

Серия  
КЛАССИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТСКИЙ УЧЕБНИК

---

КЛАССИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТСКИЙ УЧЕБНИК

---

**Редакционный совет серии**

Председатель совета –  
ректор Кыргызско-Российского Славянского университета  
*В.И. Нифадьев*

Члены совета:

*В.М. Плоских* (зам. председателя),  
*Л.В. Тарасова* (отв. секретарь),  
*А.А. Бекбалаев, В.К. Гайдамако, А.Г. Зарифьян,*  
*К.И. Исаков, В.М. Лелевкин В.А. Лоцев,*  
*Р.М. Муксинов, Л.Ч. Сыдыкова,*  
*Б.Г. Тугельбаева, С.Ф. Усманов*

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ЕСТЕСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**О.М. Стрижанцева**

# **СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ**

**Учебник**

Допущено Министерством образования и науки  
Кыргызской Республики в качестве учебника  
для аспирантов и студентов высших учебных заведений

Бишкек 2017

УДК 551.50:63 (075.8)  
ББК 40.2  
С 85

Рецензенты:

*В.С. Чередниченко*, д-р геогр. наук, проф.,  
*О.А. Подрезов*, д-р геогр. наук, проф.,  
*А.С. Чередниченко*, д-р геогр. наук, доцент

Рекомендовано к изданию Ученым советом ГОУВПО КРСУ.

На обложке использованы фотографии из сети Интернет.

**Стрижанцева О.М.**

С 85 СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ: учебник  
Бишкек: Изд-во КРСУ, 2017. 226 с.

ISBN 978-9967-19-502-8

Рассматриваются задачи и методы сельскохозяйственной метеорологии, программа агрометеорологических и фенологических наблюдений, сельскохозяйственная оценка климата и погоды, приводятся классификации растений по их отношению к основным факторам окружающей среды. Особое внимание уделяется влиянию основных факторов среды – солнечной радиации, температуры, воды – на жизнедеятельность культурных растений. Отражены вопросы по неблагоприятным агрометеорологическим условиям в холодное и теплое время года и основным закономерностям роста и развития сельскохозяйственных культур.

Рекомендовано для бакалавров, магистров, аспирантов направления «Гидрометеорология», «География» и др.

С 1805040400-17

УДК 551.50:63 (075.8)

ББК 40.2

ISBN 978-9967-19-502-8

© ГОУВПО КРСУ, 2017

© Стрижанцева О.М., 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

ТЕМА 1. ВВЕДЕНИЕ	
В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННУЮ МЕТЕОРОЛОГИЮ.....	8
1.1. Предмет, задачи и методы сельскохозяйственной метеорологии. Программа наземных агрометеорологических наблюдений .....	8
1.1.1. Предмет и задачи сельскохозяйственной метеорологии, ее связь с другими науками .....	8
1.1.2. Методы агрометеорологических исследований.....	10
1.1.3. Программа наземных агрометеорологических наблюдений .....	15
ТЕМА 2. ПОНЯТИЕ О ВЗАИМОСВЯЗИ «ВНЕШНЯЯ СРЕДА – РАСТЕНИЕ». СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КЛИМАТА И ПОГОДЫ.....	20
2.1. Система «почва – растение – атмосфера». Основные биологические законы земледелия и растениеводства .....	20
2.1.1. Система «почва – растение – атмосфера» .....	20
2.1.2. Основные биологические законы земледелия и растениеводства .....	29
2.2. Классификация сельскохозяйственных культур по их отношению к основным факторам жизни .....	34
2.2.1. Различные виды классификаций сельскохозяйственных культур .....	34
2.3. Сельскохозяйственная оценка климата и погоды. Агрометеорологические показатели .....	45
2.3.1. Сельскохозяйственная оценка климата и погоды .....	45
2.3.2. Агрометеорологические показатели термических ресурсов территории.....	47
2.3.3. Агрометеорологические показатели световых ресурсов.....	52
2.3.4. Агрометеорологические показатели влагообеспеченности территории .....	54

2.3.5. Агрометеорологические показатели условий перезимовки растений .....	61
2.3.6. Оценка продуктивности климата .....	63
<b>ТЕМА 3. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ СРЕДЫ И ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РАСТЕНИЙ .....</b>	<b>66</b>
3.1. Солнечная радиация как фактор жизнедеятельности растений .....	66
3.1.1. Фотосинтез растений .....	66
3.1.2. Влияние внешних факторов на фотосинтез .....	70
3.1.3. Фотосинтез и дыхание .....	76
3.2. Вода как фактор жизнедеятельности растений .....	84
3.2.1. Значение воды для растений .....	84
3.2.2. Испарение. Транспирация растений. Эвапотранспирация.....	89
3.2.3. Завядание растений .....	95
3.2.4. Влажность воздуха и ее влияние на растения .....	96
3.3. Почвенная влага и ее влияние на развитие растений .....	98
3.3.1. Водный баланс почвы .....	98
3.3.2. Агрогидрологические свойства почвы и категории почвенной влаги .....	100
3.3.3. Продуктивная влага .....	107
3.4. Температура как фактор жизнедеятельности растений.....	112
3.4.1. Процессы жизнедеятельности растений и температура .....	112
3.4.2. Влияние температуры почвы и воздуха на рост, развитие и формирование урожая сельскохозяйственных культур .....	121
<b>ТЕМА 4. НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ ПОГОДНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА.....</b>	<b>125</b>
4.1. Неблагоприятные агрометеорологические условия в теплый период года .....	125

4.1.1. Засушливые явления .....	125
4.1.2. Сильные ветры и пыльные бури .....	139
4.1.3. Заморозки .....	145
4.1.4. Сильные ливневые дожди, переувлажнение почвы, водная эрозия, градобития .....	159
4.2. Неблагоприятные агрометеорологические условия в холодный период года .....	170
4.2.1. Понятия морозо-, зимо-, и холодостойкости .....	170
4.2.2. Влияние осенних и зимних условий погоды на зимостойкость растений .....	174
4.2.3. Характеристика неблагоприятных явлений погоды зимой .....	180
<b>ТЕМА 5. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОСТА И РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ. ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ И ФАЗЫ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ</b> .....	
5.1. Биологические закономерности роста и развития растений.....	187
5.1.1. Понятия онто-, фило- и морфогенеза. Этапы онтогенеза растений.....	187
5.1.2. Рост растений .....	191
5.1.3. Развитие растений .....	195
5.2. Фенологические наблюдения и фазы развития сельскохозяйственных растений. Этапы органогенеза .....	202
5.2.1. Фенологические наблюдения и фазы развития различных сельскохозяйственных культур.....	202
5.2.2. Этапы органогенеза .....	211
ЛИТЕРАТУРА .....	218

# ТЕМА 1. ВВЕДЕНИЕ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННУЮ МЕТЕОРОЛОГИЮ

## 1.1. Предмет, задачи и методы сельскохозяйственной метеорологии. Программа наземных агрометеорологических наблюдений

### 1.1.1. Предмет и задачи сельскохозяйственной метеорологии, ее связь с другими науками

Наука, изучающая метеорологические, климатические, гидрологические и почвенные условия в их взаимодействии с объектами и процессами сельскохозяйственного производства, называется *агрометеорологией*, или *сельскохозяйственной метеорологией*.

Основными разделами агрометеорологии являются *агроклиматология*, представляющая учение о климате как факторе сельскохозяйственного производства, и *агрогидрология*, изучающая состояние, водно-физические свойства и водный режим почвы, т. е. агрогидрологические условия произрастания сельскохозяйственных культур.

Объектами изучения агрометеорологии являются погода, климат, водный и тепловой режим почв, сельскохозяйственные культуры, сенокосно-пастбищные растения, сельскохозяйственные животные и процессы сельскохозяйственного производства. Таким образом, агрометеорология изучает двухкомпонентную систему: биологические объекты и факторы окружающей среды.

Погодные условия, оказывающие существенное влияние на сельскохозяйственное производство, называют *агрометеорологическими условиями*, а их многолетний режим – *агроклиматическими условиями*. Агроклиматические условия можно рассматривать и как природные ресурсы, представляющие собой определенные количества вещества и энергии, которые используются биологическими объектами для создания продукции сельского хозяйства. При изучении агрометеорологических условий учитываются требования к ним сельскохозяйственных культур и животных, а так-

же свойства почв, уровень агротехники и др. Учет этих условий, в свою очередь, позволяет установить, насколько метеорологические, климатические и гидрологические факторы того или иного района соответствуют указанным требованиям, а также определить степень угрозы вредных для сельского хозяйства явлений погоды (засух, суховеев, заморозков, сильных морозов, оттепелей, ледяных корок, пыльных бурь, града и др.). Характеристика агрометеорологических условий дает возможность выявить наиболее рациональные методы и приемы воздействия на режим тепла, влаги и света в зоне развития растений для изменения его в благоприятную для сельскохозяйственного производства сторону.

*Задачами агрометеорологии* являются:

- изучение пространственно-временных закономерностей формирования метеорологических и климатических условий и их влияния на объекты и процессы сельского хозяйства;
- разработка методов количественной оценки влияния погодных и климатических факторов на сельскохозяйственное производство;
- агрометеорологическое обоснование мероприятий, направленных на защиту объектов сельского хозяйства от неблагоприятных явлений климата и погоды, вредителей и болезней;
- разработка агрометеорологических прогнозов условий роста, развития, количества и качества урожая сельскохозяйственных культур;
- агроклиматическое обоснование приемов и методов мелиорации земель и микроклимата полей;
- агроклиматическое обоснование размещения новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур и пород животных;
- оперативное агрометеорологическое обеспечение сельскохозяйственного производства.

Таким образом, сельскохозяйственная метеорология изучает погоду и климат применительно к практическим задачам сель-

скохозяйственного производства; устанавливает количественные связи между этими условиями и процессами роста, развития и формирования урожая сельскохозяйственных культур. Это позволяет по агрометеорологическому и агроклиматическому материалам устанавливать степень благоприятности погодных и климатических условий для получения значительного урожая различных сельскохозяйственных растений.

Специфическая особенность сельскохозяйственной метеорологии как науки заключается в том, что она исследует погоду, климат различных регионов, закономерности физических и биологических процессов, имеющих большое значение для решения практических задач сельского хозяйства. В обосновании теоретических вопросов агрометеорология опирается на основные законы физики атмосферы и почвы, биофизики, агрономии. Агрометеорология наиболее сильно связана с метеорологией и климатологией, а также с физической географией, почвоведением, гидрологией, растениеводством, физиологией растений и с другими географическими, биологическими и сельскохозяйственными науками.

### **1.1.2. Методы агрометеорологических исследований**

В сельскохозяйственной метеорологии, как в других географических науках, используются следующие *общие методы исследований*:

- *метод наблюдений* – заключается в том, что с помощью приборов на станциях, постах, в экспедициях ведутся наблюдения за агрометеорологическими явлениями и процессами;

- *экспериментальный метод* – сводится к тому, что в природных или лабораторных условиях ставятся опыты по искусственному воспроизведению того явления или процесса, которые представляют интерес для сельскохозяйственного производства;

- *метод теоретического анализа* – основан на изучении агрометеорологических явлений путем использования законов физики, биологии, физиологии, термодинамики и других наук с привлечением математического аппарата для получения выявленных закономерностей в количественной форме.

Для решения агрометеорологических задач указанные общие методы получили дальнейшее развитие в виде **частных методов**, которые представляют собой наземные и дистанционные методы наблюдений.

К наземным методам относят следующие:

- *метод параллельных (сопряженных) полевых наблюдений* за метеорологическими явлениями и состоянием растений в одном месте, позволяющий устанавливать связи между погодными условиями, ростом, развитием и урожайностью сельскохозяйственных культур. Этот метод агрометеорологических исследований, предложенный П.И. Броуновым, является основным в сельскохозяйственной метеорологии. Сопряженные наблюдения позволяют устанавливать количественную связь роста и развития растений с агрометеорологическими условиями, оценивать потребности растений в определенных количествах света, тепла, влаги, выявлять критические температуры произрастания растений;

- *метод учащенных сроков посевов*, при котором растения высевают в поле в разные сроки (через 5, 10, 15 дней и более) и ведутся параллельные наблюдения за развитием растений и погодными условиями в одном месте. Растения различных сроков посева развиваются в неодинаковых метеорологических условиях. В результате такого опыта в течение одного года можно получить информацию о влиянии разных комплексов метеорологических параметров на исследуемые растения в конкретной местности. Этот метод значительно ускоряет изучение устойчивости растений к неблагоприятным явлениям погоды;

- *метод географических посевов*, при котором сопряженные наблюдения проводятся в разных географических пунктах, на разных широтах, в сочетании с учащенными сроками посева растений. Этот метод позволяет решать те же задачи, что и предыдущий метод, так как посевы конкретного сорта в разных климатических зонах находятся в различных условиях увлажнения, температуры, продолжительности дня и т. д.;

- *метод климатического анализа ареалов и границ растений* (географический метод), при котором рост и развитие растений

изучаются в пределах ареала их возделывания в сопоставлении с агроклиматическими ресурсами региона;

- *метод микроклиматических посевов и посадок*, заключающийся в изучении одной и той же культуры в условиях нескольких рядом расположенных пунктов с разным микроклиматом;

- *метод экспериментально-полевой*, при котором в полевых опытных условиях искусственно изменяют агрометеорологические условия возделывания растений (температуру и влажность почвы, продолжительность и интенсивность освещения, наличие и отсутствие снежного покрова и др.);

- *метод экспериментально-лабораторный*, позволяющий в специальных камерах искусственного климата (фитотронах) создавать различные сочетания агрометеорологических условий и изучать их влияние на формирование урожая.

Экспериментальные методы дают возможность многократно воспроизводить и комбинировать оптимальные и аномальные условия формирования урожая, отдельные периоды вегетации, контролировать и фиксировать условия эксперимента.

В последнее время все большее развитие получают *дистанционные методы наблюдений*. По использованию технических средств они делятся на *вертолетные, самолетные, спутниковые*. В настоящее время спутниковые методы представляют наибольший интерес для сельского хозяйства.

В целях получения данных для гидрометеорологического обеспечения и глобального экологического мониторинга в России и странах СНГ эксплуатируется космическая гидрометеорологическая система «Метеор-3», космический аппарат «Ресурс-01», геостационарный метеорологический спутник «Электро». Разработанные *космические методы наблюдений* включают в себя визуальные наблюдения, многозональное фотографирование, телевизионную, инфракрасную и радиотепловую съемки.

