшие разности температур отмечаются в дневное время.

Точки наблюдений в холмистой, заболоченной и лесистой местности выбираются так же, как и при оценке микроклиматических особенностей температуры воздуха и в большинстве случаев совпадают с ними. В равнинной местности точки наблюдений выбираются на участках с разными почвами, чтобы отразить различия между „теплыми” и „холодными”.

Измерения температуры почвы проводятся термометром АМ-6 на глубинах 5 и 10 см на ровной площадке размером 2...3 м² (см. раздел 17.1). Лучше иметь два термометра и измерения температуры почвы проводить сразу на двух глубинах. При измерении температуры почвы наблюдатель должен закрывать собой термометры от прямых лучей солнца.

Основными показателями температурного режима почвы являются средняя суточная, минимальная и максимальная температуры. Наблюдения над температурой почвы следует проводить ежедневно утром в 6...7 ч, когда температура близка к минимальной, и днем в 16...17 ч, когда она близка к максимальной. Чтобы уточнить время наступления минимума и максимума применительно к изучаемому району и почвам, целесообразно перед началом наблюдений провести в ясный малооблачный день ежечасные отсчеты температуры почвы на глубинах 5 и 10 см с 2 до 18 ч.

При одновременном изучении температуры почвы и воздуха время наблюдений следует приурочить к часам наблюдений за температурой почвы.

Данные наблюдений за температурой почвы заносятся в наблюдательскую книжку с точным указанием времени отсчета на каждой точке. В графу „Примечание” записываются сроки начала полевых работ, даты посева и всходов сельскохозяйственных культур, гидрометеоры. Для всех точек и измеряемых глубин вычисляется средняя суточная температура: $t_{\text{ср}} = (t_{\text{мин}} + t_{\text{макс}})/2$.

При дальнейшей обработке материалов одна точка принимается за опорную (на ровном месте или у подножия склона — в холмистой местности, на суходоле — в заболоченной и т. д.). Между опорной и всеми остальными точками за каждый день вычисляются разности по средней суточной, минимальной и максимальной температурам. Затем вычисляются средние разности, которые используются для сравнительной оценки режима температуры почвы на территории хозяйства. Они достаточно устойчивы во времени.

Анемометрическая съемка. При анемометрической съемке изучается отклонение направления и скорости ветра на маршрутной точке по сравнению с опорной, которая выбирается на открытом ровном месте. Большая часть маршрутных точек должна совпадать с точками наблюдений при термометрической съемке.

Для проведения анемометрической съемки у наблюдателя должны иметься: анемометр, шест (рейка) для его установки, вымпел, компас, часы с секундной стрелкой и фонарь. Анемометрические съемки проводятся синхронно двумя-тремя наблюдателями: один наблюдатель располагается на опорной точке, другие проходят по маршрутным точкам. Наблюдения проводятся путем 2-кратного включения анемометров: по 5 мин с перерывом на 1 мин.

В наблюдательскую книжку записываются: дата и время измерений, отсчеты по анемометру, направление ветра, облачность и гидрометеоры. После первичной обработки результатов наблюдений составляется сводная таблица и вычисляется коэффициент изменения скорости ветра (отношение скорости ветра на маршрутной

точке к его скорости на опорной). Для каждой точки наблюдений записывается преобладающее направление ветра и вычисляется средний коэффициент изменения скорости ветра для каждого основного румба.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Назовите наиболее распространенные методы микроклиматических съемок.
2. Назовите основные особенности глазомерной микроклиматической съемки.
3. Как проводится простая топографическая съемка местности?
4. Как проводится глазомерная микроклиматическая съемка по инею?
5. Как проводится выбор точек и маршрутов для микроклиматических наблюдений?
6. Как проводятся микроклиматические съемки минимальной температуры воздуха?
7. Расскажите о маршрутных термометрических съемках.
8. Как проводится микроклиматическая съемка температуры почвы?
9. Расскажите о методике проведения анемометрических съемок.

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ТЕМПЕРАТУРОЙ И ПРОМЕРЗАНИЕМ ПОЧВЫ

17.1. Температура пахотного слоя почвы

Температура почвы — показатель теплового содержания почвы. От состояния почвы и прежде всего от ее температуры зависят возможность и скорость прорастания семян (клубней, корнеплодов, луковиц), время появления всходов и будущее состояние растений. В главе 1 приведены минимальные и максимальные значения температуры почвы, ограничивающие условия прорастания семян. Одни культуры начинают прорастать при температуре, близкой к 0°C , а другие — при 15°C и выше. Наиболее требовательны к температуре почвы теплолюбивые культуры.

Самые благоприятные условия для роста растений складываются при значениях температуры почвы, близких к оптимальным для вида, сорта конкретной культуры. Например, наиболее благоприятными температурами для получения своевременных дружных всходов ячменя являются $12\ldots 14^{\circ}\text{C}$. При приближении температуры к 0°C или к $+37^{\circ}\text{C}$ растения сначала угнетаются, а затем и повреждаются. Если же температура почвы опускается ниже указанных минимальных значений или повышается выше максимальных — растения погибают. При низких значениях температуры почвы весной наиболее часто повреждаются теплолюбивые культуры.

Более подробно значения температуры почвы для сельскохозяйственных культур описаны в главе 1.

Мониторинг температуры пахотного слоя почвы на участке без растительности осуществляется на метеорологической площадке в течение всего вегетационного периода с помощью термометров Савинова. Методика наблюдений изложена в Наставлении гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. I.

На сельскохозяйственных полях наблюдения за температурой пахотного слоя почвы проводятся на наблюдательном участке поля, предназначенного под посев поздней теплолюбивой культуры (кукуруза, хлопчатник, картофель и др.). На этом наблюдательном участке выделяется площадка $2\ldots 3\text{ м}^2$. Если участок расположен на склоне, то выбирают две площадки: в верхней и нижней частях склона.

Наблюдения за температурой пахотного слоя почвы начинаются весной с момента подсыхания почвы на глубине 10...12 см до мягкопластичного состояния и проводятся до появления массовых всходов культуры, посеянной на данном наблюдательном участке, или до напуска воды в чеки при наблюдениях на рисовом поле.

В южных районах, где мягкопластичное состояние почвы бывает и зимой, сроки начала наблюдений устанавливает УГМС.

При измерении температуры пахотного слоя почвы на сельскохозяйственных полях применяются термометры: АМ-6, ТЭТ-2, ТЭТ-Ц11 и АМТ-2. Устройство термометров АМ-6, ТЭТ-2, ТЭТ-Ц11 описано в приложении 29 РД 52.33.217—99.

Термометр электронно-цифровой АМТ-2 предназначен для измерения температуры: весной — температуры пахотного слоя почвы на глубинах 5 и 10 см (датчик ДТЩ), зимой — температуры почвы на глубине залегания узла кущения озимых зерновых культур и корневой шейки многолетних трав (датчик ДТС). Он состоит из пульта измерения температуры (ПИТ), датчиков температуры ДТЩ (2 шт.) и ДТС (7 шт.). Термометр позволяет измерять температуру почвы в диапазоне от -50 до $+60$ °С с погрешностью $\pm 0,2$ °С. Масса ПИТ с датчиком ДТЩ 800 г.

ПИТ — переносной прибор, внутри которого размещены плата контроллера и встроенный источник питания. На лицевой панели расположены цифровой индикатор и кнопки управления: «0»...«9», «*», «#», «W», «R», «IN/OFF» (рис. 17.1). На корпусе ПИТ расположены также разъемы «ДТС» и «ДТЩ» для подключения соответствующих датчиков температуры. ПИТ предназначен для выбора режима работы термометров, для преобразования электрического сопротивления чувствительного элемента датчика температуры в соответствующее ему значение напряжения, для обработки результатов измерений и вывода значения температуры на цифровой индикатор, для хранения последнего результата измерений в каждой точке наблюдательного участка в запоминающем устройстве и вывода его на цифровой индикатор.

Термометр работает в двух режимах: «Измерение» и «Считывание»; к пульту ПИТ можно подключить одновременно только один датчик ДТС и один датчик ДТЩ.

Режим «Измерение»: Подключается датчик ДТЩ (или ДТС) к ПИТ и нажатием кнопки «IN/OFF» (см. рис. 17.1) включается питание прибора. На цифровом индикаторе появится надпись¹:

ДТС ОТКЛ
ДТЩ _

¹ Если напряжение ниже нормы, на индикаторе появится надпись «U_b-x» (x — значение напряжения). В этом случае повторным нажатием кнопки «IN/OFF» необходимо отключить питание, вынуть подсевший элемент питания и вставить новый.