- *Многозональное фотографирование* представляет собой одновременное фотографирование одних и тех же земных объектов сразу в нескольких зонах спектра. Съемку производят фотокамерой, имеющей несколько объективов, каждый из которых снаб-

жен определенным световым фильтром. В итоге получают серию фотографий земных объектов, которые испускают длины волн, пропускаемые соответствующим фильтром. Этот метод позволяет четко различать типы почв, степень их влажности. Для оптимального использования земельного фонда сельскохозяйственных угодий необходимо проводить оценку состояния почвенного покрова. Одним из факторов, ограничивающих использование земли в сельском хозяйстве, является эрозия почв, которая очень хорошо распознается именно на многозональных космических снимках.

- *Телевизионная съемка* проводится телеобъективами, установленными на космических спутниках Земли, в диапазоне длин волн 0,45–0,75 мкм. Бортовые устройства спутника «запоминают» изображения земных объектов и передают их на наземные телеэкраны, с которых делают фотографии. С помощью космических телесъемок можно определять появление и границы снежного покрова, степень созревания культур, возникновение опасных агрометеорологических явлений (например, пыльных бурь).

- *Инфракрасная съемка* осуществляется специальной аппаратурой путем фиксирования инфракрасной части отраженной от земных объектов солнечной радиации или радиации, непосредственно излучаемой земными объектами. Такая съемка дает возможность различать изменения в состоянии растений, обусловленные недостатком влаги в почве, избыточным засолением, различными болезнями.

- *Радиотепловая съемка* основана на измерении излучения земных объектов в диапазоне длин волн 0,3–30 см. Ее важным преимуществом перед другими съемками является возможность фиксировать земные объекты при наличии облаков между спутником и Землей, а также проникать в толщу почвы. С помощью радиотепловой съемки фиксируют особенности рельефа сельскохозяйственных угодий, степени густоты растительного покрова, влажность воздуха и почвы.

Космические методы наблюдений играют важную роль в агрометеорологическом обеспечении сельскохозяйственного про-

изводства. Спутниковые данные и результаты их тематической обработки дают объективную информацию о текущем состоянии растительного покрова, о фазах вегетации, о динамике всходов и развития посевов озимых и яровых культур, об имеющихся аномалиях для различных сельскохозяйственных растений, о степени изреженности и площади проективного покрытия сельскохозяйственных угодий. Данные, полученные дистанционными методами, позволяют принимать своевременные решения и оперативные меры о сроках и содержании мероприятий, направленных на сохранение и увеличение урожая.

В качестве *теоретических методов* агрометеорологических исследований используют *корреляционный* и *регрессивный анализы*. В последние годы в агрометеорологических исследованиях все чаще применяют *методы математического моделирования*, основной целью которых является прогнозирование продукционных процессов в системе «почва – растение – атмосфера». Получаемая информация об ожидаемом урожае сельскохозяйственных культур может использоваться при планировании работы хлебоприемных и перерабатывающих предприятий, транспорта для перевозки, а также при продаже и закупке сельскохозяйственной продукции.

Существующие методики прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур можно разделить на две группы: эмпирико-статистические и имитационно-модельные. *Эмпирико-статистический подход* предполагает конкретные культуры, район применения и учет определяющего влияния на жизненный цикл растений (онтогенез) внешних факторов, лимитирующих их рост, развитие и формирование урожая. *Имитационно-модельные методы* физически обоснованно отражают процесс формирования урожайности на протяжении вегетационного периода.

Все представленные методы агрометеорологических исследований используются не изолированно друг от друга, а в дополнении и взаимосвязи. Например, в математических моделях значения параметров модели определяются на основе материалов наземных, дистанционных наблюдений или лабораторного эксперимента.

### **1.1.3. Программа наземных агрометеорологических наблюдений**

Под *агрометеорологическими наблюдениями* понимается комплекс наблюдений за состоянием и изменением погоды, характеристиками почвы, зависящими от условий погоды, снежным покровом, состоянием и развитием сельскохозяйственных растений, а также за антропогенными воздействиями на среду обитания объектов сельскохозяйственного производства.

Наземные агрометеорологические наблюдения проводят с целью получения информации для непосредственного обеспечения народнохозяйственных организаций сведениями об агрометеорологических условиях в пункте наблюдений. Обслуживаемые организации оповещаются об опасных агрометеорологических явлениях. Прогностические органы обеспечиваются данными, необходимыми для составления всех видов агрометеорологических прогнозов, справок о текущих агрометеорологических условиях и предупреждений в случае их неблагоприятного развития в последующем. Производится накопление и обобщение объективных данных об агрометеорологическом режиме и агроклиматических ресурсах отдельных территорий и страны в целом.

Агрометеорологические наблюдения производятся на агро- и гидрометеорологических станциях, а также агрометеорологических и метеорологических постах национальных гидрометеорологических служб государств. В основные задачи станций и постов по производству агрометеорологических наблюдений входит:

- проведение наблюдений в районе расположения станции или поста;
- первичная обработка результатов наблюдений;
- составление информационных агрометеорологических донесений и передача их соответствующим организациям и учреждениям в установленные сроки.

Для целей агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства необходимо, чтобы программа наблюдений и расположение пунктов соответствовали следующим основным принципам:

- сопряженность агрометеорологических и метеорологических наблюдений;
- информативность пунктов наблюдений и соответствие их основным требованиям по полноте, достоверности и регулярности наблюдений.

Достоверность результатов наблюдений на станциях и постах обеспечивается тем, что для всех измерений используют приборы и оборудование, поверенные национальными гидрометеорологическими службами. Наблюдения проводят в строгом соответствии с действующими руководящими документами по методам агрометеорологических наблюдений, а объекты наблюдений выбирают на сельскохозяйственных полях, пастбищах и других угодьях, являющихся репрезентативными для территории деятельности станции или поста.

**Программа агрометеорологических наблюдений.** Агрометеорологические наблюдения за сельскохозяйственными культурами проводят по *полной* или *сокращенной* программе. По *полной* программе проводят наблюдения станции и посты за ведущими в регионе сельскохозяйственными культурами, при этом обход наблюдаемых участков осуществляют через день. На исследуемом участке определяют влагозапасы почвы, элементы продуктивности посевов, структуру урожая, ведут наблюдения за температурой почвы на глубине узла кущения озимых культур или на глубине корневой шейки многолетних трав, а также за другими агрометеорологическими параметрами (таблица 1).

*Сокращенная* программа наблюдений может быть уменьшена по *срокам наблюдений* ( $C_{\partial}$ ), по *наблюдаемым параметрам* ( $C_{п}$ ), а также по *срокам и параметрам* ( $C_{сн}$ ). При программе  $C_c$  наблюдения ведут за всеми агрометеорологическими параметрами, но обход наблюдаемого участка проводится два раза в декаду: в четвертый (4, 14 и 24-е числа) и последний день декады. Программу  $C_{п}$  применяют на далеко расположенных от станции или поста полях, и за счет сокращения количества регистрируемых параметров производят увеличение количества наблюдаемых культур. Обход совершают через день, но наблюдения ведут не за

всеми агрометеорологическими параметрами. Обязательными являются наблюдения за фазами развития растения, засоренностью и состоянием посевов, высотой и густотой стояния растений, повреждениями посевов неблагоприятными метеорологическими явлениями, сельскохозяйственными вредителями и болезнями, за проведением агротехнических мероприятий, а также осенние и весенние обследования зимующих культур. При программе  $C_{сп}$  наблюдения ведут не за всеми параметрами, и обход проводят три раза в декаду.

Таблица 1 – Типовая полная программа основных агрометеорологических наблюдений для станций и постов в теплый и холодный периоды года

Вид агрометеорологических наблюдений	Программа			
	АГМС	АП	МП	
			1-го разряда	2-го разряда
Теплый период года				
Температура пахотного слоя	+	+	+	+
Температура воды в рисовом чеке	+	+	-	-
Осадки на сельскохозяйственных полях	+	+	-	-
Влажность верхних слоев почвы (визуальные наблюдения)	+	+	+	+
Влажность корнеобитаемого слоя почвы (инструментальные наблюдения)	+	+	+	-
Фазы развития сельхозкультур, трав, древесных и кустарниковых растений	+	+	+	+
Состояние сельхозкультур, густота стояния, высота растений, засоренность посевов, повреждение растений неблагоприятными метеоявлениями, полегание посевов, общая визуальная оценка состояния растений	+	+	+	+

Повреждение растений вредителями и болезнями	+	+	-	-
Формирование элементов продуктивности, растительная масса, структура урожая сельхозкультур	+	-	-	-
Весеннее обследование состояния полевых культур и садов	+	+	+	+
Полевые работы	+	+	+	+
Холодный период года				
Температура почвы в зоне узла кущения озимых культур и корневой шейки многолетних трав, корневой системы плодовых культур	+	+	-	-
Глубина промерзания и оттаивания почвы (инструментальные наблюдения)	+	+	-	-
Осеннее обследование состояния зимующих полевых культур	+	+	+	+
Определение жизнеспособности зимующих полевых культур и плодовых деревьев	+	+	-	-
Снежный покров на полях с зимующими культурами и в плодовом саду	+	+	+	+

Метеорологические наблюдения по программе станции или поста не ниже второго разряда являются составной частью агрометеорологических наблюдений.

Объем и порядок передачи информации о результатах наблюдений для каждой станции и поста определяются планом работ с учетом специализации сельскохозяйственного производства региона. НГМС ежегодно утверждает и направляет станции или посту для исполнения планы-задания, в которых содержание агрометеорологических наблюдений обязательно конкретизируют по видам наблюдений и составу наблюдаемых культур.

Станции и посты по распоряжению НГМС привлекаются к подаче ежедневных и декадных агрометеорологических теле-

грамм в установленные сроки. Результаты агрометеорологических наблюдений записывают в специальные полевые книжки:

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

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

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

## ТЕМА 2. ПОНЯТИЕ О ВЗАИМОСВЯЗИ «ВНЕШНЯЯ СРЕДА – РАСТЕНИЕ». СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КЛИМАТА И ПОГОДЫ

### 2.1. Система «почва – растение – атмосфера». Основные биологические законы земледелия и растениеводства

#### 2.1.1. Система «почва – растение – атмосфера»

В современной экологии сложилась следующая классификация понятия среды. *Природная среда* – это совокупность неорганических (абиотических) и органических (биотических) факторов по отношению к растениям, животным и другим организмам вне зависимости от контактов с человеком. *Окружающая среда* – это вещество, энергия и пространство, окружающие организмы и воздействующие на них как положительно, так и отрицательно. *Антропогенная среда* – это природная среда, прямо или косвенно, намеренно или непреднамеренно измененная людьми. При более детальном изучении среды выделяют среду обитания и условия существования. *Среда обитания* – это часть природной среды, окружающая живые организмы, с которой они взаимодействуют. Составные элементы и свойства среды обитания разнообразны и изменчивы: при этом одни из них могут быть необходимыми организму, другие – оказывают отрицательное воздействие, иные – нейтральны для жизнедеятельности живых организмов. *Условия существования* – это совокупность необходимых организмам элементов среды, с которыми они находятся в неразрывном единстве и без которых их существование невозможно.

Среда обитания и условия существования включают в себя понятие «экологический фактор». *Экологический фактор* (от лат. factor – делающий, производящий) – это любой изменяющийся элемент окружающей среды, вызывающий у живых организмов при своих повторных изменениях ответные приспособительные эколого-физиологические реакции, наследственно закрепляющиеся в процессе эволюции. Это внешние и внутренние силы, опре-

деляющие направление и скорость процессов, совершающихся в живых организмах и экосистемах [16]. Направление изменения экологических факторов происходит на протяжении различных отрезков времени, например развитие эрозионных процессов, зарастание водоемов, похолодание или потепление климата и т. п.

Разнообразие экологических факторов чрезвычайно велико, их различают *по среде возникновения* (атмосферные, водные, почвенные и др.), *по степени воздействия* (экстремальные, лимитирующие, летальные и др.), *по времени действия* (эволюционные, сезонные и др.), *по характеру действия* (геофизические, географические, биогенные и др.).

В сельском и лесном хозяйствах в совокупности всех экологических факторов обычно выделяют три группы: абиотические, биотические и антропогенные.

1. *Абиотические факторы* (от греч. а – отрицательная приставка и *bionicos* – жизненный, живой) – это факторы (элементы) неорганической (неживой) природы, влияющие на живые организмы. Они делятся на:

а) *климатические факторы* – уровень солнечной радиации, световой и тепловой режимы, газовый состав, атмосферное давление и движение воздушных потоков, влага (различные формы осадков, влажность воздуха, почвы и т. п.);

б) *почвенно-грунтовые факторы* – гранулометрический и химический состав, физические свойства – тепло- и влагоемкость, химизм и микробиология почв;

в) *орографические факторы* – высота, особенности рельефа местности, его формы и экспозиция склонов.

2. *Биотические факторы* – это совокупность влияний, оказываемых на живые организмы жизнедеятельностью других организмов. Такое влияние одних живых существ на другие может быть прямым и косвенным. К *прямым формам* воздействия относится широко распространенное в природе использование одних организмов другими в качестве источника питания (*хищничество*), обеспечивающего выживание в борьбе за существование. К этим формам относятся также *механические контакты жи-*

*вотных и растений* (поедание и вытаптывание растений животными при выпасе и т. п.); *паразитизм* одних высших растений на других (повилика полевая, заразиха и др.), а также грибов; *симбиоз* – длительное сосуществование различных организмов, приносящее им взаимную пользу, например лишайники, состоящие из водоросли и гриба. Еще примеры: насекомые-опылители растений содействуют размножению последних; зачастую распространение семян растений происходит с помощью животных и птиц; подавление популяций насекомых-вредителей на посевах с помощью энтомофагов – насекомых, питающихся вредителями полей или откладывающих свои личинки в их теле, используя последние в качестве питания для развивающихся личинок.

*Косвенное воздействие* биотических факторов выражается в изменении условий среды обитания для других живых организмов. Например, благодаря затенению, перехвату запасов почвенной влаги и питательных веществ быстрорастущими сорняками ухудшаются условия освещения, влагообеспеченности посевов и уровня плодородия почвы, в результате которых происходит снижение продуктивности культурных растений. Также к такому воздействию относится выделение растениями химических веществ – фитонцидов, угнетающих развитие близко растущих растений других видов (или пород). Например, под зелеными кронами грецкого ореха многие растения испытывают сильное угнетение, слабо вегетируют и не плодоносят.

3. *Антропогенные факторы* (от греч. *anthropos* – человек, *genos* – рождение) отражают влияние настоящей или прошлой, случайной или планируемой хозяйственной деятельности человека на окружающую среду.