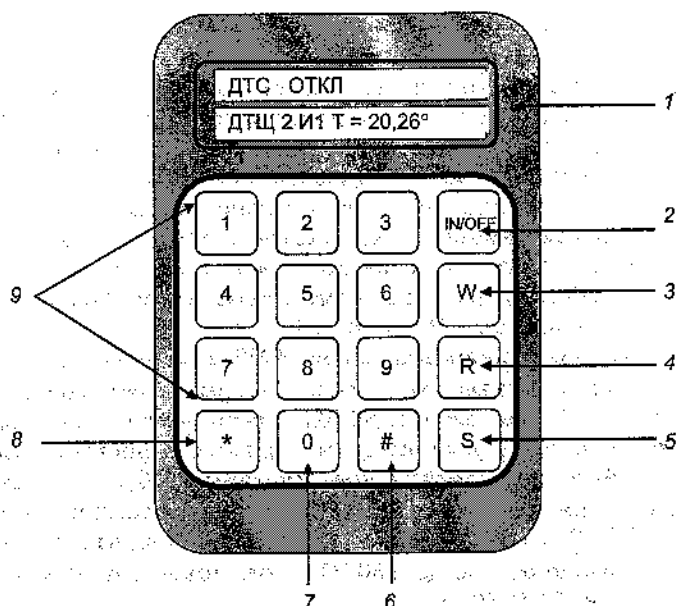


Рис. 17.1. Лицевая панель ПИТ

1 — цифровой индикатор; 2 — кнопка включения и выключения питания; 3 — кнопка занесения измеренных значений температуры в память ПИТ; 4 — кнопка вывода на индикатор значений температуры, занесенных в память ПИТ; 5 — кнопка очистки (сброса) информации из памяти ПИТ; 6 — кнопка для циклического (поочередного) вывода на индикатор значений температуры, измеренных датчиком ДТЩ; 7 — кнопка включения подсветки индикатора в темное время суток; 8 — кнопка для циклического (поочередного) вывода на индикатор значений температуры, измеренных датчиком ДТС; 9 — 1...9 — кнопки ввода в ПИТ номера датчика ДТС или ДТЩ и порядкового номера измерения температуры пахотного слоя почвы

Затем с помощью кнопок «1»...«9» необходимо ввести номер подключенного датчика (номер датчика указан на вилке соединительного жгута). После этого на цифровом индикаторе появится новая надпись, например:

ДТС ОТКЛ
ДТЩ 2 И _

С помощью кнопок «1»...«9» вводится порядковый номер измерения. Сразу же после введения номера измерения происходит автоматическое измерение температуры и вывод информации на цифровой индикатор. Например, мы увидим надпись:

ДТС ОТКЛ
ДТЩ 2 И1 T=20,26

Если подключен датчик ДТС, то значение температуры на цифровом индикаторе появится сразу же после введения номера датчика.

Измерение температуры проводится каждые 2 с и с такой же периодичностью изменяются ее значения на цифровом индикаторе.

Для занесения информации в память ПИТ необходимо нажать кнопку «W», при этом в запоминающее устройство записывается последнее измеренное значение температуры, что подтверждается двумя звуковыми сигналами и надписью на цифровом индикаторе:

ЗАПИСАНО

Через 30 с после нажатия кнопки «W» автоматически отключается питание ПИТ; при этом в запоминающем устройстве сохраняется последнее измеренное значение температуры ДТС или значение температуры для каждого порядкового номера измерения ДТИЦ.

Режим «Считывание». Последовательным нажатием кнопок «IN/OFF» и «R» включаются соответственно питание и режим «Считывание». Затем после каждого нажатия на кнопку «*» на цифровом индикаторе появится значение температуры, измеренное очередным датчиком ДТС, а после каждого нажатия на кнопку «#» — значение очередного измерения температуры датчиком ДТИЦ. После окончания считывания информации о температуре почвы нажатием кнопки «IN/OFF» отключается питание ПИТ.

При измерении температуры пахотного слоя почвы на специально выделенной площадке осуществляют следующие операции:

- снимают заглушку с разъема датчика температуры;
- подключают датчик температуры к розетке «ДТИЦ» ПИТ;
- заглубляют наконечник ДТИЦ в почву вертикально на глубину 5 см и выдерживают на этой глубине 5 мин¹;
- измеряют температуру и заносят ее значение в память ПИТ (см. Режим «Измерение»);

заглубляют ДТИЦ в почву на глубину 10 см и таким же образом, как на глубине 5 см, измеряют температуру и заносят ее значение в память ПИТ; отсоединяют разъем ДТИЦ от ПИТ; надевают заглушку на разъем ДТИЦ.

Если на наблюдательном участке выбраны две площадки для измерения температуры почвы, то после измерений на первой площадке переходят на вторую и все повторяется.

Измерения температуры пахотного слоя почвы проводятся только после введения в ПИТ порядкового номера измерения. Для этого при измерении температуры почвы на глубине 5 см на цифровом индикаторе нажимают на кнопку «1», на глубине 10 см — на кнопку «2». Если измерения проводятся на двух площадках, то на второй нажимают соответственно кнопки «3» и «4».

¹ Правила заглубления датчика температуры в почву, затенения, предохранения от опрокидывания одинаковы для всех применяемых термометров.

17.2. Температура почвы на глубине залегания узла кущения озимых зерновых культур и корневой шейки многолетних трав

Мониторинг температуры почвы под зимующими сельскохозяйственными культурами. Состояние зимующих культур и их урожайность в значительной степени зависят от агрометеорологических условий зимнего периода. По данным В. А. Мойсейчик, в отдельные неблагоприятные годы площадь посевов озимых зерновых культур, погибших зимой, составляла более 20 и даже более 30 % всей посевной площади под этими культурами. Гибель растений зимой часто происходит не от одной причины, а от действия комплекса неблагоприятных факторов. Однако на больших площадях зимующие культуры наиболее часто погибают вследствие вымерзания и выпревания растений (см. главу 3), поэтому важное значение в зимний период имеют наблюдения за температурой почвы на глубине залегания узла кущения озимых зерновых культур и корневой шейки многолетних трав (далее — температура почвы).

Ущерб от гибели зимующих культур можно сократить, с одной стороны, за счёт более точного учета агроклиматических условий перезимовки растений в различных регионах страны и дифференцированного применения агротехники в зависимости от сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий в каждом конкретном году, а с другой — за счёт посева погибших озимых яровыми культурами. Для своевременной подготовки к посеву и ликвидации большого напряжения в весенних полевых работах производственников и планирующие сельскохозяйственные органы должны с большой заблаговременностью знать размеры площадей, на которых зимующие культуры к моменту возобновления вегетации погибнут, конкретно в каждом регионе и в целом по стране.

Наблюдения за температурой почвы проводятся на наблюдательных участках, расположенных на полях озимых зерновых культур и многолетних сеяных трав. Температура почвы измеряется на глубине 3 см, соответствующей средней глубине залегания узла кущения растений озимой зерновой культуры и корневой шейки многолетних трав. Так как она очень сильно зависит от снежного покрова, „теплой шубой“ укрывающего поля, то при каждом измерении температуры обязательно измеряется высота снежного покрова.

Наблюдения за температурой почвы проводятся со дня наступления отрицательной средней суточной температуры воздуха осенью до возобновления вегетации зимующих культур весной. Они проводятся в последний день каждой пятидневки и дополнительно при бесснежье или при снежном покрове высотой до 5 см в дни, ко-

гда минимальная температура воздуха опускается ниже минус 15 °С, а при снежном покрове от 6 до 20 см — ниже минус 20 °С.

Наблюдения проводятся в 8...9 ч; каждый раз отсчеты по приборам нужно снимать в одно и то же время.

Срочная температура почвы измеряется с помощью термометров АМ-2М, АМ-29А, транзисторных электротермометров ТЭТ-2 и ТЭТ-Ц11, электронно-цифрового АМТ-2.

Срочное, минимальное и максимальное значения температуры почвы измеряются термометрами: почвенным АМ-34 и минимально-максимальным АМ-17. В настоящее время серийно выпускаются только термометры АМТ-2 и АМ-34. Они и описываются в настоящей главе. Остальные термометры описаны в ряде изданий Наставления гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 11.

Термометр почвенный АМ-34 (далее — термометр) является автоматизированным средством измерения температуры, выполненным на базе программно-технических средств. Он имеет следующие технические характеристики:

диапазон измерения, °С	от минус 30 до 30
предел допустимой погрешности, °С	± 0,5
длительность измерительного цикла с передачей информации, с	от 5 до 15
ток потребления блока измерения и регистрации (БИР), мА, не более:	
в режиме измерения	0,2
в режиме хранения информации	0,1
масса БИР с датчиком температуры и соединительным жгутом, кг, не более	1,5
масса ПСИ со встроенным источником питания, кг, не более	0,5

Термометр состоит из БИР, датчика температуры и пульта считывания информации (ПСИ).

БИР с датчиком температуры предназначен для измерения температуры почвы, преобразования значений измеренной температуры в цифровой код, определения максимального и минимального значений температуры, хранения значений минимальной и максимальной температуры, передачи информации по радиоканалу в ПСИ.

БИР через каждые 30 мин регистрирует значение срочной температуры почвы, сравнивает его с имеющимися в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) БИР значениями минимальной и максимальной температуры, полученными по предыдущим запросам, уточняет их и хранит в памяти до следующего запроса датчика температуры.

Датчик температуры представляет собой медный микропленочный термометр сопротивления с номинальным сопротивлением

50 Ом, заключенный в герметичный корпус из нержавеющей стали толщиной 4 мм. Он соединяется с БИР с помощью жгута (4-проводная линия связи) длиной (2,5 (0,1) м.

ПСИ — переносной прибор. В корпусе, изготовленном из АБС-пластика, размещены плата контроллера и встроенный источник питания. ПСИ предназначен для передачи по радиоканалу команды включения БИР, приема и обработки информации из БИР, отображения информации на цифровом индикаторе, хранения данных.

При посещении наблюдательного участка наблюдатель с помощью контроллера ПСИ по радиоканалу включает контроллер БИР. В это время БИР осуществляет считывание срочной температуры почвы и передачу ее значения (а также минимальной и максимальной температуры между сроками наблюдений) по радиоканалу в контроллер ОЗУ ПСИ. Через 30 мин в контроллере БИР значениям минимальной и максимальной температуры присваивается значение срочной температуры и в дальнейшем происходит формирование новых значений максимальной и минимальной температуры почвы, которое продолжается до следующего срока наблюдений.

При подготовке к выполнению измерений осенью должны быть проведены следующие работы: проверка работоспособности термометра, выбор места установки термометра на наблюдательном участке, установка термометра и снегомерной рейки на наблюдательном участке.

Проверка работоспособности термометра перед установкой БИР на наблюдательном участке осуществляется в помещении станции (поста) следующим образом. В БИР вставляются четыре элемента питания 13LR20, а в ПСИ — элемент питания типа «Корунд». Тумблер Х1 внутри корпуса БИР переводится в положение «ВКЛ». После этого БИР работает в режиме непрерывного автоматического измерения и регистрации температуры через каждые 30 мин.

Для считывания информации ПСИ следует направить в сторону БИР, подойти к нему на расстояние 1...2 м. Нажать кнопку «IN/OFF» (рис. 17.2). При этом на индикаторе ПСИ высвечивается надпись «Ub норма» или «Ub < нормы». Если напряжение питания ниже нормы (на индикаторе надпись «Ub < нормы»), следует заменить элемент питания в ПСИ. После этого следует нажать кнопку «S» (старт). Через 3...5 с на индикаторе одна за другой появятся надписи: «ПЕРЕДАЧА», «ПРИЕМ», «ПРИЕМ ЗАВЕРШЕН». Значения температуры почвы по радиоканалу передаются из БИР в ПСИ.

Принятые с ОЗУ БИР значения температуры просматриваются с помощью кнопки «#». При каждом нажатии на индикаторе поочередно появляются значения срочной $T_{\text{тек}}$, минимальной T_{min} и максимальной T_{max} температуры.

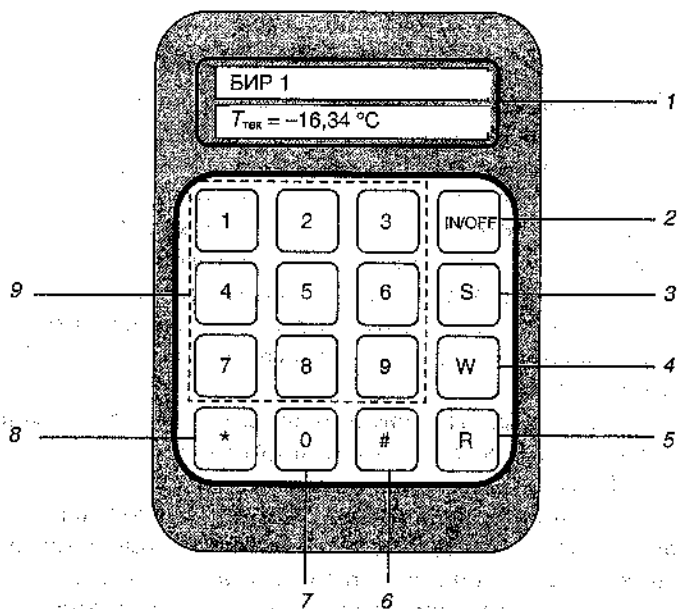


Рис. 17.2. Лицевая панель ПСИ

1 — цифровой индикатор; 2 — кнопка включения и выключения питания; 3 — кнопка включения передатчика БИР и приемника ПСИ; 4 — кнопка просмотра значений температуры и занесения их в ОЗУ ПСИ; 5 — кнопка вывода на индикатор значений температуры, занесенных в ОЗУ ПСИ; 6 — кнопка просмотра значений температуры без записи в ОЗУ ПСИ; 7 — кнопка включения подсветки индикатора в темное время суток; 8 — кнопка очистки (сброса) памяти ОЗУ ПСИ; 9 — кнопки для ввода номера БИР

Занесение в ОЗУ ПСИ значений температуры, принятых с БИР, осуществляется нажатием кнопки «W». В начале наблюдения первым на индикаторе высвечивается значение срочной температуры. При нажатии кнопки «W» оно заносится в память ПСИ, а на индикаторе появляется значение минимальной температуры. Опять нажимают кнопку «W». Оно также заносится в память ПСИ, а на индикаторе появляется значение максимальной температуры. Тем же способом его заносят в память ПСИ.

Для считывания записанной в ОЗУ ПСИ информации нажимают кнопку «R» (если питание прибора уже отключено, то предварительно включают его нажатием кнопки «IN/OFF»). Еще раз нажимают кнопку «R». На индикаторе появится надпись «БИР_». С помощью кнопок «1»...«9» набирают нужный номер БИР. На индикаторе появится значение срочной температуры. Например:

Если не происходит повторного нажатия кнопок, то через 60 с ПСИ автоматически переключается в дежурный режим хранения информации.

БИР 2

$$T_{\text{тек}} = -11,79^{\circ}\text{C}.$$

Нажимая кнопку «#», просматривают значения минимальной и максимальной температуры.

Для очистки памяти ПСИ необходимо, не выходя из режима чтения, нажать кнопку «*». На индикаторе появится надпись: «СБРОСИТЬ ДАННЫЕ?». При положительном решении («ДА») нажать кнопку «*», при отрицательном («Нет») — кнопку «R». Сброс данных сопровождается звуковым сигналом и надписью: «ОЧИСТКА». После очистки автоматически отключается питание. Если была нажата кнопка «R», данные не сбросятся, ПСИ выйдет из режима чтения.

Каждый раз перед выходом в поле для измерения температуры почвы необходимо в помещении станции (поста) проверить работоспособность ПСИ.

Место установки термометра на наблюдательном участке определяется согласно РД 52.33.217—99. Установка термометра и снегомерной рейки осуществляется следующим образом.

В месте установки термометра выкапывается яма диаметром около 20 см. Глубина ямы определяется глубиной, на которой температура почвы зимой понижается не ниже минус 10°C (в большинстве регионов — не более 50 см).

БИР устанавливается в яме наклонно в сторону наблюдателя так, чтобы жгут с датчиком температуры был сверху (рис. 17.3). От места установки БИР по междурядью выкапывается канавка длиной, равной длине соединительного жгута, глубиной около 3 см. В конце канавки на глубине 3 см датчик температуры вдавливается в горизонтальном положении в ненарушенную почву на всю длину датчика. Соединительный жгут аккуратно укладывается на дно канавки и засыпается ранее вынутой почвой.

Глубина установки датчика температуры строго контролируется, она должна быть равна $(2,8 \pm 0,3)$ см. БИР прикрывается крышкой из фанеры или досок. Сверху насыпается слой почвы и выравнивается. Возле датчика температуры почвы устанавливается снегомерная рейка согласно приложению 29 РД 52.33.217—99.

Чтобы убедиться в работоспособности термометра, проводится контрольное измерение температуры почвы.

При измерении температуры почвы на наблюдательном участке подходят к месту установки БИР на расстояние 1...2 м. ПСИ направляется в сторону БИР и производится считывание информации, накопившейся в БИР, как описано выше. Затем проводятся наблюдения за снежным покровом согласно РД 52.33.217—99.

правляется в сторону БИР и производится считывание информации, накопившейся в БИР, как описано выше. Затем проводятся наблюдения за снежным покровом согласно РД 52.33.217—99.

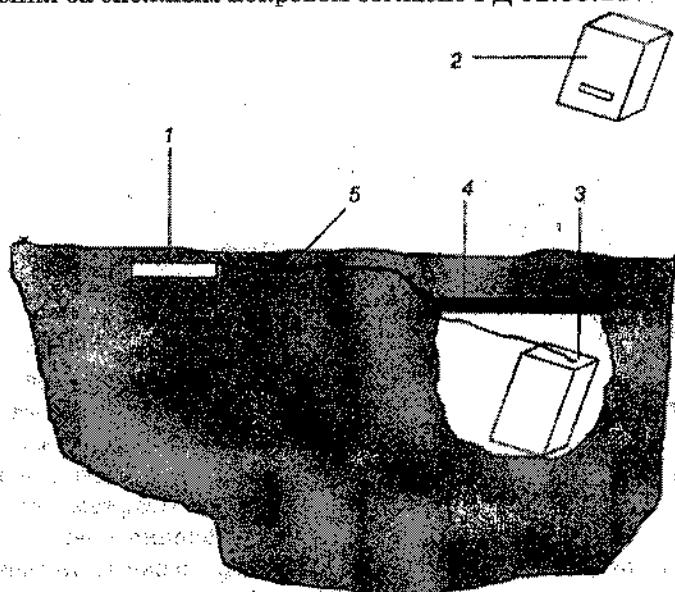


Рис. 17.3. Установка термометра на наблюдательном участке

1 — датчик температуры; 2 — ПСИ; 3 — БИР; 4 — крышка; 5 — соединительный жгут

В поле или в помещении станции (поста) после возвращения с поля производится считывание информации с ОЗУ ПСИ.

Весной, после завершения наблюдений, БИР с датчиком температуры выкапывается, промывается водой, высушивается, вынимаются элементы питания из БИР и ПСИ, термометр укладывается на хранение согласно руководству по эксплуатации.

17.3. Глубина промерзания и оттаивания почвы

Глубину промерзания почвы В. А. Моисейчик считает одним из основных параметров при оценке агрометеорологических условий перезимовки озимых культур. Этот параметр отражает действие на состояние почвы, в том числе и на степень ее охлаждения, комплекса факторов: температуры воздуха, высоты и плотности снежного покрова, увлажнения, типа и механического состава почвы, растительного покрова и др. Глубина промерзания оказывает влия-

ние на агрометеорологические условия перезимовки озимых культур в течение длительного периода времени (рис. 17.4) и поэтому она является инерционным фактором.