Все организмы испытывают влияние комплекса экологических факторов. Для каждого вида растений, животных, для каждого индивидуума человека существует оптимум, зоны угнетения (стрессовые зоны) и пределы выживания, определяемые каждым фактором окружающей среды (рисунок 1.1). В биологической литературе эту закономерность называют *законом факторного оптимума*. В действительности критерии оптимума жизнедеятельности

тельности организмов формируются под влиянием комплекса окружающей его среды, среди которых важнейшим является температура (при равном влиянии остальных факторов).

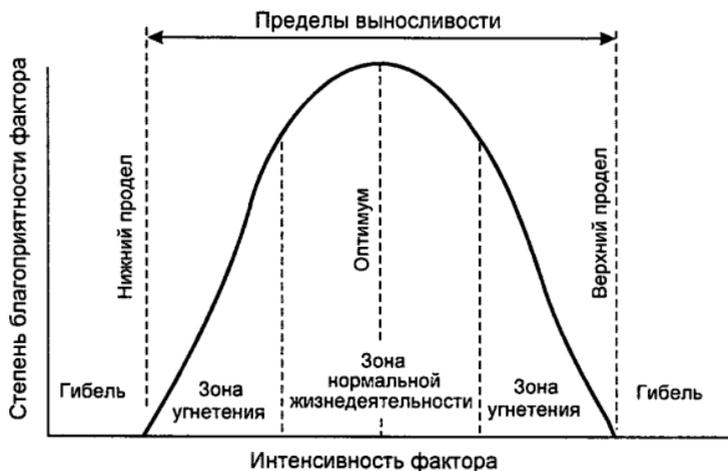


Рисунок 1.1 – Классическая схема действия экологического фактора на жизнедеятельность организмов

Весь диапазон температуры (от минимальной до максимальной), при котором еще возможна жизнедеятельность, определяет нижние и верхние пределы устойчивости (выносливости) организма. Оценки температуры с наиболее благоприятными условиями формируют оптимум жизнедеятельности организма. При этом известно, что суммарный эффект совместного влияния не является простой суммой реакций на действие отдельных факторов. Оптимум и пределы устойчивости организма по отношению к одному из факторов среды зависят от уровня благоприятности и интенсивности других факторов. Например, при оптимальной температуре повышается выносливость к неблагоприятной влажности воздуха или недостатку питания [22].

Известно, что сельскохозяйственное производство относится к одному из древнейших и масштабных видов деятельности со-

общества людей на Земле. Экстенсивное ведение сельского хозяйства (развитие этой отрасли за счет освоения новых земель путем распахивания целины, сведения лесов под посевы сельскохозяйственных культур, сады, пастбища и т. п.) стало главной причиной разрушения природных (естественных) экосистем на значительных площадях. В результате длительного воздействия человека на месте природных экосистем сформировались разнообразные антропогенные сельскохозяйственные образования – пашни, сады, виноградники, плантации чая и кофейного дерева, окультуренные луга и пастбища. Эти искусственные экологические системы одно- и многолетнего использования называются *агроэкосистемами*.

В отличие от природных экосистем, агроэкосистемы характеризуются неустойчивостью, но значительно более высокой продуктивностью, поскольку их состав, структура и режим жизнедеятельности возделываемых культур создаются, регулируются и поддерживаются трудом человека с целью получения максимального урожая высокого качества. По мнению известного эколога Ю. Одума (1987), агроэкосистемы – это одомашненные экосистемы, которые во многих отношениях занимают промежуточное положение между природными экосистемами (леса, степи, луга и т. п.) и искусственными (города). Агроэкосистемы играют существенную роль в круговороте энергии, воды и минеральных веществ на Земле.

Период существования агроэкосистем различен. Так, посевы зерновых культур существуют не более одного года, посевы многолетних трав 3–4 года, плодовых культур – от 6–7 лет (персики) до 20–30 лет (яблони, груши), по истечении которых они стареют и подлежат реставрации или замене. Одной из форм агроэкосистем являются полевые защитные, лесные полосы (например, в степной зоне), стабильное произрастание их отмечается в пределах 30 лет. Без ухода со стороны человека (расчистка, рубка загущенных посадок и т. п.) они постепенно «дичают», превращаясь в естественные лесостепные экосистемы.

При возделывании разнообразных сельскохозяйственных культур человек вносит в агроэкосистемы дополнительную энергию за счет обработки почвы и посевов сельскохозяйственной техникой, искусственных поливов, внесения удобрений, а также ядохимикатов для подавления популяций вредителей и болезней растений и т. п. В процесс интенсификации сельскохозяйственного производства вклад энергозатрат, расходуемых человеком на обработку почвы, внесение удобрений и защиту посевов от болезней и вредителей, а также средств на оплату труда земледельцев и т. п., неизмеримо возрастает.

Однако эта дополнительная, так называемая антропогенная, энергия играет лишь роль катализатора, стимулирующего более интенсивное использование растениями солнечной энергии в процессе фотосинтеза, запасов почвенной влаги и питательных веществ. Хорошо известно, что примерно 90–95 % сухого вещества растений создается за счет фотосинтетической аккумуляции энергии Солнца, благодаря свободно происходящим в растениях и почве биологическим процессам.

Следствием обеспечения устойчивости продукционного процесса растений и животных является серьезное воздействие всей сельскохозяйственной деятельности человека на окружающую природную среду. В условиях быстро растущего населения Земли и расширения сельскохозяйственного производства агроэкосистемы стали значительными элементарными единицами биосферы.

Структура любой агроэкосистемы состоит из *биотических* сообществ *агрофитоценозов*, характеризующихся ограниченным количеством видов растений (и присущих им представителей животного мира), а также *абиотических* компонентов, составляющих среду обитания растений и животных. Поддерживаемая человеком среда обитания используется ими как жизненное пространство, источник энергии и минерального питания.

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. Жизнедеятельность растений в значительной мере определяется физическими и химическими свойствами

почвы: механическим составом, плотностью, пористостью, содержанием органических веществ (гумуса) и минеральных солей и т. п. В процессе взаимодействия почвы с атмосферой и растительным покровом в почвенных горизонтах формируется тепловой, водный и воздушный режимы, определяющие запасы влаги и минерального питания, характерные для конкретных типов почвы, сезонов года и применяемого агротехнического комплекса в агроэкосистемах.

Физиологами растений и агрохимиками установлено, что процессы обмена веществом и энергией между средой обитания и растениями происходят в корнях и надземных органах одновременно, они не разделены функционально. Состав и режим воздушной и почвенной сред обитания растений, находясь под непосредственным и определяющим воздействием внутренних компонентов агроэкосистемы, прежде всего растительности, испытывает значительное влияние внешних атмосферных и почвенных процессов. Происходящие в растительном покрове обменные процессы между веществом и энергией изменяют воздушную и почвенную среду своего обитания, смягчая в известной степени резкие колебания внешних условий.

В воздушной среде эти изменения охватывают следующие процессы: перенос солнечной радиации в среде растений, ее поглощение, отражение и рассеяние надземными органами растений и почвой; изменение воздушных потоков в среде растений и над растительным покровом; испарение влаги с поверхности растений (транспирация) и почвы, перенос тепла и влаги над растительным покровом. Под влиянием этих процессов, а также теплового излучения атмосферы формируются температурные режимы верхних слоев почвы, внутри растительного покрова и над растительностью. В надземных органах растений – листьях, побегах и репродуктивных органах – осуществляются процессы фотосинтеза и дыхания. Эти процессы определяют углекислотный режим, охватывающий выделение углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) из почвы, его перенос в воздухе, поглощение растениями днем и выделение его ночью. Противоположно переносу углекислого

газа ( $\text{CO}_2$ ) происходит перенос кислорода ( $\text{O}_2$ ): его поглощение почвой, выделение днем и поглощение растениями ночью.

Почвенная среда агроэкосистемы связана со всеми другими ее компонентами и поддерживает ее функционирование. Разнообразные свойства этой среды специалисты делят на две группы. Первая из них объединяет относительно консервативные свойства, которые в каждом отдельном типе почвы изменяются незначительно, отражая исторические условия формирования (генезис почвы) и современный комплекс экологических факторов конкретной агроэкосистемы. Это основные физические и химические свойства почвы и подстилающих пород – механический состав, плотность, пористость, валовой химический состав, кислотность, количество органических остатков (гумус), а также содержание и распределение живых организмов в почвенных горизонтах.

Вторую группу свойств объединяют достаточно изменчивые характеристики почвенных горизонтов, определяемые процессами взаимодействия почвы с атмосферой и растительным покровом. Под влиянием этих процессов формируется годовая и сезонная динамика теплового, водного и воздушного режимов, а также содержание и уровень доступности растениям минерального и органического питания.

По выражению О.Д. Сиротенко [15], растения в своем развитии как бы «связывают» почву и атмосферу. Отсюда и появился термин *система «почва – растение – атмосфера»*. Эта система условно подразделяется на шесть горизонтальных слоев (рисунок 1.2).

По вертикали от поверхности почвы до верхней границы растительного покрова  $h_0(t)$  и до нижней границы распространения корней  $r_0(t)$  выделяется внутренняя среда – неотъемлемая составная часть агроэкосистемы. Это атмосферная и почвенная среды агроэкосистемы. Выше и ниже внутренней среды расположены переходные, буферные зоны, в которых отсутствуют элементы фитомассы, но физические характеристики этих зон благодаря процессам обмена сохраняют определенное влияние на характер

и структуру агрофитоценоза (фитоценоза). Атмосферная и почвенная буферные зоны граничат с внешней средой агроэкосистемы.

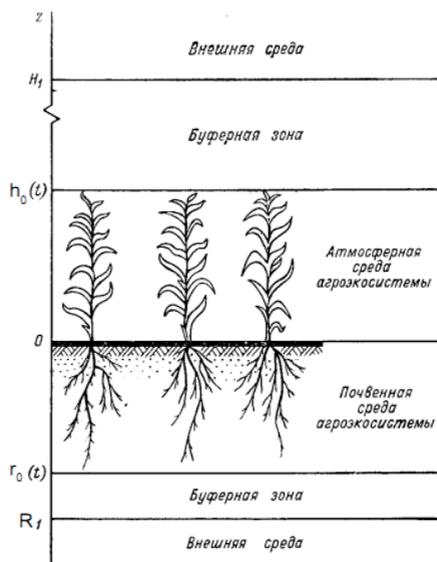


Рисунок 1.2 – Горизонтальные слои системы «почва – растение – атмосфера»

Свойства внутренней атмосферной и почвенной сред агроэкосистемы, охватывающих приземный слой атмосферы и верхние слои почвы, определяются особенностями взаимодействия с другими физическими и физиологическими процессами, протекающими в компонентах агроэкосистемы (тепло- и влагообмен в среде растений и почвы, фотосинтез, дыхание растений и др.).

Свойства внешней среды агроэкосистемы ( $z > H_1$  и  $z < R_1$ ) формируются под влиянием крупномасштабного влияния атмосферных процессов, а также процессов, происходящих в подстилающих почву породах, независимо от размеров агроэкосистемы. Границы внешней и внутренней среды агроэкосистемы весьма динамичны во времени и пространстве, они определяются се-

зонными особенностями роста и развития возделываемых сельскохозяйственных культур и, естественно, характером складывающихся агрометеорологических условий конкретных лет. Эти границы могут варьировать от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров.

### **2.1.2. Основные биологические законы земледелия и растениеводства**

Агрометеорологические исследования базируются на использовании следующих 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:* солнечная радиация, температура и влажность воздуха и почвы, воздух, питательный субстрат (почва) – оказывают 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 на локальных территориях – ветер, облачность, ориентация и крутизна склонов в горах и т. п. Например, облачность ослабляет интенсивность солнечной радиации, снижает температуру подстилающей поверхности и воздуха; ветер усиливает испарение с поверхности почвы (воды) и транспирацию растений, турбулентность приземного слоя воздуха и теплообмен в среде растений и т. п.

2. *Закон равнозначности (или незаменимости) основных факторов жизни.* Роли основных факторов жизни равнозначны для растений, поскольку ни один из них не может быть исключен или заменен другим. Так, солнечную радиацию нельзя заменить теплом, тепло – влажностью почвы или воздуха и т. д. Все они жизненно необходимы растениям. Совокупность воздействия

на растения этих факторов обеспечивает то или иное состояние, интенсивность роста, развития и формирования продуктивности растений.

3. *Закон критических периодов в жизни растений* был сформулирован П.И. Броуновым: «В отдельные периоды жизни растения особо чувствительны к определенным количественным значениям основных факторов среды – к уровню температуры, количеству влаги в почве, освещенности и др.». В течение жизни растений, т. е. временного промежутка биологического цикла (обычно вегетационного периода), растениям присуща максимальная чувствительность к определенным количественным значениям факторов среды. Например, почвенная засуха в фазы кущения, выхода в трубку или молочно-восковой спелости зерна у злаков или критические температуры почвы на глубине залегания узла кущения зимующих злаков при отсутствии или незначительной высоте снежного покрова. Следствием неблагоприятных условий, совпадающих по времени с критическим периодом в жизни растений, является значительное снижение урожайности сельскохозяйственных культур.

4. *Закон минимума (или лимитирующего фактора)*. Даже единственный фактор за пределами своего оптимума приводит к стрессовому состоянию растительного организма, а в экстремальных величинах – к его гибели. Следовательно, состояние растения, его конечная продуктивность определяются фактором, находящимся в минимуме при оптимальных прочих условиях. Таким фактором, например, может стать недостаток почвенной влаги или пониженная температура (в том числе заморозок) в критические периоды жизни растений; низкая освещенность, нарушающая длительное время процессы фотосинтеза растений. В экологии и агрометеорологии этот закон называют также по имени его автора – немецкого химика Ю. Либиха (1840).

5. *Закон толерантности* (от лат. *tolerantia* – терпение) был сформулирован американским зоологом В. Шелфордом (1913): существование вида определяется как недостатком, так и избытком любого из ряда факторов, имеющих уровень, близкий к пре-

делу выносливости (переносимости) данного организма. В связи с этим все факторы, уровень которых приближается к пределам выносливости организма или превышает ее, называются лимитирующими. Таким образом, организмы характеризуются экологическим минимумом и экологическим максимумом, реагируя сходным образом на оба наихудших значения факторов, а их выносливость к воздействиям в диапазоне между этими крайними величинами названа пределом толерантности вида.

6. *Закон оптимума (или совокупного действия факторов)*. Максимальная продуктивность растений формируется только при оптимальном количественном сочетании основных и второстепенных факторов в жизни растений в критические периоды в условиях оптимального применения агротехники возделывания сельскохозяйственных культур. Этот закон является частным случаем фундаментального биологического принципа, называемого законом факторного оптимума. Его сущность состоит в том, что для каждого вида растений, животных и человека существует оптимум, зоны угнетения (стрессовые зоны) и пределы выживания, определяемые каждым фактором окружающей среды.

7. *Закон максимума*. Количественное увеличение параметров экологических условий не может увеличить биологическую продуктивность организма или хозяйственную производительность посева (агроценоза) или экосистемы сверх вещественно-энергетических лимитов, определенных наследственными свойствами биологических объектов и их сообществ.

8. *Закон последовательного прохождения фаз развития*. Фазы развития растений (и периоды развития животных) могут следовать лишь в эволюционно закреплённом (исторически, экологически обусловленном) порядке, обычно от относительно простого строения (состояния) к более сложному. Как правило, промежуточные фазы (или этапы) не выпадают в процессе развития, но в отдельных случаях складывающихся агрометеорологических условий возможно ускоренное их прохождение. Этот закон – логическое следствие диалектики развития природных

процессов: ничто не может индивидуально пройти развитие от старости к молодости.

9. *Закон фотопериодической реакции (или физиологических часов)*. Растения реагируют на продолжительность дня и ночи, ускоряя или замедляя развитие при изменении светлой части суток [69].

10. *Закон плодосмены*. Чередование сельскохозяйственных культур в пространстве и во времени (севооборот) при прочих равных условиях обеспечивает получение более высоких урожаев по сравнению с многократным посевом одной и той же культуры на одном поле (монокультура).

11. *Закон регуляторной системы растений*. Растения беспрерывно получают информацию о состоянии внешней среды, реагируют на нее изменением внутренних процессов. Это одно из основных свойств растений, определяющих возможность возделывания культуры или сорта в данной местности.

12. *Закон убывающего (естественного) плодородия*. В условиях многолетних посевов монокультуры, вследствие изъятия питательных веществ из почвы при формировании урожая и вывозе его с полей, а также выноса питательных веществ при обильных и длительных осадках в глубокие горизонты почвы и речную сеть, на культивируемых землях происходят нарушения процессов почвообразования и снижение естественного плодородия почв. Этот процесс частично нейтрализуется накоплением биомассы подземных частей культурных растений, но главным образом – внесением удобрений (созданием искусственного плодородия). Общая интенсификация сельскохозяйственного производства позволяет частично нейтрализовать проявление этого закона.

13. *Закон совокупности (или закон совместного действия природных факторов)*. Величина урожайности зависит не от отдельного, пусть даже лимитирующего фактора, а от всей совокупности факторов среды одновременно. Вклад каждого отдельного фактора в их совокупном влиянии различен и может быть определен количественно. Иногда этот закон называют законом совместного действия природных факторов, или законом Э. Митчерлиха – А. Тинемана – Б. Бауле.

14. *Закон периодической географической зональности.* Тепловой и водный балансы земной поверхности в природной географической среде, как правило, являются тем главным механизмом, который определяет интенсивность и характер всех форм обмена энергией и веществом между основными процессами и компонентами географической среды. Это наглядно обнаруживается при сравнении физико-географических поясов Северного и Южного полушарий, а также при их сравнении по широте, с юга на север, с вертикальной зональностью в горных системах: от предгорий до высокогорий. Со сменой физико-географических поясов аналогичные ландшафтные зоны и их некоторые общие свойства периодически повторяются. Установленная законом периодичность проявляется в том, что величины индекса сухости (отношение испаряемости к осадкам за год или часть года) меняются в разных зонах от 0 до 4–5; трижды между полюсами и экватором они близки к единице – этим значениям соответствует наибольшая биологическая продуктивность ландшафтов [10].

15. *Законы Фурье (распространения тепла в почве)*

*Первый закон.* Чем больше плотность и влажность почвы, тем лучше она проводит тепло, тем быстрее распространяется в глубину и тем глубже проникают колебания температуры. Независимо от типа почвы период колебаний температуры не изменяется с глубиной. С увеличением последней амплитуда колебаний температуры уменьшается.

*Второй закон.* Возрастание глубины почвы в арифметической прогрессии приводит к уменьшению амплитуды ее температуры в геометрической прогрессии.

*Третий закон.* Сроки наступления максимальных и минимальных температур как в суточном, так и в годовом ходе запаздывают с увеличением глубины почвы пропорционально глубине.

*Четвертый закон.* Глубины слоев постоянной суточной и годовой температуры относятся между собой как корни квадратные из периодов колебаний, т. е. как 1 : 365 [65].

## 2.2. Классификация сельскохозяйственных культур по их отношению к основным факторам жизни

### 2.2.1. Различные виды классификаций сельскохозяйственных культур

Известными исследователями в области сельскохозяйственной метеорологии Г.Т. Селяниновым, П.И. Колосковым, В.Н. Степановым, Д.И. Шашко, А.М. Алпатьевым были разработаны несколько видов классификаций сельскохозяйственных и дикорастущих растений исходя из климато-экологического принципа. Основой большинства таких классификаций являются показатели потребности растений в основных факторах жизни (свете, влаге, тепле).

Впервые одну из таких классификаций предложил *Г.Т. Селянинов*, взяв за основу отношение растений к термическому режиму. В этом плане им выделено три признака:

- а) характер изменения средней месячной температуры воздуха за время вегетации;
- б) уровень температуры начала роста растений;
- в) сумма температур воздуха выше 10 °С.

Все культуры разделены Селяниновым на три группы по первому признаку; каждая из них подразделяется на классы по второму признаку, а последние – на формы по третьему признаку (таблица 2.1).

В классификации *П.И. Колоскова* (1947) основным признаком принята продолжительность вегетационного периода, характеризующая скороспелость культур. Предложенный признак имеет решающее значение при определении северной границы возможного произрастания сельскохозяйственных культур, при продвижении их в регионы с засушливым климатом. Все культуры были разделены на пять классов:

- 1) ультраскороспелые (продолжительность вегетации менее 85 дней);
- 2) скороспелые (85–115 дней);
- 3) среднеспелые (115–145 дней);

Таблица 2.1 – Схема классификации травянистых сельскохозяйственных культур по отношению к температуре

Группа	Колебания температуры	Культура	Класс	Уровень температуры, Синицина Н.И., Гольцберг И.А., Струнников Э.А. начала роста	Характеристики культуры	Форма	Сумма температур выше 10 °С	Степень скороспелости
1	2	3	4	5	6	7	8	9
А	Колебание средней месячной температуры не превышает 5 °С	Тропические	I	0–5	Холодолюбивые	1	1 000	Очень скороспелые
		Бахчевые				2	1 000–2 000	Скороспелые
	Форма кри-вой годового хода температуры близка к прямой линии	Кукуруза, сорго, хлопок, кенаф, батат, картофель	II	5–10	Умеренные (картофель)	1	1 000–2 000	Скороспелые
						2	2 000–3 000	Среднеспелые
						3	3 000	Позднеспелые

Таблица 2.1 – Схема классификации травянистых сельскохозяйственных культур по отношению к температуре (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
А	Форма кри- вой годового хода темпе- ратуры близ- ка к прямой линии	Кукуруза, сорго, хло- пок, кенаф, батаг, кар- тофель	III	10–15	Теплолюби- вые (кукуруза)	1	1 000– 2 000	Скороспелые
						2	2 000– 3 000	Среднеспелые
						3	3 000– 4 000	Позднеспелые
						4	4 000	Очень позднеспелые
						1	1 000– 2 000	Скороспелые
			IV	15	Очень теплолюбивые (огурец, то- мат)	2	2 000– 3 000	Среднеспелые
						3	3 000– 4 000	Позднеспелые
						4	4 000– 6 000	Очень позднеспелые
						5	6 000	Непрерывно вегетирующие

Таблица 2.1 – Схема классификации травянистых сельскохозяйственных культур по отношению к температуре (продолжение)

Б	Колебание средней месячной температуры в течение вегетации превышает 10 °С. Форма кривой хода температуры выпуклая	I	0–5	Холодолюбивые (лен)	1	1 000	Очень скороспелые		
					2	1 000–2 000	Скороспелые		
					3	2 000–3 000	Среднеспелые		
				II	5–10	Умеренные (яровая пшеница)	1	1000	Очень скороспелые
							2	1000–2000	Скороспелые
							3	2000–3000	Среднеспелые
		III	5–10	Теплолюбивые (подсолнух)	1	1000–2000	Позднеспелые		
					2	2000–3000	Скороспелые		
					3	3000–4000	Среднеспелые		
		4	4000	Очень позднеспелые					

Таблица 2.1 – Схема классификации травянистых сельскохозяйственных культур по отношению к температуре (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
В	Колебание средней месячной температуры в течение вегетации превышает 5 °С. Форма кривой хода температуры вогнутая	Озимые хлеба, капуста, корнеплоды, лук	I	0–5	Холодолюбивые (капуста)	1	1000	Очень скороспелые
						2	1000–2000	Скороспелые
						3	2000–3000	Среднеспелые
		II	5–10	Умеренные (озимая пшеница)	1	1000	Очень скороспелые	
					2	1000–2000	Скороспелые	
					3	2000–3000	Среднеспелые	

- 4) позднеспелые (145–175 дней);
- 5) особо позднеспелые (более 175 дней).

В качестве второго признака была использована степень влаголюбивости (или засухоустойчивости) растений, характеризующая коэффициентом увлажнения  $K$  (отношение годовых сумм осадков к годовой сумме средних месячных дефицитов упругости водяного пара). По этому признаку выделено пять групп культур:

- 1) культуры зоны крайней сухости, произрастающие без полива ( $K$  менее 1,6);
- 2) культуры, произрастающие в засушливой зоне ( $K$  не менее 1,6);
- 3) культуры малозасушливой зоны ( $K$  не менее 3,2);
- 4) культуры умеренно влажной зоны ( $K$  не менее 4,6);
- 5) культуры влажной зоны (возделываются только при орошении).

Третьим признаком принята величина транспирационного коэффициента культур, по которому выделено пять родов: 1) растения с коэффициентом менее 300; 2) от 300 до 400; 3) от 400 до 500; 4) от 500 до 600; 5) более 600.

Четвертый признак – начало вегетации и степень морозоустойчивости растений, по которым выделено семь видов растений:

- 1) озимые высокой зимостойкости (рожь);
- 2) средней зимостойкости (пшеница);
- 3) низкой зимостойкости (озимый ячмень, горох);
- 4) яровые очень заморозкоустойчивые;
- 5) довольно заморозкоустойчивые и вегетирующие при температуре воздуха 5 °С;
- 6) переносящие слабые заморозки и вегетирующие при температуре выше 10 °С;
- 7) не выдерживающие даже слабых заморозков и начинающие вегетировать при температуре выше 15 °С.

Также в классификации П.И. Колоскова была учтена специфическая особенность каждой культуры путем выделения подвидов: а) растения при большой сухости воздуха прекращают вегетацию и погружаются в покой; б) растения, уменьшающие

продуктивность при ярком солнечном свете и пониженной влажности; в) растения, требующие много воды в почве.

Классификация, разработанная **В.Н. Степановым** (1957), основана на потребности растений в тепле и освещенности. По этим признакам все растения разделены им на два типа:

а) растения климатов умеренных широт и зимнего сезона климата субтропических широт;

б) растения климата тропических широт и летней вегетации климата субтропических широт.

Растения климата умеренных широт исторически развивались в условиях четко выраженной смены холодного и теплого сезонов года, и у них выработалась потребность в пониженных температурах в начале вегетации, повышающихся температурах в последующие периоды и несколько пониженных в период их созревания. Таким образом, оптимальное развитие растений климата умеренных широт проходит при изменяющемся режиме тепла и света, ход которого в вегетационный период может быть изображен выпуклой температурной кривой. Такие растения, обладающие высокой холодо- и морозостойкостью, относятся к растениям *длинного дня* или к *нейтральным*, существенно не реагирующим на изменение длины дня. К ним относят рожь, пшеницу, овес, ячмень, лен.

Растения тропического пояса исторически сформировались в условиях относительно ровного, мало меняющегося за вегетацию хода температуры воздуха при общем высоком уровне температуры. Они дают всходы при средней суточной температуре воздуха выше 10 °С, неустойчивы к низким температурам; это растения *короткого дня*. К ним относят просо, кукурузу, хлопчатник, рис, дыню, арбуз, табак и др.

Растения субтропического пояса разнородны и не образуют самостоятельного типа. В зависимости от биологических особенностей их относят либо к растениям умеренного, либо к растениям тропического пояса. Для первых из них, исторически сформировавшихся в условиях холодного сезона умеренных широт или зимнего сезона субтропиков (озимые злаки, корнеплоды), характерна потребность в низких температурах начального пе-

риода вегетации, высокая морозостойкость, ускоренное развитие при увеличении длины дня. Другая группа растений субтропиков выработала приспособленность к условиям летнего сезона субтропического климата, который близок к климату тропических широт. Поэтому эти растения (соя, табак и др.) характеризуются высокой выносливостью к теплу, большой чувствительностью к заморозкам; их вегетация проходит при мало изменяющемся режиме тепла и ускоряется в условиях короткого дня.

Растения обоих типов (а, б) подразделяются на формы по структуре и продолжительности жизненного цикла: одно-, дву- и многолетние с растянутым или коротким периодом роста, развития, цветения и плодоношения.

В.Н. Степанов делит все растения на пять классов по величине биологического нуля: I класс – биологический нуль растений 3–5 °С, II – 6–8 °С, III – 8–10 °С, IV – 10–12 °С, V класс– 12–15 °С.

По реакции на низкие температуры растения разделены на две расы: яровые и озимые. Раса яровых подразделяется на пять рас по заморозкоустойчивости: растения, выносящие заморозки в пределах –6...–8 °С, –4...–6 °С, –2...–4 °С, от –1...–2 °С, 0...–1 °С. Раса озимых подразделена на три подрасы по морозоустойчивости: растения, переносящие морозы ниже –20 °С, –15...–20 °С, –10...–15 °С.