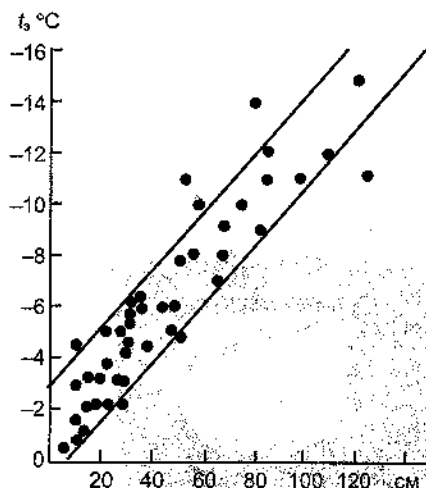


Рис. 17.4. Зависимость между абсолютным минимумом за зиму температуры почвы на глубине узла кущения t_b и глубиной промерзания почвы (см) в декаду установления снежного покрова высотой $h \geq 30$ см

Глубина промерзания почвы зависит прежде всего от температуры воздуха.

Еще в XIX в. А. И. Воейковым и Г. А. Любославским была исследована зависимость глубины промерзания почвы от снежного покрова: от его высоты (чем больше высота, тем меньше глубина промерзания почвы), от времени выпадения снега и установления постоянного снежного покрова (чем позже выпадает снег и чем меньше его высота, тем больше глубина промерзания), от продолжительности периода со снежным покровом (в тех районах, где снег лежит в течение всей зимы, почва промерзает на меньшую глубину), от равномерности залегания снежного покрова (там, где снежный покров лежит равномерно на всей площади, глубина промерзания почвы меньше, чем в тех местах, где он передувается сильными ветрами), от плотности снега (чем рыхлее снег, тем теплопроводность его меньше и тем меньше глубина промерзания почвы).

Увеличение высоты снежного покрова оказывает большее влияние на уменьшение глубины промерзания, чем повышение температуры воздуха.

На глубину промерзания почвы оказывает влияние растительный покров. Он обладает теплоизоляционным свойством, хорошо задерживает снег, сохраняет его в рыхлом состоянии и способствует большому увлажнению верхних слоев почвы. В результате под растительным покровом почва промерзает на меньшую глубину, чем оголенная. В связи с этим В. А. Моисейчик в уравнении для расчета температуры на глубине залегания узла кущения озимых культур использует густоту стеблестоя.

Существенное влияние на глубину промерзания оказывают тип почвы и ее механический состав. Так, по исследованиям П. И. Колоскова, в суровых условиях климата Дальнего Востока различия в

глубине промерзания между песчаными и суглинистыми почвами составляют в среднем 50 см, между суглинистыми и глинистыми — 80 см.

Значительное влияние на глубину промерзания оказывает *влажность почвы*. Чем влажнее почва, тем меньше при одинаковых температурах воздуха глубина ее промерзания, поскольку при замерзании влажная почва выделяет значительное количество тепла за счет скрытой теплоты льдообразования. П. И. Колосков на основании своих исследований установил, что влажные почвы (при массовой влажности больше 25 %) промерзают на 25 % меньше, чем относительно сухие. Крупнопесчаные и крупнообломочные почвы, не находящиеся под влиянием высокостоящих грунтовых вод, вследствие своей малой влагоемкости промерзают на 33 % глубже, чем глинистые и суглинистые.

Существенное влияние на промерзание почвы оказывает *рельеф местности* и особенно экспозиция склонов. Повышенные формы рельефа промерзают, как правило, глубже, чем пониженные. В пониженных формах рельефа почва более влажная, кроме того, в них накапливается больше снега.

Обобщив материалы публикаций ряда исследователей, А. М. Шульгин сделал вывод, что глубина промерзания почвы в зависимости от характера рельефа изменяется примерно в следующих границах по отношению к ровной поверхности: возвышенные места и северные склоны — от 1,2 до 1,5, восточные и западные склоны — от 1 до 1,35, южные склоны — от 0,7 до 0,9, пониженные места (западины) — от 0,5 до 0,7.

Своей хозяйственной деятельностью человек также влияет на глубину промерзания почвы. Высушивая болота или вырубая леса, он увеличивает ее.

Описанные здесь зависимости глубины промерзания почвы от различных природных факторов необходимо знать, чтобы правильно выбрать наблюдательный участок и место установки мерзлотомера. Место установки мерзлотомера должно быть репрезентативным для большинства полей с посевами зимующих культур в окрестности станции (поста).

Наблюдения за глубиной промерзания и оттаивания почвы проводятся на наблюдательных участках с озимой зерновой культурой и многолетними травами. При отсутствии вблизи станции (поста) полей с зимующими культурами допускается установка мерзлотомера на метеорологической площадке на участке с естественным травяным покровом.

Наблюдения на наблюдательном участке проводятся в двукратной повторности, а на метеорологической площадке — в однократной.

Наблюдения за глубиной промерзания и оттаивания почвы проводятся со дня наступления отрицательной средней суточной температуры воздуха осенью до полного оттаивания почвы весной в последний день каждой пятидневки и дополнительно при бесснежье или при снежном покрове высотой до 5 см в дни, когда минимальная температура воздуха опускалась ниже -15°C , а при снежном покрове от 6 до 20 см — ниже -20°C . В случае установки мерзлотомера на метеорологической площадке наблюдения проводятся ежедневно.

Для измерения глубины промерзания и оттаивания почвы применяется мерзлотомер АМ-21. Действие его основано на свойстве дистиллированной воды замерзать и оттаивать при температуре 0°C и ниже.

Изготавливаются мерзлотомеры двух типов: для измерения глубины промерзания почвы до 150 см — тип I (АМ-21-I) и от 150 до 300 см — тип II (АМ-21-II). В районах, где глубина промерзания превышает 150 см, осенью устанавливают оба типа мерзлотомеров.

Каждый тип мерзлотомера имеет две модели. Применение той или иной модели зависит от высоты снежного покрова в районе установки мерзлотомера: длина надземной части защищенной трубы первой модели равняется 40 см, а второй — 1 м.

Мерзлотомер состоит из следующих основных частей (рис. 17.5): резиновой трубки 1 с нипцелями на концах; шнура 2 или деревянной штанги (с гильзой 3 и колпачком с кольцом 4 для вынимания резиновой трубки из защитной трубы); защитной виниловой трубы 5 (с заглушкой).

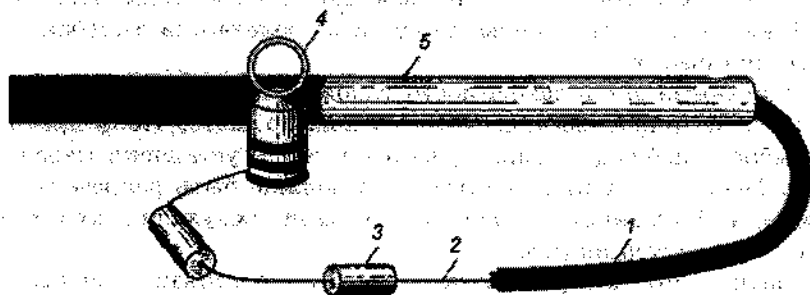


Рис. 17.5. Мерзлотомер АМ-21-I.

1 — резиновая трубка с нипцелями на концах, 2 — шнур, 3 — гильза, 4 — колпачок с кольцом, 5 — защитная труба (с заглушкой)

Основной рабочей частью мерзлотомера является резиновая трубка, наполненная водой и плотно закрытая с обеих сторон. Внутри резиновой трубки, по всей ее длине, пропущены равномерно

натянутые капроновые нити, перевязанные узлами, для удержания столбика льда при оттаивании его сверху. На внешнюю поверхность трубки нанесена сантиметровая шкала. Концы трубки герметично соединены с верхним и нижним ниппелями.

В мерзлотометре типа I на резиновую трубку нанесена шкала от 0 до 150 см. Когда резиновая трубка опускается в защитную трубу, нулевое деление на ней должно совпадать с риской, нанесенной на наружной поверхности защитной трубы. В мерзлотометре типа II шкала также равна 150 см, но деления нанесены от 150 до 300 см, причем 150-е деление шкалы должно находиться на глубине 150 см от поверхности почвы, т. е. от линии на наружной поверхности защитной трубы.

Установку мерзлотометра на наблюдательном участке или на метеорологической площадке осуществляют согласно п. 35.3 приложения 35 РД 52.33.217—99.

Если на наблюдательном участке не ведутся наблюдения за температурой почвы на глубине залегания узла купчения озимых зерновых культур или корневой шейки многолетних трав, но ведутся измерения глубины промерзания и оттаивания почвы, то необходимо обеспечить сопряженные наблюдения за снежным покровом. Для этого на расстоянии 1...2 м от мерзлотометра осенью устанавливается снегомерная стационарная деревянная рейка М-103-I или М-103-II.

Для определения глубины промерзания и оттаивания почвы резиновая трубка, прикрепленная к штанге (шнуру), вынимается из защитной трубы за кольцо колпачка и прощупывается весь столбик льда, образовавшегося в ней.

Глубина нижней границы льда в трубке принимается за нижнюю границу промерзания почвы. Отсчет осуществляется по шкале, нанесенной на резиновой трубке, с точностью до 1 см. После отсчета резиновая трубка вновь осторожно опускается в защитную трубу.

При оттепелях и с наступлением весеннего оттаивания почвы при наблюдениях по мерзлотометру необходимо определять положение не только нижней, но и верхней границы столбика льда. При чередовании морозной погоды с оттепелями в резиновой трубке может быть талая прослойка.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Зачем измеряется температура почвы в пахотном слое?
2. Где и когда измеряется температура пахотного слоя почвы?
3. Какие термометры применяются для измерения температуры пахотного слоя почвы?
4. Расскажите об устройстве термометра АМТ-2.

5. Как измеряется температура пахотного слоя почвы термометрами АМ-6, АМТ-2?
6. Проведите измерения температуры пахотного слоя почвы и запишите результаты в книжку КСХ-1м.
7. Когда проводятся наблюдения за температурой почвы на глубине заделывания узла кущения озимых зерновых культур и корневой шейки многолетних сеяных трав?
8. Какими термометрами измеряются срочная и экстремальные температуры почвы на поле с зимующими культурами?
9. Расскажите об устройстве термометров АМ-17 и АМ-34.
10. Как устанавливаются термометры АМ-17, АМ-34, датчики термометров АМТ-2, АМ-29А?
11. Проведите измерения температуры почвы термометрами ТЭТ-Ц11 (датчик универсальный), АМТ-2 (датчик ДТС), АМ-34 и запишите результаты измерений в книжку КСХ-2м.
12. Как влияют природные факторы на глубину промерзания почвы?
13. Чем различаются между собой типы и модели мерзлотомеров АМ-21?
14. Расскажите об устройстве мерзлотомера.
15. Подготовьте мерзлотомер для установки на наблюдательном участке.
16. Запишите в книжку КСХ-2м результаты измерений глубины промерзания и оттаивания почвы, если лед в резиновой трубке находится между делениями: 1) 0...27 см; 2) 7...143 см; 3) 0...6 и 9...19 см.

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ВЛАЖНОСТЬЮ ПОЧВЫ

Степень увлажнения почвы определяет условия произрастания растений, сроки начала полевых работ весной, качество работы сельскохозяйственных машин и орудий, а следовательно и производительность труда. По результатам наблюдений за влажностью почвы устанавливаются даты начала и окончания стихийных, опасных для сельского хозяйства, явлений, таких, например, как почвенная засуха и переувлажнение почвы. Поэтому регулярные наблюдения и информация о влажности почвы представляют практический интерес для специалистов сельского хозяйства, непосредственно связанных с полевыми работами, и для планирующих организаций.

Влажность почвы может определяться без приборов (на глаз, на ощупь) и при помощи приборов, позволяющих получать количественные характеристики, т. е. визуально и инструментально.

18.1. Визуальные наблюдения за влажностью почвы

Визуальные наблюдения за влажностью верхних слоев почвы проводятся на постоянном наблюдательном участке с естественным увлажнением, расположенном вблизи метеорологической площадки, а также (по указанию ЦГМС) на полевых наблюдательных участках с пропашными культурами. Участок вблизи метеорологической площадки весной засаживается пропашной культурой, не требующей окучивания, а после ее уборки он перекапывается и содержится в чистом взрыхленном состоянии. Размер наблюдательного участка не менее 3×3 м.

Наблюдения проводятся ежедневно в 8...9 ч утра в теплый период года (со дня разрушения устойчивого снежного покрова до дня промерзания почвы осенью на глубину 1...2 см или до дня образования устойчивого снежного покрова). Наблюдения проводятся в двукратной повторности на глубинах 0...2 и 10...12 см в противоположных углах участка на расстоянии не менее 0,5 м от его сторон.

При проведении наблюдений применяется следующее вспомогательное оборудование: металлическая ложка, нож или шпатель (далее — шпатель) и фарфоровая или металлическая чашка объемом 150...300 см³. Во взятой шпателем с указанной выше глубины пробе почвы определяется степень увлажнения (в баллах) по при-

Таблица 18.1

Оценка степени увлажнения или состояния почвы

Степень увлажнения или состояния почвы	Консистенция почвы	Оценка, балл
Покрыта снегом	Любая	0
Избыточно увлажненная	Текучая	1
Сильно увлажненная	Липкая	2
Хорошо увлажненная	Мягкопластичная	3
Слабо увлажненная	Твердопластичная	4
Сухая	Твердая или сыпучая	5
Мерзлая	Замерзшая	6

знакам, приведенным в табл. 18.1. Если почва покрыта снегом, пробы не берутся.

При сильном увлажнении проба почвы, взятая шпателем, помещается в чашку. В чашке почву сначала размешивают, затем шпателем распределяют по дну и частично по внутренним стенкам чашки слоем толщиной 1 см. После этого посередине чашки в почве ножом проводят бороздку (рис. 18.1), затем чашку одной рукой берут за края, а ладонью другой руки несколько раз (5...8) легко ударяют снизу по ее дну. Если бороздка, сделанная в почве, при этом „заплывает“ более чем на половину высоты, то такую почву следует считать текучей (избыточно увлажненной). Для определения липкости почвы легко надавливают комком почвы на кисть руки; липкая почва оставляет на ней грязный след (рис. 18.2).



Рис. 18.1. Определение текучего состояния почвы

Мягкопластичной (хорошо увлажненной) почва считается в том случае, если бороздка в чашке не заплывает и почва не прилипает к шпателю. Суглинистая почва в мягкопластичном состоянии легко принимает придаваемую ей форму, не загрязняет кисть руки и раскатывается руками в шнур толщиной 3...4 мм.

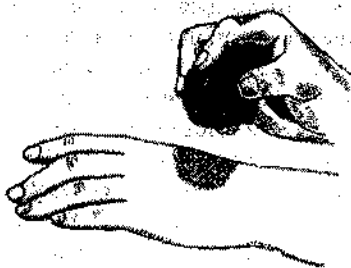


Рис. 18.2. Определение липкого состояния почвы

Твердопластичной (слабо увлажненной) почва считается в том случае, если она не раскатывается в шнур, а распадается на небольшие куски, но при сдавливании рукой все же образует сравнительно связный комок (суглинистая почва) или образует комок, рассыпающийся от легкого толчка (супесчаная почва).

Твердой или сыпучей (сухой) почва считается в тех случаях, когда комок глинистой почвы при сдавливании рукой не меняет формы, и отдельные куски пробы не слипаются, а супесчаная почва при этом совершенно не связывается в комок и рассыпается. Характеристики „Покрыта снегом” и „Мерзлая” указывают по состоянию поверхности почвы на наблюдательном участке.

Для наблюдений на больших площадях (порядка сотен тысяч гектаров) разработан еще один визуальный метод определения степени увлажнения почвы путем определения *глубины промачивания почвы* (ГПП).

Для периода равновесного состояния влаги в почве весной выявлена тесная связь между глубиной промачивания почвы и общим запасом влаги в промоченном слое. Пригодность этого метода проверена в условиях недостаточного и неустойчивого увлажнения юга России и Западной Сибири. Установлено, в частности, что при промачивании почвы весной на глубину 30, 50 и 70 см метровый слой суглинистой почвы в среднем бывает насыщен влагой соответственно на 35, 55 и 75 % наименьшей полевой влагоемкости; при промачивании на 100 см влажность метрового слоя достигает значения наименьшей полевой влагоемкости.

Сущность метода заключается в визуальном определении нижней границы промоченного слоя почвы в образцах, вынутых буром АМ-26М или АМ-16. Она устанавливается по изменению окраски почвы. Влажная почва темнее слабо увлажненной или сухой. Кроме того, она легче поддается бурению, так как более пластична. В однородных по механическому составу слоях почвы граница промачивания проходит резко, и ее отсчитывают по линейке, приложенной к пазу бурового стакана (предварительно зачистив почву), с точностью до 1...2 см. В неоднородных горизонтах почвы граница промоченного слоя просматривается менее четко и погрешность ее определения увеличивается до 3 см.

Глубину весеннего промачивания почвы измеряют в районах недостаточного увлажнения один раз в год при наступлении мягкопластичного состояния почвы ранней весной. Измерения проводят в слое 0...150 см на одном наблюдательном участке, расположенном на зяби (при необходимости и на других участках). Обычно дату измерения глубины весеннего промачивания почвы совмещают с датой инструментального определения влажности почвы. Повторность измерения — четырехкратная.

18.2. Инструментальные методы определения влажности почвы

Известно около 40 методов измерения влажности почвы. Основными из них являются: термостатно-весовой, кондуктометрический, диэлькометрический, СВЧ-метод, оптический, нейтронный и ядерно-магнитного резонанса. На сети станций и постов Росгидромета обычно применяется термостатно-весовой метод. При термостатно-весовом методе влагосодержание слоя почвы определяется по влажности извлеченного из этого слоя образца путем его взвешивания до и после высушивания в термостате. Влажность почвы W выражается в процентах к массе абсолютно сухой почвы и вычисляется по формуле

$$W = \frac{M_v \cdot 100}{M_n}, \quad (18.1)$$

где M_v — масса воды, испарившейся из почвы во время высушивания, г; M_n — масса пробы почвы после высушивания, г.

Процесс определения влажности почвы состоит из полевых и лабораторных работ и заключается во взятии проб почвы из скважин в определенных местах наблюдаемого участка, последующем взвешивании, высушивании и вычислении влажности почвы.