Классификация В.Н. Степанова заканчивается выделением семи групп растений по потребности в тепле, выраженной суммой активных температур более 10 °С, и по длине вегетационного периода (в днях) (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Семь групп растений по потребности в тепле и по длине вегетационного периода

Группа растений	Сумма активных температур более 10 °С	Длина вегетационного периода, дней
Первая	До 1 000	60–80
Вторая	1 000–1 500	80–100
Третья	1 500–2 000	100–120

Четвертая	2 000–2 500	120–140
Пятая	2 500–3 000	140–160
Шестая	3 000–3 500	160–180
Седьмая	Более 3 500	более 180 дней

В таблице 2.3 приведены примеры сельскохозяйственных культур и их потребности в тепле (в суммах активных температур) за вегетационный период (по В.Н. Степанову).

Таблица 2.3 – Потребность основных сельскохозяйственных культур в тепле (в суммах активных температур) за вегетационный период (по В.Н. Степанову)

Культура	Сумма активных температур более 10 °С	Культура	Сумма активных температур более 10 °С
Зеленый лук, салат, редис	500–700	Кукуруза, сорго, соя	2 000–3 200
Лен	800–1 200	Рис	2 000–3 600
Ячмень	800–1 600	Хлопчатник	2 800–3 600
Яровая пшеница	1 200–2 000	Виноград	2 100–4 000
Подсолнечник, картофель, просо	1 200–2 400	Цитрусовые, чай	4 000–5 000
Свекла, брюква	1 600–2 800	Сахарный тростник, египетский хлопчатник	5 000–6 000
Сахарная свекла, конопля	2 000–2 600		

Приведенные выше классификации представляют собой попытки комплексно оценить среду обитания растений путем учета целого ряда климатических факторов. Однако такой подход не дает полного решения этой проблемы, поэтому некоторые исследователи составляют частные классификации, исходя из потребности растений в отдельных факторах жизни.

Рассмотрим биоклиматическую классификацию растений по потребности во влаге *А.М. Алпатьева* (1969). Она основана на двух признаках:

- а) суммарной потребности в воде за период вегетации;
- б) интенсивности потребления влаги по фазам развития растений.

По первому признаку выделены три группы растений: 1) древесные, 2) травянистые многолетние, 3) травянистые однолетние и эфемероиды.

Во второй и третьей группах растения, в свою очередь, располагаются в убывающем порядке по признаку потребности в воде, совпадающему с продолжительностью периода вегетации, так как чем короче вегетационный период, тем меньше потребность в воде. Суммарная потребность в воде определена биоклиматическим методом, разработанным самим автором.

На основе двух указанных критериев А.М. Алпатьевым выделены следующие группы и подгруппы по потребности в воде в нисходящем порядке:

I. Древесные:

- 1) вечнозеленые формы тропических широт;
- 2) листопадные формы тропических широт;
- 3) листопадные формы умеренных широт.

II. Травянистые многолетние:

- 1) многолетние формы тропических широт;
- 2) многолетние формы умеренных широт.

III. Травянистые однолетние и эфемероиды:

- 1) однолетние большой продолжительности вегетации;
- 2) однолетние средней продолжительности вегетации;
- 3) однолетние короткого периода вегетации и эфемероиды.

Классификация растений по потребности во влаге, по мнению А.М. Алпатьева, должна быть универсально-региональной, т. е. отражать как общие закономерности, так и влияние местных условий. Поэтому в разных географических условиях количественная потребность в воде растений одного и того же сорта может быть неодинаковой, что приведет к изменению места, занимаемого растением в классификации.

В ряде классификаций по отношению к освещенности культурные растения разделены на группы: 1) светолюбивые, 2) теневыносливые и 3) переходные между ними.

По реакции на продолжительность дня растения делятся за группы: 1) длинного дня, 2) короткого дня и 3) нейтральные.

**Д.И. Шашко** (1967) разработал классификацию основных полевых культур по их потребности в тепле и теплообеспеченности, введя для этого такие понятия, как «сумма климатических температур», «сумма биологических температур» и «сумма биоклиматических температур».

Под *суммой климатических температур* понимают сумму средних суточных температур воздуха за период возможной вегетации растений. Сумма климатических температур выражает общие ресурсы тепла данной территории, она рассчитывается за период со средней суточной температурой воздуха выше 10 °С.

Под *суммой биологических температур* понимают сумму средних суточных температур воздуха непосредственно за период вегетации данной культуры. Сумма биологических температур выражает потребность данной культуры в тепле. Культуры могут начинать или оканчивать вегетацию раньше или позже времени наступления средней суточной температуры воздуха 10 °С. Поэтому суммы климатических и биологических температур не равны друг другу. Разница между ними носит название климатической поправки.

Под *суммой биоклиматических температур* понимают количество тепла, обеспечивающее частое (не менее 9 лет из 10) созревание данной культуры или наступление ее определенной хозяйственно ценной фазы развития. Количественно сумма био-

климатических температур равна сумме биологических температур, увеличенной на определенное (расчетное) число для гарантии наступления нужной фазы развития.

Сумма биоклиматических температур  $\Sigma t_{\text{ок}}$  рассчитывается по формуле:

$$\Sigma t_{\text{ок}} = \Sigma t_{\text{б}} + P_{\text{к}} + P_{\text{ш}} + P_{\text{м}} + P_{\text{к}} + 300 \text{ (200, 250)},$$

где  $\Sigma t_{\text{б}}$  – сумма биологических температур;  $P_{\text{к}}$  – климатическая поправка;  $P_{\text{ш}}$  – поправка на широту места, учитывающая изменчивость (широтную) биологических температур;  $P_{\text{к}}$  – поправка на континентальность климата, учитывающая изменчивость биологических температур от этого фактора;  $P_{\text{м}}$  – поправка на микроклимат; 300 °С (200, 250 °С) – сумма температур, обеспечивающая в разных климатических зонах вызревание культур с обеспеченностью 90 %.

Классификация растений по потребности в тепле дана Д.И. Шашко в суммах биологических, а по теплообеспеченности – в суммах биоклиматических температур.

### **2.3. Сельскохозяйственная оценка климата и погоды. Агрометеорологические показатели**

#### **2.3.1. Сельскохозяйственная оценка климата и погоды**

Основы методики сельскохозяйственной оценки климатов территории начали интенсивно разрабатываться в начале XIX века А.И. Воейковым и П.И. Броуновым. Их идеи получили интенсивное развитие в исследованиях Г.Т. Селянинова, П.И. Колоскова, И.А. Гольцберг, Ф.Ф. Давитая, Л.Н. Бабушкина, С.А. Сапожниковой, Д.И. Шашко, Ю.И. Чиркова, А.И. Руденко, А.М. Шульгина и др.

Для сельскохозяйственной оценки климата необходимо сопоставление потребностей растений с климатическими ресурсами местности, установление степени благоприятности климатических условий для сельскохозяйственных культур.

Общепринятая методика сельскохозяйственной оценки климатических и погодных условий складывается из оценки:

- обеспеченности растений теплом и светом;

- обеспеченности растений влагой;
- условий перезимовки зимующих растений;
- неблагоприятных погодных явлений для сельского хозяйства;
- комплексной оценки бонитета климата, т. е. определения биоклиматического потенциала территории.

Сущность методики заключается в следующем: 1) изучение требований объектов сельского хозяйства к климатическим и погодным условиям; 2) изучение связей роста, развития и продуктивности культурных растений с агрометеорологическими условиями, выражаемыми соответствующими количественными показателями; 3) изучение географического распределения этих показателей; 4) сравнение агрометеорологических условий с требованиями к климату растений и установление степени их оптимальности (благоприятности); 5) учет микроклиматических особенностей, корректирующих обеспеченность территории ресурсами тепла, света, влаги; 6) вычисление статистических характеристик агрометеорологических явлений.

В агрометеорологии широко используется методика расчета повторяемости, вероятности и обеспеченности *агрометеорологических (агроклиматических) показателей*, разработанная впервые Ф.Ф. Давитая. Разработка этих показателей и их совершенствование занимали важное место на протяжении всей истории развития агрометеорологической науки. Агрометеорологические (агроклиматические) показатели характеризуют пространственно-временные связи роста, развития и урожайности сельскохозяйственных культур с климатом и погодой, их элементами и комплексами.

Показатели должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1) *интегральность*, т. е. показатели должны быть результатом совместного действия нескольких или многих климатических, биологических и других элементов;
- 2) *биологический и физический смысл*;
- 3) *относительная простота в употреблении*;
- 4) возможность проведения количественных расчетов пре-

имущественно на *основе массовых данных наблюдений*.

Агрометеорологические показатели можно подразделить на основные, дополнительные и региональные. Все они делятся на четыре группы, характеризующие 1) *тепло- и светообеспеченность*, 2) *влагообеспеченность*, 3) *условия перезимовки*, 4) *бонитет*, или *общую оценку комплекса всех условий*.

Таким образом, сельскохозяйственная оценка климата заключается в комплексном изучении агроклиматических условий данной территории и сопоставлении ее агроклиматических ресурсов с требованиями к климату сельскохозяйственных растений и животных.

### **2.3.2. Агрометеорологические показатели термических ресурсов территории**

Термический режим почвы и воздуха является важнейшим фактором в жизни растений. Он существенно влияет на такие процессы, как фотосинтез, дыхание, транспирация, усвоение питательных веществ, развитие корневой системы.

Для оценки термических ресурсов территории и теплообеспеченности растений обычно используют следующие агроклиматические показатели: дата начала и конца вегетации; продолжительность вегетационного периода с температурами выше определенного предела (0, +5, +10, +15, +20 °С), а также интегральные показатели термических ресурсов, такие как средняя сумма температур за вегетацию; напряженность тепла в определенные периоды вегетации; обеспеченность растений теплом; заморозки, их вероятность, интенсивность и другие показатели.

Рассмотрим методики расчетов некоторых из этих показателей.

1. Определение даты начала и конца вегетации и продолжительности вегетационного периода. *Агроклиматическим показателем начала и конца вегетации* сельскохозяйственных культур является средняя суточная температура воздуха дат начала и конца вегетации этой культуры. Этот показатель меняется в широких пределах в зависимости от района выращивания, сорта, вида и др. Например, рожь начинает расти (вегетировать) при среднесуточ-

ной температуре воздуха около 0 °С, ячмень – при температуре 5 °С, а некоторые тропические виды растений – при температуре 15–20 °С. Если влагообеспеченность растений достаточна, то для многих из них температуры начала и конца вегетации различаются незначительно. При неблагоприятном водном режиме (засуха, избыточное увлажнение) темпы развития растений могут сильно изменяться, и тогда окончание вегетации будет наблюдаться при существенно иной температуре.

Для большинства культурных растений были определены среднесуточные температуры воздуха начала и конца вегетации, которыми явились температуры определенных пределов, или *биологический нуль*, а именно 0, +5, +10, +15, +20 °С. Для этих температур вычисляются даты перехода их в сторону повышения весной и в сторону понижения осенью, которые и являются датами начала и конца вегетации.

Для определения дат перехода температуры воздуха через пределы 0, +5, +10, +15, +20 °С необходимо в массиве среднесуточных температур весной и осенью найти даты перехода через эти пределы. Если после этих дат будут наблюдаться температуры ниже температур 0, +5, +10, +15, +20 °С, то нужно найти отклонения суточных температур от 0, +5, +10, +15, +20 °С; отклонение положительное, если суточная температура выше этих пределов, отрицательное – если ниже. Таким образом, выделяются периоды положительных и отрицательных отклонений, которые суммируются в отдельности. За дату *устойчивого* перехода температуры воздуха через 0, +5, +10, +15, +20 °С *весной* принимается первый день периода, сумма положительных отклонений которого превышает сумму отрицательных отклонений любого из последующих периодов с отрицательными отклонениями. За дату *устойчивого* перехода температуры воздуха через 0, +5, +10, +15, +20 °С *осенью* принимается первый день периода, сумма отрицательных отклонений которого превышает сумму положительных отклонений любого из последующих периодов с такими отклонениями.

*Продолжительность* вегетационного периода с температурами выше определенного предела различных сельскохозяй-

ственных культур определяется подсчетом числа дней от даты перехода через температуры 0, +5, +10, +15, +20 °С весной в сторону повышения до даты перехода через эти пределы в сторону понижения осенью.

2. Определение интегральных показателей термических ресурсов территории. Под *термическими ресурсами* территории понимают то количество тепла, которым располагает данная территория в силу своего географического положения. *Потребность в тепле* есть то количество тепла, которое необходимо данному фитоценозу для оптимального роста и развития в период вегетации. Основными интегральными показателями термических ресурсов территории и потребности растений в тепле являются *суммы активных и эффективных температур*.

*Активной температурой* называют среднюю суточную температуру воздуха или почвы после ее перехода через биологический минимум (0, +5, +10, +15, +20 °С), установленный для определенного периода развития растения. Для получения *сумм активных температур* за период вегетации или любой межфазный период необходимо сложить все средние суточные температуры выше биологического минимума этого периода. *Эффективной температурой* называют среднюю суточную температуру воздуха или почвы, уменьшенную на величину биологического минимума (0, +5, +10, +15, +20 °С), установленного для определенного периода развития растений. При определении *сумм эффективных температур* из каждой средней суточной температуры расчетного периода вычитают величину биологического нуля. Пример расчета сумм активных и эффективных температур воздуха для биологических минимумов 5 и 10 °С показан в таблице 2.4.

Термические ресурсы территории оценивают *суммой активных температур воздуха выше +10 °С*, так как при этой температуре и выше нее активно вегетирует большинство культурных растений. Термические ресурсы территории изменяются в зависимости от широты места, высоты над уровнем моря и ряда других факторов. С продвижением на север и увеличением высоты места термические ресурсы уменьшаются.

Таблица 2.4 – Пример расчета сумм активных и эффективных температур воздуха для биологических минимумов 5 и 10 °С

Характеристика	Дата										Сумма
	10.05	11.05	12.05	13.05	14.05	15.05	16.05	17.05	18.05	18.05	
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 выше 10 °С	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	

Потребность сельскохозяйственных культур в тепле выражают суммами активных или эффективных температур воздуха за период, ограниченный *лимитными температурами* (биологическим нулем, или *биологическим минимумом температуры*, т. е. нижним пределом температуры для активной вегетации сельскохозяйственных культур) начала и конца вегетации. Так, для многих зерновых и плодово-ягодных культур лимитной температурой является среднесуточная температура воздуха +5 °С, а для теплолюбивых культур (табак, хлопчатник, бахчевые культуры) +15, +20 °С.

Сравнивая термические ресурсы территории и потребности растений в тепле, вычисляют такую важную агроклиматическую характеристику, как *обеспеченность растений теплом*. Этот расчет производят с помощью интегральных кривых обеспеченности. Считают, что обеспеченность культуры теплом порядка 80–90 % является хорошей, так как производственный риск в данном случае невелик (10–20 %). При обеспеченности культуры теплом 50–70 % необходимо применять значительные меры по улучшению термических условий. Если обеспечение теплом культуры менее 50 %, то ее возделывание не имеет смысла.