Отбор проб почвы осуществляют с помощью бура АМ-26М (рис. 18.3) на наблюдательном участке в четырех точках (повторностях) основным или упрощенным способом. При основном способе пробы почвы отбираются через

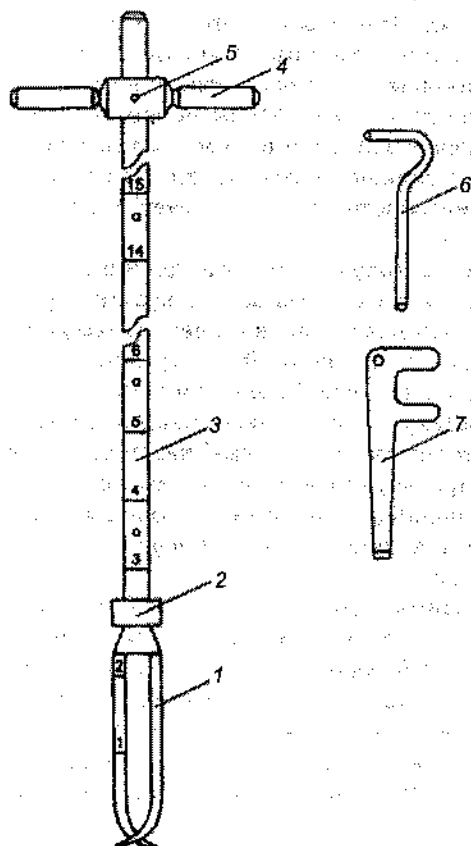


Рис. 18.3. Почвенный бур АМ-26М
1 — буровой стакан, 2 — контргайка, 3 — штамп, 4 — ручка, 5 — отверстие для фиксатора, 6 — фиксатор, 7 — ключ

10 см до глубины 50, 100 или 150 см в зависимости от возделываемой культуры, региона и времени года. При *упрощенном способе* пробы почвы отбираются через 20 см в 10-см слоях (0...10; 20...30; 40...50 см и т. д.). Весной и осенью в период, начинающийся за 2 декады до самой ранней даты посева зерновой культуры и заканчивающийся временем массового наступления фазы кушения растений, пробы отбираются также в слое 0...5 см. Упрощенный способ применяется по решению ЦГМС на дополнительной сети и при маршрутных обследованиях сельскохозяйственных угодий.

Влажность почвы на наблюдательном участке определяется в 7-й или 8-й день декады в течение вегетационного периода роста и развития растений, согласно Наставлению, вып. 11, ч. I. Количество наблюдательных участков, на которых станция или пост отбирают образцы почвы для определения влажности (как правило, от 2 до 5), определяет ЦГМС. Влажность почвы определяется прежде всего на полях с ведущими культурами: оаимой и яровой зерновой культурой, технической и кормовой. Кроме того, влажность почвы определяется в садах, на полях с овощными культурами, на парах и др.

Скважины располагаются таким образом, чтобы в течение всего периода наблюдений обеспечивалось равномерное распределение повторностей по участку. Обычно в каждый последующий срок наблюдений скважина соответствующей повторности закладывается на расстоянии 1...2 м от скважины предыдущего срока наблюдений.

Пробы почвы отбираются из нижней трети бурового стакана и переносятся в весовой стакан ВС-1. Этот стакан сразу же закрывается крышечкой и ставится в специальный ящик, а ящик до переноса в помещение по возможности оберегается от попадания прямых солнечных лучей.

Сразу же после доставки в помещение станции (поста) весовые стаканы взвешиваются. Для этого с каждого стакана снимается крышечка, стакан протирается и взвешивается вместе с крышечкой с точностью до 0,1 г.

После взвешивания стаканы с почвой переносятся в термостат и высушиваются при температуре 100...105 °С до постоянной массы. Затем каждый стакан накрывается крышечкой и взвешивается.

Влажность почвы (массовая) определяется по формуле (18.1).

Пример — Масса пробы и весового стакана до высушивания равна 47,6 г, после высушивания — 43,5 г, масса стакана — 20,1 г; тогда $M_n = 47,6 - 43,5 = 4,1$ г; $M_n = 43,5 - 20,1 = 23,4$ г. Влажность почвы составляет $(4,1 \times 100) : 23,4 = 17,5$ %.

По упрощенному способу в слоях 10...20, 30...40, 50...60, 70...80 см влажность почвы рассчитывается как полусумма значе-

ний влажности выше- и нижележащих слоев. Для слоя 90...100 см используется значение влажности почвы слоя 80...90 см.

В системе Росгидромета чаще всего используются значения не влажности, а запаса продуктивной влаги в почве, который рассчитывается по отдельным слоям (0...5, 5...10, 10...20 см и т. д.) до максимальной глубины взятия проб почвы. Расчет запаса продуктивной влаги почвы (W_n) осуществляется по формуле

$$W_n = 0,1Ph(W - W_{вз}), \quad (18.2)$$

где W — влажность почвы, %; $W_{вз}$ — влажность устойчивого завядания, %; P — плотность (объемная масса) почвы, г/см³; h — толщина слоя почвы, для которого делается расчет, см.

При расчете запаса продуктивной влаги в слое почвы толщиной 10 см приведенная формула упрощается:

$$W_n = (W - W_{вз})P, \quad (18.3)$$

т. е. запас продуктивной влаги в 10-см слое почвы численно равен произведению разности влажности почвы и влажности устойчивого завядания на плотность почвы того же слоя.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Для каких целей необходима информация о влажности почвы?
2. Где проводятся визуальные и инструментальные наблюдения за влажностью почвы?
3. В какие сроки проводятся визуальные и инструментальные наблюдения за влажностью почвы?
4. Какие бывают консистенции почвы? Определите консистенцию почвы во взятом образце.
5. Как измеряется глубина весеннего промачивания почвы?
6. Расскажите о полевых работах при определении влажности почвы термостатно-весовым способом.
7. Как установить на станции весы и термостат?
8. Расскажите о лабораторных работах при определении влажности почвы.
9. Напишите пример расчета влажности почвы в книжке КСХ-3 при одновесных и разновесных стаканах.

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОСАДКАМИ И СНЕЖНЫМ ПОКРОВОМ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЯХ

19.1. Измерение осадков

Наиболее характерной чертой поля осадков является значительная неравномерность распределения сумм осадков независимо от периода наблюдений (сутки, декады, месяцы, вегетационный период). По данным измерений на Обнинском экспериментальном полигоне (площадь 3600 км^2), коэффициенты пространственной изменчивости увеличиваются с уменьшением периода осреднения. Для вегетационного периода они равняются в среднем 14 %, для месяца 32 %, для декады 50 % и для суток 115 %. Для измерения сумм осадков с погрешностью ± 10 % осадкомерные пункты должны располагаться на следующих расстояниях друг от друга: 44 км — для сумм осадков за вегетационный период, 30 км — за месяц и 27 км — за декаду.

Пятнистость распределения осадков по земной поверхности является следствием ячеистой структуры слоев облачности, дающей осадки, и случайного характера выпадения дождя. Пятна осадков на земной поверхности, как правило, вытянуты вдоль линии фронта, т. е. в соответствии с направлением облачных цепей (рис. 19.1). Наибольшая повторяемость малых осей пятен осадков составляет 1...3 км.

В связи с изложенным на наблюдательных участках, на которых ведутся инструментальные определения влажности почвы и которые находятся на расстоянии более 2 км от метеорологической площадки станции (поста) или от другого наблюдательного участка, где измеряется количество осадков, должны устанавливаться полевые дождемеры М-99 (далее — дождемер). Дождемер представляет собой высокий (34 см) цилиндрический стакан с расширением в верхней части и плоским основанием (рис. 19.2). Приемная площадь дождемера равна 30 см^2 .

На стенке стакана дождемера нанесены деления, каждое из которых соответствует слою выпавших осадков в 1 мм. Дождемер рассчитан на измерение осадков до 65 мм. Для уменьшения испарения воды (в период от окончания дождя до очередного срока наблюдений) в стакан вставляется небольшая стеклянная воронка.

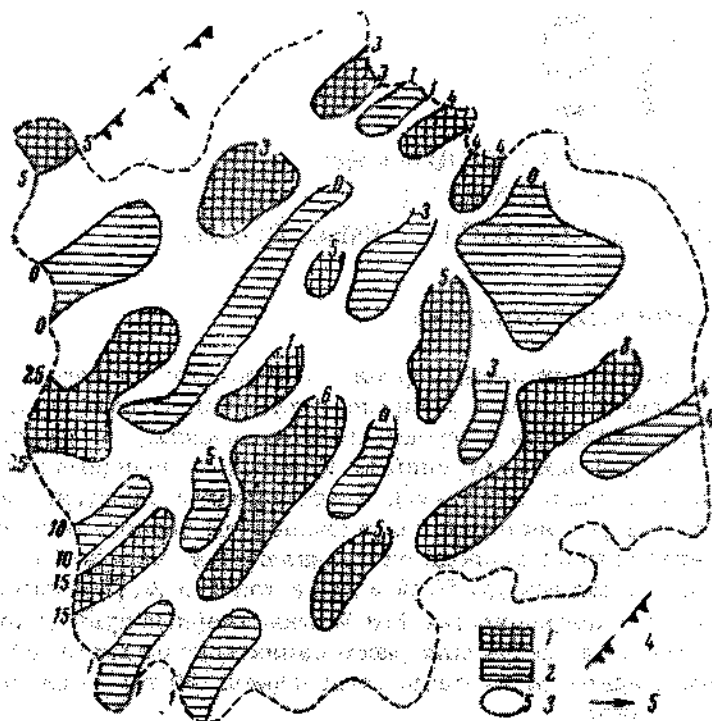


Рис. 19.1. Полусуточные (дневные) пятна дождей на Обнинском экспериментальном полигоне 3 июля 1967 г.

1 — „положительные“ (увеличение количества осадков к центру пятна по отношению к огибающей изогнете) пятна, 2 — „отрицательные“ (уменьшение количества осадков к центру пятна по отношению к огибающей изогнете) пятна, 3 — изогнета, огибающая пятно, 4 — вторичный холодный фронт, 5 — направление движения фронта; цифры в поле графика — дневные суммы осадков

Дождемер устанавливают на деревянной или металлической подставке с таким расчетом, чтобы верхняя часть стакана находилась на высоте 150 см от поверхности почвы.

Наблюдения за осадками на полях проводятся в те же периоды теплой части года, в которые ведутся инструментальные наблюдения за влажностью почвы.