Характеристика термического режима местности не исчерпывается суммами температур за весь период вегетации и обеспеченностью сумм температур в отдельные годы. Также необходимо знать, как быстро происходит накопление тепла весной и летом, чему равны суммы температур за отдельные отрезки вегетационного периода. Существенной характеристикой термического режима является средняя температура самого теплого месяца, которая определяет сельскохозяйственные возможности местности, набор высаживаемых культур, качество выращиваемой продукции.

Для характеристики *термических ресурсов почвы* применяют суммы температур выше 0, +5, +10, +15 °С на глубинах 5, 10, 20, 25 см, а также суммы отрицательных температур ниже 0, –5, –10, –15 °С. Иногда используется *коэффициент прогреваемости почв*, который представляет собой отношение сумм температур почвы выше +10 °С к суммам температур воздуха выше +10 °С.

3. Определение термических показателей фитоценозов. Температура воздуха лишь приблизительно характеризует действительные термические условия, создающиеся на поверхности растений и внутри стеблестоя. По данным М.И. Будыко [10], температура растений даже в условиях климата избыточного увлажнения может отличаться от температуры воздуха на высоте 2 м на величину, сравнимую с географической изменчивостью температуры на расстоянии нескольких сотен километров. Причина этого существенного различия заключается в непосредственном нагреве солнечными лучами самих растений. Поэтому для более точной оценки термических ресурсов следует применять *термические показатели самих фитоценозов*.

При наличии сомкнутого растительного покрова листья растений обычно составляют основную часть деятельной поверхности, посредством которой осуществляется теплообмен с атмосферой. При таком допущении можно считать, что средняя температура листьев растений примерно равна температуре поверхности земли и ее можно рассчитывать по тепловому балансу подстилающей поверхности.

### **2.3.3. Агрометеорологические показатели световых ресурсов**

При оценке действия солнечной энергии на растения учитывается продолжительность освещения, интенсивность и спектральный состав солнечного света. В качестве агрометеорологических показателей световых ресурсов используют приведенные ниже характеристики.

1. *Длина дня*. Выявленная реакция различных групп растений на длину дня определяет продолжительность их фотосинтетической деятельности. Поэтому длина дня широко используется как показатель продолжительности освещения и фотосинтетической деятельности. Для растений длинного дня нормальная продолжительность освещения составляет 15–18 часов, а для растений короткого дня – 12–14 часов.

2. *Комплексный гелиотермический показатель Жеслина* характеризует продолжительность дня вместе с термическими ре-

сурсами территории. Он представляет собой произведение суммы температур на длину дня.

3. *Комплексный фототермический индекс (FT)*, предложенный Ф.Ф. Давитая, учитывает одновременно световые и термические ресурсы. Его можно рассчитать по формуле:

$$FT = \sum_{D_n}^{D_k} [c(tcp + \Delta t - t)]L,$$

где  $D_n$  – дата начала фазы,  $D_k$  – дата конца фазы,  $c$  – коэффициент, учитывающий влияние дневного максимума температуры и тормозящих температур,  $t_{cp}$  – средняя суточная температура,  $\Delta t$  – разность температур растений и воздуха,  $t$  – биологический нуль,  $L$  – множитель, учитывающий влияние длины дня.

4. *Фотосинтетическая активная радиация (ФАР)*. Интенсивность солнечной радиации можно оценить с помощью ФАР, которая складывается из притоков прямой и рассеянной солнечной радиации:

$$\sum Q = 0,43 \sum S + 0,57 \sum D,$$

где  $S$  – прямая солнечная радиация на горизонтальную поверхность,  $D$  – рассеянная солнечная радиация.

Необходимо отметить, что интенсивность солнечной радиации в естественных условиях на верхней границе фитоценозов почти всегда достаточна для оптимальной жизнедеятельности растений в любых широтах. Но световой режим внутри травостоя может резко меняться, вплоть до светового голодания при загущении посевов. К сожалению, показатели лучистой энергии применительно к слою, занятому травостоем, пока разработаны слабо.

5. *Продолжительность солнечного сияния*. В качестве дополнительного показателя световых ресурсов используют продолжительность солнечного сияния за вегетационный период или его часть. Этот показатель важен для оценки условий, определяющих качество продукции многих культур. Его также можно использовать для характеристики осенних условий, формирующих зимостойкость растений.

Спектральный состав света оказывает большое влияние на

прохождение световой стадии у всех групп растений, причем степень воздействия возрастает в условиях неблагоприятного соотношения для данного растения длины дня и ночи. При оптимальных для данного растения длинах дня и ночи значение спектрального состава света в развитии растения становится минимальным. Поэтому ресурсы света применительно к спектральному составу не оцениваются.

#### **2.3.4. Агрометеорологические показатели влагообеспеченности территории**

Существенными функциями воды в жизни растений являются ее участие в процессе фотосинтеза, обеспечение терморегуляции растительного организма, перенос элементов питания. Решение вопроса влагообеспеченности растений – задача очень трудная, так как в процессе питания растений водой, помимо физиологических и физических аспектов, необходимо учитывать особенности такой сложной системы, как почва.

Под *влагообеспеченностью* сельскохозяйственных культур понимается степень удовлетворения потребности растений во влаге. Сложность проблемы влагообеспеченности растений привела к появлению различных методов ее решения. Ниже рассмотрим некоторые из них, которые используются наиболее часто.

*Оценка влагообеспеченности по осадкам.* В качестве простейшего показателя естественного увлажнения территории используется суммарное количество осадков за период активной вегетации. Среднее многолетнее количество осадков в изучаемом районе дает представление о 50 % обеспеченности этой территории осадками выше или ниже данной величины. Однако оценка условий влагообеспеченности территории по количеству выпадающих осадков не удовлетворяет агрометеорологов, так как осадки являются лишь одной из характеристик приходной части водного баланса. Этим объясняется тот факт, что в разных регионах страны может выпадать одинаковое количество осадков, но влагообеспеченность растений будет различной. Поэтому для правильной оценки влагообеспеченности нужно знать потребность растений во влаге и фактическое водопотребление.

*Оценка влагообеспеченности по методам, учитывающим основные метеорологические характеристики.* Величина водопотребления растений зависит от многих факторов, основными из которых являются погодные или климатические условия, биологические особенности культуры и уровень применяемой агротехники. Считая уровень агротехники величиной относительно постоянной, можно полагать, что водопотребление конкретной культуры в основном определяется погодными условиями и ее биологическими особенностями. Основными метеорологическими факторами, характеризующими потребность растений во влаге, являются солнечная радиация, температура воздуха, дефицит влажности воздуха и другие показатели.

Ряд исследователей рассчитывают потребность растений во влаге по средней суточной температуре воздуха или по сумме средних суточных температур за определенный период времени. Так, И.А. Шаров предлагает рассчитывать оптимальное водопотребление культуры  $E$  по формуле:

$$E = e\sum t + 4b,$$

где  $\sum t$  – сумма температур воздуха за период вегетации,  $e$  – коэффициент водопотребления культуры, рассчитанный на  $1^\circ\text{C}$ ,  $b$  – число дней вегетационного периода.

Одним из наиболее распространенных методов является биологический метод А.М. Алпатьева. Основным компонентом, определяющим величину оптимального водопотребления, был принят дефицит влажности воздуха, он, как функция от температуры и влажности воздуха, является комплексным показателем условий суммарного испарения. Вторым компонентом был выбран биологический коэффициент испарения, отражающий биологические особенности развития растения. Расчетное уравнение имеет вид:

$$E = K\sum d,$$

где  $E$  – оптимальное водопотребление данного фитоценоза (мм),  $K$  – биологический коэффициент данной культуры (безразмерная величина),  $\sum d$  – сумма дефицитов влажности воздуха (мм или мб).

Однако эти методы имеют существенный недостаток – в них не учитывается подпитывание корнеобитаемого слоя за

счет грунтовых вод, поэтому методы дают хорошие результаты лишь при их глубоком залегании (3–5 м).

*Оценка влагообеспеченности по условным показателям увлажнения.* Отдельными авторами предложены условные показатели увлажнения, которые часто называют индексами или коэффициентами. Они делятся на прямые и косвенные показатели увлажнения. Прямым показателем влагообеспеченности растений является величина запасов продуктивной влаги в пахотном (0–20 см) и метровом (0–100 см) слое почвы. Под *продуктивной* понимают влагу, используемую растениями для создания урожая, она выражается в миллиметрах. Косвенными показателями служат различные коэффициенты, представляющие отношение ресурсов влаги (осадков, влажности почвы и др.) к возможному ее расходу (испаряемости или фактору, ее характеризующему).

В настоящее время в агрометеорологии используется ряд показателей увлажнения: гидротермический коэффициент Селянинова, показатели Колоскова, Шашко, Иванова, Сляднева, Сенникова, Сапожниковой.

• Гидротермический коэффициент (ГТК), предложенный Г.Т. Селяниновым, – это показатель влагообеспеченности вегетационного периода на какой-либо территории, учитывающий испарение с поверхности почвы. Он равен отношению количества осадков, выраженному в миллиметрах за период с температурами воздуха выше 10 °С, к сумме активных (выше 10 °С) температур за тот же период, которая предполагается пропорциональной расходу влаги на испарение:

$$ГТК = R / \sum t_{10} : 10,$$

где  $R$  – сумма осадков в миллиметрах за период с температурами выше 10 °С,  $\sum t_{10}$  – сумма активных температур в градусах за то же время.

По Г.Т. Селянинову, северная граница степной полосы на всем пространстве ЕТС хорошо совпадает с изолинией ГТК = 1, а северная граница полупустыни – с изолинией ГТК = 0,5. Для Москвы  $K = 1,4$ , для Одессы – 0,7, для Ташкента – 0,1.

Если ГТК в пределах 1–2, то условия естественного увлажне-

ния считаются удовлетворительными, если меньше 1 – недостаточными. Классификация зон увлажнения по ГТК представлена в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Классификация зон увлажнения по гидротермическому коэффициенту Г.Т. Селянинова

Значение ГТК	Характеристика зоны
1,6–1,3 (и более)	Влажная или избыточного увлажнения
1,3–1,0	Слабозасушливая или достаточного увлажнения
1,0–0,7	Засушливая или недостаточного увлажнения
0,7–0,4	Очень засушливая
< 0,4	Сухая

Колебания значений ГТК для зон неустойчивого увлажнения значительны и связаны с неравномерностью выпадения осадков в течение вегетационного периода.

- Показатель увлажнения, предложенный Н.Н. Ивановым:

$$k = P / f,$$

где  $P$  – осадки за год (мм),  $f$  – испаряемость за год (мм), определенная по испарению с поверхности водоемов.

- Показатель атмосферного увлажнения Д.И. Шашко, рассчитывается по формуле:

$$M_d = R / \Sigma d,$$

где  $R$  – атмосферные осадки, мм;  $\Sigma d$  – сумма среднего суточного дефицита упругости водяного пара, гПа, являющаяся показателем испаряемости.

По значениям показателя увлажнения  $M_d$  можно определить зону влагообеспеченности исследуемой территории. Градации зонирования по  $M_d$  представлены таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Показатель атмосферного увлажнения Д.И. Шашко ( $M_d$ )

Зона	Очень сухая	Сухая	Полусухая	Очень засушливая	Засушливая	Полузасушливая	Полувлажная	Влажная	Избыточно влажная
$M_d$	Менее 0,05	0,05–0,10	0,10–0,15	0,15–0,20	0,20–0,25	0,25–0,35	0,35–0,45	0,45–0,60	Более 0,60

• Так как испаряемость сильно зависит от влажности атмосферного воздуха, П.И. Колосков предложил показатель, характеризующий увлажнение почвы:

$$W = K (P / (E - e)),$$

где  $P$  – количество осадков (мм),  $(E - e)$  – дефицит влажности воздуха,  $K$  – коэффициент пропорциональности, определяемый по влажности почвы.

• Показатель увлажнения А.П. Сляднева:

$$K_y = (W + P) / E_o,$$

где  $W$  – запасы влаги в метровом слое почвы весной, мм;  $P$  – количество осадков вегетационного периода, мм;  $E_o$  – испаряемость, мм.

Несмотря на большое количество расчетных показателей увлажнения, наиболее широкое использование получили показатели Г.Т. Селянинова и Д.И. Шашко, по которым проводилось районирование территорий по увлажнению и выделение зон увлажненности и засушливости. Но все-таки указанные показатели имеют определенные недостатки.

Основным недостатком ГТК Селянинова является неучет весенних запасов влаги в почве, которые при неоднородном годовом ходе осадков могут быть существенно различными при одном и том же значении ГТК за вегетацию. ГТК является хорошим

показателем увлажнения только в тех районах, где годовой ход осадков однородный. Другим существенным недостатком ГТК является то, что в качестве показателя испаряемости используется лишь температура воздуха.

Показатель увлажнения Д.И. Шашко также нуждается в поправках на годовой ход осадков, так как зимние и летние осадки неравноценны для растений. Кроме того, при учете только годового количества осадков показатель Шашко оказывается слишком стабильным во времени и не отражает изменения влагообеспеченности периода вегетации в отдельные годы.

Учитывая указанные недостатки, С.А. Сапожникова представила новый коэффициент увлажнения КУ, положив в его основу ГТК Селянинова:

$$KY = (B + P_g) / \gamma \Sigma t_{10}$$

где  $B$  – влагозапасы почвы, рассчитанные по зимне-весенним осадкам, мм;  $P_g$  – осадки за период с температурой более 10 °С, мм;  $\gamma$  – коэффициент, переводящий  $\Sigma t_{10}$  в испаряемость по соотношению  $\Sigma t_{10}$  и  $\Sigma(E - e)$  с учетом изменения этого соотношения в отдельных районах.

*Оценка влагообеспеченности по влагозапасам корнеобитаемого слоя почвы.* Нарастание растительной массы и формирование урожая сельскохозяйственных культур осуществляется лишь за счет влаги, усвояемой растениями. Эта влага, названная *продуктивной*, вычисляется как разность между общим количеством воды в почве и влажностью устойчивого завядания. Количество продуктивной влаги выражается в миллиметрах толщины водного слоя.

Продуктивная влага почвы как результат взаимодействия погодных, почвенных, растительных и агротехнических условий является важным комплексным показателем увлажнения сельскохозяйственных полей. Этот интегральный показатель включает осадки, сток, влагообмен почвы по вертикали, испарение и поэтому может характеризовать действительные ресурсы влаги, находящиеся в использовании растений. Основным недостатком этого показателя является трудность точного определения влагозапасов почвы.

Распространенным методом определения влажности почвы является термостатно-весовой метод, основанный на определении количества воды в почве посредством ее высушивания. Эта методика – одна из наиболее применяемых на сети агрометеорологических станций, несмотря на ее трудоемкость.

Продуктивную влагу метрового или пахотного слоя почвы как комплексный агроклиматический показатель увлажнения используют для характеристики:

а) условий обеспеченности растений влагой в период онтогенеза;

б) исходных запасов влаги весной;

в) исходных запасов влаги осенью;

г) критического к влаге периода жизни растений.

Сопоставление фактических запасов продуктивной влаги в корнеобитаемом слое почвы с потребностью в ней растений позволяет дать количественную оценку водных ресурсов территории. Весенние запасы влаги в почве (слой 0–100 см) принято оценивать по их соответствию величине *наименьшей полевой влагоемкости* (НПВ). Для большинства степных и лесостепных районов НПВ суглинистых почв при глубоком залегании грунтовых вод соответствует примерно 170–190 мм продуктивной влаги метрового слоя почвы.

Исходя из этой величины и потребности растений во влаге, весенние запасы влаги метрового слоя почвы оценивают следующим образом:

- хорошие (180–160 мм);

- удовлетворительные (160–130 мм);

- недостаточные (130–80 мм);

- плохие и очень плохие (80–50 мм и менее).

Повторяемость указанных градаций за длительный период характеризует климатическую обеспеченность растений влагой весной в исследуемом районе.

### 2.3.5. Агрометеорологические показатели условий перезимовки растений

Успешность возделывания зимующих сельскохозяйственных культур определяется не только агрометеорологическими условиями вегетационного периода, но и условиями, складывающимися в период перезимовки. В зимний период может возникать целый ряд опасных явлений, таких как:

- а) сильный мороз, приводящий к вымерзанию посевов озимых культур и древесных растений;
- б) длительные и глубокие оттепели, приводящие к уменьшению закалки зимующих культур;
- в) ледяная корка, приводящая к повреждению или гибели озимых культур;
- г) зимние засухи, приводящие к обезвоживанию зимующих растений и их гибели;
- д) застой воды на полях с озимыми, обуславливающий их гибель от вымокания;
- е) мощный снежный покров, способствующий выпреванию озимых и др.

Для оценки перезимовки сельскохозяйственных культур используют ряд показателей, одни из них представляют собой температурные характеристики зимнего периода. Это абсолютный минимум и средний из абсолютных минимумов температуры воздуха (на высоте 2 м) и почвы (на глубине 3 см для узла кущения озимых культур и на глубине 20 см для корневой системы плодово-ягодных культур), сумма отрицательных температур воздуха и почвы ниже 0, -5, -10, -15 °С, средняя температура воздуха самого холодного месяца.

Другие показатели используются для комплексной характеристики зимнего периода. Так, А.М. Шульгин предложил комплексный показатель условий зимнего периода, названный им показателем суровости зимы. Он рассчитывается по формуле

$$K = T_{\text{м}} / C,$$

где  $T_{\text{м}}$  – средний из абсолютных минимумов температуры воздуха (за месяц или за зимние месяцы);  $C$  – средняя высота снежного покрова.

Г.Д. Рихтер предложил комплексный показатель – снежно-температурный коэффициент, который можно рассчитать по формуле

$$K = 10T / H,$$

где  $T$  – средняя температура воздуха,  $H$  – средняя высота снежного покрова (см) за период со снежным покровом выше 1 см. Снежно-температурный коэффициент показывает число градусов мороза, рассчитанное на каждые 10 см толщины снежного покрова. Коэффициент меняется с северо-запада на юго-восток от 1,6 до 17,8.

При агроклиматическом районировании территорий для характеристики суровости зим используют суммы отрицательных температур, морозоопасности – средние из абсолютных минимумов температуры воздуха, а снежности – высоты снежного покрова (таблица 2.7).

Таблица 2.7 – Показатели суровости зимы

Характеристика зимы	Показатель	
	от	до
<i>Суровость зимы</i>	Сумма отрицательных температур, °С	
Жесткая	Более –6000	
Очень суровая	–4000	–6000
Суровая	–2000	–4000
Очень холодная	–1500	–2000
Холодная	–1000	–1500
Умеренно холодная	–500	–1000
Мягкая	–200	–500
Очень мягкая	Менее –200	
Теплая	0	
<i>Морозоопасность зимы</i>	Средний из абсолютных минимумов температуры, °С	
Исключительно сильные морозы	Ниже –40	

Очень сильные морозы	–35	–40
Сильные морозы	–30	–35
Значительные морозы	–25	–30
Морозы средней силы	–20	–25
Умеренные морозы	–15	–20
Слабые морозы	–10	–15
Очень слабые морозы	Выше –10	
<i>Снежность зимы</i>	Высота снежного покрова, см	
Бесснежная	Менее 10	
Очень малоснежная	10	15
Малоснежная	16	25
Умеренно снежная	26	45
Достаточно снежная	46	65
Многоснежная	Более 65	

Представленные показатели перезимовки сельскохозяйственных культур широко используются в агрометеорологической практике для характеристики неблагоприятных условий зимнего периода.

### **2.3.6. Оценка продуктивности климата**

Сельскохозяйственная оценка продуктивности климата (бонитет) необходима при решении важных задач продовольственной безопасности государства, а также производственных задач: обосновании капиталовложений в мелиорацию, размещении новых сельскохозяйственных культур в различных климатических зонах и т. п. Под *сельскохозяйственным бонитетом климата* понимают сравнительную оценку его продуктивности, выраженную в абсолютных величинах (урожайность, ц/га) или относительных величинах (баллы). Для сравнительной оценки климатических ресурсов территории были предложены два метода: С.А. Сапожниковой и Д.И. Шашко. В основе этих методов лежат количественные зависимости, связывающие урожаи сельскохозяйственных культур с ресурсами тепла и влаги.

С.А. Сапожникова в качестве показателей ресурсов тепла и влаги использовала суммы активных температур выше 10 °С и гидротермический коэффициент Селянинова. Так как продолжительность вегетационного периода, определяемая суммой активных температур, оказывает значительное влияние на урожай, автор предложила рассчитывать урожай на условную единицу суммы тепла (т. е. сумму активных температур за вегетацию, уменьшенную в 100 раз). Тогда показатель продуктивности климата конкретного региона П можно рассчитать по следующей формуле:

$$P = Y / (\Sigma t_{10} / 100),$$

где  $Y$  – урожайность культуры, ц/га,  $\Sigma t_{10}$  – сумма активных температур.

Обратную задачу, т. е. расчет урожайности, решают по уравнению:

$$Y = P * (\Sigma t_{10} / 100).$$

Сельскохозяйственный бонитет климата, предложенный Д.И. Шашко, оценивается в баллах нормальной фактической и потенциальной продуктивности. Под *нормальной фактической продуктивностью* понимается урожайность при среднем для страны уровне агротехники. *Потенциальная урожайность* определяется рассчитанной величиной урожая при условии обычного увлажнения и полного использования растениями термических ресурсов данного региона. Разность между фактической и потенциальной продуктивностью указывает на неполное использование климатических ресурсов территории. Оценивать бонитет можно также путем сравнения фактической урожайности и потенциальной продуктивности климата.

Кроме основных агрометеорологических показателей применяются и *дополнительные*. К ним относятся даты наступления агрометеорологических явлений, продолжительность периодов с разной температурой и влажностью воздуха и почвы, продолжительность беззаморозкового периода, время оттаивания и «спелости» почвы, различные характеристики осадков и др. К числу *региональных* показателей относят применяемый в Средней Азии процент «вегетационных зим», т. е. повторяемость числа дней с температурой воздуха выше 0 °С зимой.

Показателями степени континентальности климата могут служить продолжительность весны и осени конкретного региона. Под ними понимают интервал времени в днях, ограниченный соответственно средними суточными температурами воздуха 5–15 и 15–5 °С. Чем континентальнее климат, тем более короткими оказываются весна и осень, что имеет большое значение для проведения многих полевых работ.

## ТЕМА 3. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ СРЕДЫ И ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РАСТЕНИЙ

### 3.1. Солнечная радиация как фактор жизнедеятельности растений

Свет, тепло, влага и почва – основные факторы жизнедеятельности зеленых растений. Их воздействие на растение является предметом исследований агрометеорологии. При наличии достаточного количества питательных веществ в почве и углекислоты в воздухе, под непосредственным воздействием именно этих факторов протекают жизненные процессы в растениях. При отсутствии какого-либо из них зеленое растение не может расти, развиваться, плодоносить; никакая замена одного из них любым другим не приводит к положительным результатам. Тем важнее рассмотреть с точки зрения агрометеорологии роль и значение в жизни растений каждого из них и охарактеризовать методы их агрометеорологической оценки.

#### 3.1.1. Фотосинтез растений

Роль солнечной энергии в жизнедеятельности зеленых растений заключается, прежде всего, в том, что только под ее воздействием протекает основной процесс питания растительного организма – фотосинтез. Жизнь растения характеризуется увеличением его массы и ростом органического вещества. Это вещество не получается растением из окружающей среды в готовом виде. Оно вырабатывается самим растением из неорганических веществ, которые выбираются им из окружающей среды и перерабатываются в процессе питания.

Для физиологических процессов, определяющих жизнедеятельность растений, наибольшее значение имеет коротковолновая радиация с длиной волны менее 4 мкм. По биологическому воздействию на растения диапазон коротковолновой радиации подразделяют на: *ультрафиолетовую, фотосинтетически активную, ближнюю инфракрасную и дальнюю инфракрасную* (таблица 3.1).

*Ультрафиолетовая радиация*, достигающая земной поверхности, уменьшается по мере снижения Солнца над горизонтом. В высокогорных районах, на высотах более 4 000 м над уровнем моря количество ультрафиолетовой радиации в 2–3 раза превышает таковую на равнине. Интенсивные потоки ультрафиолетовой радиации оказывают сильное биологическое воздействие на живые организмы, в том числе на человека и животных, вызывая ожоги кожи, свертывание белка и т. п. Эта радиация воздействует преимущественно на ростовые процессы растений, замедляя их. Например, растения, развивающиеся в парниках и теплицах, быстрее тянутся в высоту по сравнению с таковыми, произрастающими в открытом поле. Это происходит потому, что прозрачные покрытия значительно снижают проникновение ультрафиолета внутрь теплиц.

*Ближняя инфракрасная радиация*, активно поглощаемая водой листьев и стеблей растений, оказывает существенное тепловое воздействие на рост и развитие растений. *Дальняя инфракрасная радиация* оказывает только тепловое влияние на растения, ее воздействие на рост и развитие растений незначительно. Так, в высокогорных районах энергия инфракрасных лучей заметно возрастает, что в значительной мере компенсирует растениям недостаточное количество тепла, убывающее с увеличением абсолютной высоты местности над уровнем моря. С увеличением влажности воздуха интенсивность инфракрасных лучей уменьшается благодаря сильному поглощению их водяными парами воздуха.

Таблица 3.1 – Биологическое значение различных участков спектра [8]

Вид радиации	Область спектра, мкм	Процент солнечной радиации	Эффект действия радиации на растение		
			Тепловой	Фотосинтез	Рост и развитие
Ультрафиолетовая	0,29–0,38	0–4	Несущественный	Несущественный	Существенный
ФАР	0,38–0,71	21–46	Существенный	Существенный	Существенный

Ближняя инфракрасная	0,71–4,00	50–79	Существенный	Несущественный	Существенный
Дальняя инфракрасная	> 4,00	–	Существенный	Несущественный	Существенный

Процесс трансформации поглощенной растением солнечной энергии в химическую энергию органических (и неорганических) соединений называется *фотосинтезом* (от греч. photos – свет и synthesis – составление). Это сложный цикл биохимических и биофизических процессов, в ходе которых растения, поглощая солнечную энергию в форме *фотосинтетически активной радиации (ФАР)*, создают с помощью зеленого пигмента – хлорофилла – из углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), получаемого листьями из атмосферы и воды ( $\text{H}_2\text{O}$ ), поступающей через корневую систему, высокоэнергетические углеводы (крахмал, сахара, глюкозу, клетчатку и др.), освобождая при этом кислород ( $\text{O}_2$ ). Основная роль в этом процессе принадлежит использованию солнечной энергии для восстановления  $\text{CO}_2$  до уровня углеводов. Энергия света расходуется также на транспорт веществ через клеточные мембраны, а часть солнечной энергии запасается в высокоэнергетическом веществе – аденозинтрифосфате (АТФ). Вода также является основным сырьем для растения, она необходима для фотосинтеза, транспорта элементов питания, для регуляции и поддержания температуры растения.

Таким образом, *фотосинтез – это, по существу, процесс усвоения из атмосферы углекислого газа, восстановления окисленного углерода с выделением свободного кислорода в атмосферу* (как принято считать, кислород в атмосфере фотосинтетического происхождения). Фотосинтезом обеспечивается не только создание органического вещества, но и связывание и превращение в потенциальную химическую энергию огромного количества солнечной энергии. Фотосинтез осуществляют высшие и низшие (в том числе водоросли и некоторые бактерии) растения.

Однако определение количества солнечной энергии, используемого растением за период его вегетации на фотосинтез, показывает, что оно очень невелико по сравнению с тем, которое фактически поступает от Солнца на поверхность растения. Это обусловлено рядом причин. Так, известно, что далеко не весь солнечный спектр одинаково используется зелеными листьями при ассимиляции. Наиболее сильное поглощение происходит в *красных лучах* (длина волны от 650 до 730 нм) и в *сине-фиолетовой* части спектра (длина волны около 470 нм). Очень незначительно участие в процессе фотосинтеза лучей *зеленой* части спектра.

Большое значение имеет и то, что не на всем протяжении вегетационного периода и не всегда листовая поверхность – этот основной приемник солнечной энергии – имеет максимальную площадь, при которой поглощаемая энергия используется в процессе фотосинтеза наиболее полно. Для большинства сельскохозяйственных культур площадь листьев очень невелика в начальные периоды жизни растений (всходы, появление первых листьев), постепенно увеличивается по мере их роста и развития, достигает наибольших величин (обычно ко времени цветения), затем, как правило, несколько уменьшается. Таким образом, только часть периода вегетации проходит при максимальной листовой поверхности. Далеко не всегда одинакова и достаточна сомкнутость травостоя, что также сказывается на величине площади листовой поверхности.