Количество выпавших осадков измеряется в дни и часы наблюдений за фазами развития растений, т. е. через один день (по четным числам) или 2 раза в декаду (4, 10, 14, 20 и 30 или 31-го числа), а также в дни отбора проб для определения влажности почвы на участке.

При измерении выпавших осадков их количество определяется по отсчету деления на стенке стакана дождемера, до которого

поднялась вода. Цифра около деления показывает количество осадков в миллиметрах. Отсчет производится с точностью до 1 мм.

Если вода в дождемере находится на уровне менее половины самого нижнего деления, то количество выпавших осадков принимается равным нулю («0»).

19.2. Снегомерная съемка

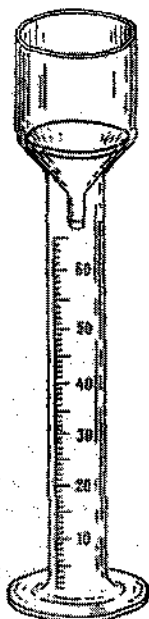
Снежный покров влияет на температуру, влажность и глубину промерзания почвы (см. раздел 2), которые, в свою очередь, большое влияние оказывают на состояние растений и их продуктивность (см. разделы 1.2, 1.5, 3.1). С целью получения информации об условиях перезимовки зимующих культур и накопления влаги в почве к весне на станциях и постах проводятся снегомерные съемки на полях с озимыми зерновыми культурами, многолетними травами, в садах и на зяби.

Во время снегомерных съемок измеряются высота и плотность снежного покрова, толщина притертой ледяной корки, определяется степень ее распространения. Кроме того, отмечаются: состояние поверхности почвы под снегом (таялая, мерзлая), характер залегания и структура снега (визуально), наличие снежной корки на поверхности и внутри снежного покрова. По данным снегомерных съемок рассчитываются запасы воды в снежном покрове.

Снегомерные съемки проводятся регулярно в течение периода залегания снежного покрова при степени покрытия поверхности в окрестности станции (поста) не менее 6 баллов. На озимых посевах и многолетних травах снегосъемки проводятся 10-го, 20-го числа и в последний день каждого месяца (в декабре — 30-го числа). Если поле с зимующей сельскохозяйственной культурой покрыто ледяной коркой, а снега нет, то глазомерно определяют степень покрытия поля ледяной коркой и измеряют ее толщину в десяти точках на маршруте, стараясь отобразить все разнообразие ее залегания на поле.

В плодовом саду при снежном покрове высотой до 20 см снегосъемки проводятся еженедекадно — в предпоследний день декады, а после установления снежного покрова высотой более 20 см (по измерениям под кроной) — один раз в месяц (по девятым числам месяца).

При снегосъемках применяются снегомерная переносная рейка М-104 (далее — рейка) и весовой снегомер ВС-43 (далее — снегомер).



Снегомерные съемки на полях озимых зерновых культур и многолетних трав проводятся на маршруте протяженностью 1000 м, причем часть маршрута должна проходить через наблюдательный участок (см. рис. 8.1).

Высота снежного покрова измеряется через каждые 10 м, плотность — через каждые 100 м. При высоте снежного покрова до 5 см плотность снега не определяется. С целью определения запаса воды в снежном покрове и получения информации об условиях перезимовки зимующих растений, кроме плотности снега, измеряются толщина притертой ледяной корки, слой снега, насыщенного водой, и слой воды.

Первая точка определения плотности снежного покрова выбирается на расстоянии 40 или 60 м от начала маршрута, последующие точки — через каждые 100 м. В точке определения плотности снега берется проба снега снегомером, измеряется толщина притертой ледяной корки (с точностью до 1 мм), слой снега, насыщенного водой (с точностью до 1 см), слой талой воды (с точностью до 1 см), а также оценивается состояние почвы под снежным покровом (мерзлая или талая).

После прохождения всего маршрута указывается характер залегания снежного покрова на маршруте (равномерный — без сугробов, неравномерный — небольшие сугробы, очень неравномерный — большие сугробы) и структура снега: свежий снег пылевидный; свежий снег пушистый; свежий снег липкий; старый снег рассыпчатый; старый снег плотный; старый снег влажный; снежная корка, не связанная со снегом под ней; плотный снег с коркой на поверхности; влажный снег с коркой на поверхности; переувлажненный или мокрый снег.

По результатам измерений и наблюдений на снегомерном маршруте вычисляются средние значения: высоты снежного покрова; плотности снега; толщины ледяной корки; слоя снега, насыщенного водой, и слоя талой воды; запаса воды в снежном покрове. Выбираются наибольшие и наименьшие значения высоты снежного покрова и максимальной толщины ледяной корки; определяется степень покрытия маршрута снежным покровом и притертой ледяной коркой.

Маршрут снегомерной съемки в плодовом саду выбирается в средней части сада. Для этого в пяти рядах деревьев отмечается по 10 деревьев в каждом ряду. Длина маршрута будет зависеть от расстояния между деревьями.

Высота снежного покрова в саду измеряется в 100 точках, из них 50 измерений делается под кроной деревьев и 50 в междурядьях. Измерения проводятся напротив каждого ствола. При этом пять измерений плотности снега делается „под кроной” и пять „между рядами”. Обработка результатов наблюдений осуществляется раз-

дельно под кроной и между рядами, а число измерений с различной высотой снежного покрова и толщиной ледяной корки подсчитывается по всему массиву данных, без разделения точек измерений „под кроной” и „между рядами”.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Чем вызвана необходимость установки полевых дождемеров на сельскохозяйственных полях?
2. Расскажите об устройстве дождемера М-99 и установке его на сельскохозяйственных полях.
3. Расскажите о методике проведения наблюдений за осадками на сельскохозяйственных полях.
4. На каких сельскохозяйственных угодьях проводятся наблюдения за снежным покровом и в какие сроки?
5. Как проводятся маршрутные снегомерные съемки на поле с озимой зерновой культурой?
6. Каковы особенности проведения снегомерных съемок в плодовом саду?
7. Выберите маршрут для проведения снегомерной съемки на поле с озимой зерновой культурой и опишите его в разделах 4—4.2 книжки КСХ-2м.
8. Проведите снегомерную съемку на поле с озимой зерновой культурой или многолетними травами и запишите результаты измерений и наблюдений в разделы 4.3—4.6 книжки КСХ-2м.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

Агроклиматические ресурсы. Справочники по областям, краям, республикам. Л.: Гидрометеиздат, 1971—1978.

Вериго С. А., Разумова Л. А. Почвенная влага и ее значение в сельскохозяйственном производстве. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 288 с.

Грингоф И. Г., Подола В. В., Стращный В. Н. Агрометеорология: Учебник для гидрометеорологических техникумов. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 310 с.

Инструкция по производству агрометеорологических и зоометеорологических наблюдений в районах пастбищного животноводства. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 215 с.

Инструкция по производству агрометеорологических наблюдений в районах северного оленеводства. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 107 с.

Код для составления декадных и ежедневных агрометеорологических телеграмм КН-21. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 78 с.

Лекции по сельскохозяйственной метеорологии / Под ред. М. С. Кулика, В. В. Синельникова. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 340 с.

Лосев А. П. Сборник задач и вопросов по агрометеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 144 с.

Лосев А. П. Практикум по агрометеорологическому обеспечению растениеводства. СПб.: Гидрометеиздат, 1994. 244 с.

Методические указания (РД 52.33.343—94). Наземные агрометеорологические маршрутные наблюдения и эпизодические обследования сельскохозяйственных угодий. М.: Гидрометеиздат, 1994. 91 с.

Моисейчик В. А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 295 с.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам (РД 52.33.217—99), Вып. 11, Ч. 1, М., Росгидромет, 2000. Кн. 1. 347 с.; Кн. 2. 283 с.

Развитие сельскохозяйственной метеорологии в России / Под ред. А. Д. Клеценко, И. Г. Грингофа. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 212 с.

Руководство для агрометеорологических постов колхозов и совхозов. 5-е изд. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 147 с.

Руководство по агрометеорологическим прогнозам. Л.: Гидрометеиздат, 1984. Т. 1. 310 с.; Т. 2. 264 с.

Руководство по определению агрогидрологических свойств почв. 4-е изд. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 150 с.

Синицина Н. И., Гольцберг И. А., Струнников Э. А. Агроклиматология. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 344 с.

Справочник агронома по сельскохозяйственной метеорологии / Под ред. И. Г. Грингофа. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 527 с.

Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 470 с.

Уланова Е. С., Сиротенко О. Д. Методы статистического анализа в агрометеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 198 с.

Уланова Е. С. Методы оценки агрометеорологических условий и прогнозов урожайности зерновых культур. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 53 с.

Федосеев А. П. Погода и агротехника. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 239 с.

Шульгин А. М. Агрометеорология и агроклиматология: Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности „Метеорология“. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 197 с.

Чирков Ю. И. Агрометеорология. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 296 с.

Дополнительная

Алпатыев А. М. Влагооборот культурных растений. Л.: Гидрометеиздат, 1954. 246 с.

Велобородова Г. Г. Агрометеорологические основы повышения продуктивности плодового сада. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 166 с.

Гулинова Н. В. Агрометеорологические условия, баланс кормов и продуктивность животноводства. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 247 с.

Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай / Под ред. А. И. Руденко. Л.: Гидрометеиздат, 1958. 207 с.

Лапин А. Г., Усов М. А. Основы агрономии: Учебник для гидрометеорологических техникумов. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 488 с.

Макарова Л. А., Минкевич И. И. Погода и болезни культурных растений. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 144 с.

Муминов Ф. А. Погода, климат и хлопчатник. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 191 с.

Федоров Е. К. Погода и урожай. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 56 с.

Федосеев А. П. Климат и пастбищные травы Казахстана. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 317 с.

Чекереев А. И. Погода, климат и отгонно-пастбищное животноводство. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 175 с.

Чирков Ю. И. Агрометеорологические условия и продуктивность кукурузы. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 251 с.

Шашко Д. И. Агроклиматическое районирование СССР. М.: Колос, 1967. 335 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
Предмет и задачи агрометеорологии	8
Методы агрометеорологических исследований	10
Основные биологические и экологические законы, используемые в агрометеорологии	12
Краткий очерк истории развития агрометеорологии	14
Вопросы и задания	24
Часть I. Агрометеорология	
Понятие об экосистеме и агроэкосистеме	25
Искусственные экосистемы	26
Глава 1. Значение агрометеорологических факторов в жизни растений и в сельскохозяйственном производстве	30
1.1. Солнечная радиация и радиационный режим растительного покрова	30
1.2. Температура почвы, воздуха и тепловой режим растительного покрова	39
1.3. Осадки. Влажность воздуха. Испарение воды. Транспирация растений. Конденсация водяного пара	63
1.4. Ветер и его роль в жизни растений	84
1.5. Почвенная влага и ее влияние на сельскохозяйственное производство	85
Вопросы и задания	111
Глава 2. Опасные для сельскохозяйственного производства гидрометеорологические явления в теплый период года и меры борьбы с ними	113
2.1. Заморозки	114
2.2. Засухи, суховеи и засушливые явления	131
2.3. Сильные ветры. Пыльные бури и ветровая эрозия почвы	151
2.4. Сильные ливневые дожди и водная эрозия почвы	158
2.5. Град и защита посевов от градобития	161
Вопросы и задания	164

Глава 3. Опасные для сельскохозяйственного производства гидрометеорологические явления в холодный период года и меры борьбы с ними	165
3.1. Зимостойкость и морозостойкость растений.....	165
3.2. Основные причины гибели озимых и меры защиты посевов	167
3.3. Неблагоприятные условия перезимовки плодовых культур.....	172
3.4. Неблагоприятные метеорологические условия для пастбищного животноводства и оленеводства.....	175
Вопросы и задания	185
Глава 4. Характеристика основных сельскохозяйственных культур по их требованиям к агрометеорологическим условиям	187
4.1. Зерновые культуры	188
4.2. Зерновые бобовые (зернобобовые) культуры.....	208
4.3. Прядильные и масличные культуры	212
4.4. Корнеплоды и клубнеплоды.....	218
4.5. Овощные и бахчевые культуры	223
4.6. Плодовые и ягодные культуры.....	229
4.7. Многолетние и однолетние сеяные травы.....	232
4.8. Естественные пастбища и сенокосы	241
4.9. Влияние агрометеорологических условий на качество урожая сельскохозяйственных культур.....	246
4.10. Влияние метеорологических условий на развитие и распространение вредителей и болезней сельскохозяйственных культур и животных	249
Вопросы и задания	265
Глава 5. Основы агроклиматологии	267
5.1. Агроклиматические показатели	268
5.2. Методы сельскохозяйственной оценки климата	269
5.3. Агроклиматические ресурсы территории.....	292
5.4. Методы агроклиматического районирования территории.....	305
5.5. Агроклиматические аналоги.....	313
5.6. Мезоклимат, микроклимат и фитоклимат	316
5.7. Понятие о климате почвы.....	325
5.8. Изучение микроклимата и составление микроклиматических карт хозяйств.....	328
5.9. Пути и методы улучшения мезоклимата и микроклимата сельскохозяйственных угодий	332
5.10. Моделирование микроклимата в намерениях искусственного климата.....	335
5.11. Использование данных наблюдений за микроклиматом в процессе сельскохозяйственного производства.....	336
5.12. Изменения климата и их влияние на сельскохозяйственное производство.....	337
Вопросы и задания	354

Глава 6. Агрометеорологические прогнозы	357
6.1. Научные основы разработки агрометеорологических прогнозов	359
6.2. Метод прогноза теплообеспеченности вегетационного периода	362
6.3. Метод прогноза запасов продуктивной влаги в почве к началу сева яровых культур	364
6.4. Метод прогноза оптимальных сроков начала весенних полевых работ	365
6.5. Методы фенологических прогнозов	367
6.6. Методы прогноза урожайности и валового сбора основных сельскохозяйственных культур и качества урожая	371
6.7. Основные понятия о продукционном процессе растений	383
6.8. Методы оценки состояния и прогноза перезимовки озимых зерновых и плодовых культур	387
6.9. Методы прогноза сроков и норм полива сельскохозяйственных культур	390
6.10. Методы прогноза оптимальных доз внесения минеральных удобрений под зерновые культуры	394
6.11. Методы оценки и прогноза полегания зерновых культур	396
6.12. Методы прогноза появления вредителей и болезней сельскохозяйственных растений	397
6.13. Новые технологии в развитии агрометеорологических прогнозов	399
Вопросы и задания	401
Глава 7. Система агрометеорологического обеспечения различных отраслей аграрного сектора страны	403
7.1. Организация, структура и основные задачи агрометеорологического обеспечения сельскохозяйственного производства	404
7.2. Основные виды и формы агрометеорологической информации	406
7.3. Особенности агрометеорологического обеспечения различных отраслей аграрного сектора страны	417
7.4. Работа наземной наблюдательной сети по агрометеорологическому обеспечению сельскохозяйственного производства	423
7.5. Использование агрометеорологической информации в сельскохозяйственном производстве и оценка экономической эффективности обслуживания аграрного сектора страны	423
Вопросы и задания	432
Часть II. Агрометеорологические наблюдения	
Глава 8. Организация агрометеорологических наблюдений на станциях и постах	434

8.1. Общие требования и программа наблюдений	434
8.2. Выбор, описание и организация наблюдательных участков	439
Вопросы и задания	442
Глава 9. Особенности наблюдений за фазами развития растений	444
9.1. Состав, сроки и основные правила наблюдений	444
9.2. Фазы развития растений и признаки их наступления	446
Вопросы и задания	457
Глава 10. Определение элементов продуктивности и структуры урожая сельскохозяйственных культур	459
10.1. Элементы продуктивности	459
10.2. Структура урожая	461
Вопросы и задания	464
Глава 11. Методы наблюдений за параметрами растительного покрова	465
11.1. Определение густоты стояния растений и густоты стеблестоя	465
11.2. Измерение высоты растений	472
11.3. Определение растительной массы клубнеплодов и корнеплодов	475
11.4. Определение массы растительного покрова природных кормовых угодий, многолетних и однолетних сеяных трав и травосмесей	478
Вопросы и задания	479
Глава 12. Наблюдения за состоянием зимующих сельскохозяйственных культур в поздний осенний, зимний и ранний весенний периоды	481
12.1. Осеннее и весеннее обследование озимых зерновых культур и многолетних трав	481
12.2. Методы определения жизнеспособности озимых зерновых культур, озимого рапса и многолетних трав в зимний период	483
12.3. Определение жизнеспособности веток плодовых культур зимой	489
12.4. Весеннее обследование садов	490
Вопросы и задания	491
Глава 13. Наблюдения за повреждениями сельскохозяйственных культур неблагоприятными метеорологическими явлениями, вредителями и болезнями	492
13.1. Определение повреждений сельскохозяйственных культур неблагоприятными метеорологическими явлениями	492
13.2. Определение повреждений сельскохозяйственных культур вредителями и болезнями	497
Вопросы и задания	498
Глава 14. Наблюдения за проведением полевых работ, засоренностью посевов и состоянием сельскохозяйственных культур	499

14.1. Наблюдения за проведением полевых работ	499
14.2. Наблюдения за засоренностью посевов	501
14.3. Визуальная оценка состояния сельскохозяйственных культур	502
Вопросы и задания	504
Глава 15. Наземные маршрутные наблюдения и обследования состояния сельскохозяйственных культур и среды их обитания ...	505
Вопросы и задания	508
Глава 16. Методика проведения микроклиматических наблюдений ...	509
16.1. Глазомерная микроклиматическая съемка	510
16.2. Инструментальная микроклиматическая съемка	514
Вопросы и задания	519
Глава 17. Наблюдения за температурой и промерзанием почвы	520
17.1. Температура пахотного слоя почвы	520
17.2. Температура почвы на глубине залегания узла кущения озимых зерновых культур и корневой шейки многолетних трав	524
17.3. Глубина промерзания и оттаивания почвы	529
Вопросы и задания	533
Глава 18. Наблюдения за влажностью почвы	535
18.1. Визуальные наблюдения за влажностью почвы	535
18.2. Инструментальные методы определения влажности почвы	538
Вопросы и задания	540
Глава 19. Наблюдения за осадками и снежным покровом на сельскохозяйственных полях	541
19.1. Измерение осадков	541
19.2. Снегомерная съемка	543
Вопросы и задания	545
Список рекомендуемой научно-методической литературы	546

Учебник

Иосиф Генрихович Грингоф,

Александр Дмитриевич Пасечник

АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Редактор Л. И. Верес. Художник Л. А. Укрод.

Технический редактор Н. Ф. Грачева. Корректор Г. Н. Римап.

ЛР № 020228 от 10.11.96 г.

Подписано в печать 16.03.05. Формат 60 × 90 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 34,5. Уч.-изд. л. 35,28. Тираж 1000 экз. Индекс 255/03.

Гидрометеоиздат. 199397, Санкт-Петербург, ул. Беринга, д. 38.

Отпечатано в типографии «САВОЖ». Заказ № 307