Исследования А.А. Ничипоровича показали, что для получения высоких урожаев полевых сельскохозяйственных культур необходимо добиваться оптимального развития общей поверхности листьев. Такой оптимальной величиной листовой поверхности он считает ее площадь, превышающую (в период смыкания травостоя) в 3–4 раза площадь посева. «Посевами, обладающими оптимальной структурой и хорошим ходом ее развития и формирования, считаются такие, при которых площадь листьев по возможности быстро возрастает до размеров примерно в 40 тыс. м<sup>2</sup>/га, затем по возможности долго сохраняется в активном состоянии на этом уровне и, наконец, значительно уменьшается или

полностью отмирает, отдавая пластические вещества на формирование репродуктивных или запасующих органов». Превышение этой площади не может считаться благоприятным, так как приводит к излишнему взаимному затенению листьев.

Весь запас потенциальной энергии, заключенный в собранном урожае различных полевых растений с единицы площади посева, составляет обычно около 2–3 % того суммарного количества солнечной энергии, которое получается этой же площадью за период вегетации. В лучших случаях (в период активного роста) коэффициент использования на фотосинтез поглощенной энергии достигает 8–10 %. Но уже в настоящее время вполне возможно создавать посева, способные использовать падающую на них энергию солнечной радиации с суммарным коэффициентом в 5 % вместо нередко наблюдаемых 0,5–1,5 %.

Во всяком случае, очень большая доля солнечной энергии идет не на фотосинтез, а на процессы нагревания поверхности почвы и растений, транспирации и испарения и пр.

### **3.1.2. Влияние внешних факторов на фотосинтез**

Фотосинтез, как физиологический процесс, зависит от спектрального состава, интенсивности солнечной радиации, продолжительности освещенности, концентрации  $\text{CO}_2$ , температуры, минерального питания, влаги и других факторов. Рассмотрим основные из них.

***Влияние освещенности и интенсивности солнечной радиации на фотосинтез.*** Оценивая значение солнечной радиации в жизни растений, различают три аспекта этой проблемы: влияние спектрального состава (рассмотрено выше), интенсивности радиации и продолжительности освещенности.

***Влияние интенсивности солнечной радиации.*** Фотосинтез может обнаруживаться при ничтожной интенсивности света, но количество синтезируемого вещества оказывается настолько небольшим, что оно далеко не перекрывает расходов его в процессе дыхания. Установлено, что для  $\text{CO}_2$ -газообмена необходима интенсивность солнечной радиации, превышающая определенное значение, которое назвали компенсационной точкой. Для боль-

шинства растений это значение находится в пределах от 3–5 до 15–25 Вт/м<sup>2</sup>. Исследования показали, что компенсационная точка не остается постоянной в течение всего цикла вегетации растений.

В зависимости от сочетания факторов внешней среды интенсивность фотосинтеза заметно растет с возрастанием ФАР до 150–180 Вт/м<sup>2</sup>. При дальнейшем увеличении интенсивности ФАР фотосинтез замедляется. Эту зависимость отражают световые кривые фотосинтеза, имеющие экспоненциальный характер. На световой кривой фотосинтеза выделяют несколько кардинальных точек:

1. *Компенсационное освещение*, при котором интенсивность фотосинтеза (поглощения CO<sub>2</sub>) равна интенсивности дыхания (выделения CO<sub>2</sub>).

2. *Насыщающее освещение* (световое насыщение) наступает при максимальной (оптимальной) интенсивности освещения, при которой достигается максимальная для данного сочетания внешних условий (CO<sub>2</sub>, температура и т. п.) интенсивность фотосинтеза (газообмена).

3. *Уровень плато световой кривой* фотосинтеза характеризует максимальную для данных условий интенсивность фотосинтеза.

4. *Угол наклона световой кривой* фотосинтеза характеризует эффективность использования солнечной радиации на фотосинтез. Чем больше угол, тем активнее система использует энергию света. Так, у теневыносливых растений, приспособленных к слабоосвещенным условиям обитания, высокоразвитый пигментный аппарат позволяет активнее использовать низкие интенсивности света.

К снижающим фотосинтез факторам в таких жарких районах, как республики Средней Азии и Закавказья, относится перегрев листа солнечными лучами. В таких условиях находящиеся на солнечном свете листья не поглощают CO<sub>2</sub>. Вследствие такого влияния избытка инсоляции в жарких районах общая продуктивность листьев оказывается выше не в ясные дни, а в облачные. Этим же объясняется благотворность действия на состояние и продуктивность растения частичного искусственного затенения растений, наблюдавшаяся в республиках Средней Азии.

**Влияние продолжительности освещенности.** Увеличение освещенности приводит к росту интенсивности фотосинтеза, но этот рост наблюдается только до определенного предела освещенности, после которого усиления фотосинтеза уже не обнаруживается: достигается световое насыщение среды обитания.

Пределы освещенности, при которых достигается световое насыщение, неодинаковы для различных растений. По своим требованиям к условиям освещенности растения обычно разбиваются на:

а) *теневыносливые*, у которых световое насыщение достигается при освещенности в  $1/4$ – $1/6$  от интенсивности прямого солнечного света, что соответствует примерно  $1\ 800$ – $1\ 200$  кал/дм<sup>2</sup> в час;

б) *светолюбивые*, у которых световое насыщение наступает при освещенности, равной приблизительно  $1/2$  от интенсивности прямого солнечного света (по Ничипоровичу, около  $3\ 500$  кал/дм<sup>2</sup> в час). Все культурные полевые растения, в основном, относятся к группе светолюбивых растений.

Для светолюбивых растений превышение предела светового насыщения в условиях обильного водоснабжения и нормального минерального питания считается не только не вредным, но даже полезным с точки зрения если не величины урожая, то его качества (сахаристость, крахмалистость, белковость). Для теневыносливых растений, наоборот, превышение этого предела обычно неблагоприятно.

В процессе формирования урожая, наряду с интенсивностью солнечной радиации (инсоляции) и степенью затенения (освещенности) растения, немаловажное значение имеет соотношение между продолжительностью дня и ночи. Реакция растений на продолжительность дневного освещения в течение суток впервые обнаружена У. Гарнером и Г. Аллардом и в 1920 г. получила название *фотопериодизма*. Было установлено, что длина дня оказывает сильное влияние на процессы органобразования, на скорость наступления цветения и плодоношения растений. По этому признаку принято делить растения на три группы:

1) *растения короткого дня*, зацветающие тем скорее, чем короче день и длиннее ночь; к ним относятся хлопчатник, кукуруза, соя, фасоль, просо, сорго;

2) *растения длинного дня*, ускоряющие цветение и плодоношение при удлинении дня; в их состав входят пшеница, ячмень, клевер, овес и др.;

3) *растения нейтральные*, зацветающие и плодоносящие почти одинаково при любой длине дня.

Обнаруживается связь между характером фотопериодической реакции растений и их географическим происхождением: растения короткого дня – это преимущественно, растения тропических и субтропических широт; растения длинного дня – выходцы из умеренных и высоких широт. Следовательно, правомерно говорить, что фотопериодизм является приспособительной реакцией растений к условиям их существования.

Н.А. Максимов [33] отмечал, что «у растений долгого дня при сокращении до 12 часов преобладает вегетативный рост, и растение развивает значительно большую листовую поверхность и вообще оказывается более мощным; но зато у него подавлена функция воспроизведения. На растения короткого дня совершенно такое же действие оказывает удлинение дня до 16–18 часов».

***Влияние температуры на фотосинтез.*** На фотосинтез большое влияние оказывает температура той среды, где он происходит. В естественных условиях у многих растений фотосинтез, начинаясь примерно при температурах, близких к 0 °С, растет с повышением температуры до 25–30 °С. При дальнейшем повышении температуры фотосинтез замедляется, а при 45 °С почти прекращается. Такой перелом кривой фотосинтеза является следствием нескольких процессов, происходящих в растении, связанных в той или иной мере с температурой среды. Так, повышение температуры вызывает ускорение процесса разложения поглощаемой углекислоты. Но если этот процесс идет очень энергично, то для фотосинтеза уже перестает хватать углекислоты в воздухе. Повышение температуры в полуденные часы также влечет перегрев листовой поверхности и, как следствие, увеличение транспирации растений.

Чтобы уменьшить водопотерю, устьица на листьях закрываются, и процесс фотосинтеза приостанавливается. Нижний предел температур, при которых еще наблюдается фотосинтез, колеблется от  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (сосна, ель) до  $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . У большинства высших растений фотосинтез прекращается приблизительно при  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Фотосинтез и водоснабжение.** Большое влияние на фотосинтез оказывает содержание воды в листьях и условия водоснабжения растения. В частности, понижение содержания воды в листьях, что может явиться следствием усиленной траты воды на испарение при высокой температуре и засухе, приводит к закрыванию устьиц и через это к прекращению доступа углекислоты внутрь листьев. В результате фотосинтез ослабляется, несмотря на прочие более или менее благоприятные условия. При длительных условиях малого водоснабжения в дневные часы растения испытывают голодание, из-за остановки процесса фотосинтеза, что приводит к уменьшению продуктивности растений.

**Влияние минерального питания.** Для нормального протекания процесса фотосинтеза растение должно быть обеспечено всем комплексом макро- и микроэлементов. Главная функция растений – процесс фотосинтеза – неразрывно связана с процессом поглощения неорганических соединений и их метаболизмом в растении. Эти два основных процесса питания растений – воздушного и корневого – тесно связаны и взаимообусловлены.

Для успешного протекания процесса фотосинтеза необходимыми элементами являются калий, фосфор, магний, железо, марганец, ионы хлора, медь, цинк, азот и др.

**Фосфор** оказывает на процесс фотосинтеза сложное и многостороннее действие, которое проявляется в скорости первичных процессов при функционировании электротранспортной цепи, а также в активности и направленности работы биохимических углеродных циклов. Отмечено как положительное, так и отрицательное его действие на фотосинтез. В условиях недостатка фосфора нарушаются фотохимические и темновые реакции фотосинтеза, изменяется соотношение продуктов фотосинтеза: снижается доля крахмала, сахаров, белков, нарушается синтез бел-

ков ферментов, необходимых для ростовых процессов, возрастает доля органических кислот и аминокислот. Избыток фосфора также снижает скорость фотосинтеза, что связано с изменением проницаемости мембран и снижением процесса фотофосфорилирования.

Значительное влияние на интенсивность фотосинтеза оказывает *калий*, действие которого обнаруживается как при низкой, так и при высокой интенсивности света. Уменьшение содержания калия в тканях растения до 0,2–0,6 % (к сухому веществу) сопровождается резким снижением интенсивности фотосинтеза и глубоким расстройством всех процессов. При этом тормозится рост растений, нарушается фосфорный метаболизм, ингибируется синтез пигментов, белков, крахмала, в листьях накапливаются моносахара, аминокислоты. При калийном голодании в хлоропластах происходит разрушение их гранулярной структуры, увеличивается устьичное сопротивление на свету и в темноте (устьица плохо открываются на свету и хуже закрываются в темноте), нарушается водный режим, увеличивается транспирационный коэффициент фотосинтеза и внутриклеточное сопротивление.

Недостаток *азота* резко сказывается на формировании пигментных систем, структур хлоропласта и общей активности фотосинтеза. Положительное действие *цинка* связано с увеличением активности фермента карбоангидразы, который участвует в процессах активизации углекислоты. Дефицит *меди* вызывает снижение интенсивности фотосинтеза у ряда растений. Ионы *хлора* необходимы для реакций фотоокисления воды, полное их отсутствие нарушает процессы транспорта электронов. Необходимость *марганца* обусловлена включением его в водоокисляющий каталитический комплекс. Важными элементами, является *магний*, входящий в состав хлорофилла, и *железо*, дефицит которого вызывает резкие нарушения функционирования фотосинтетического аппарата.

Чрезвычайная сложность взаимодействия различных и многообразных взаимосвязанных и взаимообусловленных факторов внешней среды приводит к большим различиям в характере протекания фотосинтеза в разных географических условиях.

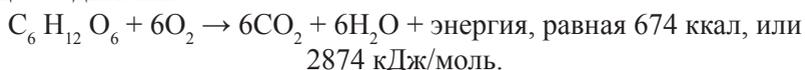
### 3.1.3. Фотосинтез и дыхание

*Дыхание* растений – это процесс распада органических соединений, который осуществляется в живой ткани растения при участии свободного кислорода (окисление) и сопровождается выделением углекислого газа и воды, а также высвобождением энергии, необходимой для жизнедеятельности растений. Дыхание – одна из важнейших функций, свойственная всем живым организмам. Образующиеся в процессе фотосинтеза углеводы (глюкоза, сахара, крахмал и другие соединения) используются клетками растения в качестве питательных веществ. Важнейшим этапом питания органическими веществами на клеточном уровне является процесс дыхания. *Клеточное дыхание* – это окислительный (с участием кислорода) распад органических, питательных веществ, сопровождающийся образованием химически активных метаболитов и освобождением энергии, которые используются клетками для процессов жизнедеятельности [45]. В растительном организме дыхательный процесс значительно проще, чем в животном. Благодаря большому развитию поверхности, тесно связанному с воздушным питанием растений, кислород воздуха находит себе непосредственный доступ к каждой клетке тела растения, в которой и происходят окислительные процессы.

Известно, что создаваемые зеленым растением ассимилянты являются в основном запасными веществами, использование которых другими формами организмов и синтез на этой основе необходимых для них соединений возможны лишь после сложной и длинной цепи химических и энергетических преобразований. То же относится и к содержащейся в продуктах фотосинтеза энергии. Суть таких преобразований заключается в следующем. Для того? чтобы потенциальная энергия органического вещества превратилась в движущую силу процессов жизнедеятельности, ей должна быть придана более активная, мобильная форма. В биологических системах это осуществляется путем биохимического получения «нагруженного энергией» электрона и последующего аккумуляирования энергии в форме специфических соединений (АТФ и др.). Напомним, что АТФ (аденозинтрифосфат) –

это органическое, высокоэнергетическое вещество, содержащее аденин, рибозу и три фосфатные группы; играет важнейшую роль в переносе энергии в биологических системах. Вся сложная цепь взаимосвязанных процессов мобилизации продуктов фотосинтеза посредством их активирования в химическом и энергетическом отношениях осуществляется организмами в процессе дыхания. Эти процессы происходят при участии очень сложной цепи катализаторов [29].

При дыхании происходит поглощение молекулярного кислорода, выделение углекислого газа и высвобождение энергии. Во второй половине XIX в. было установлено общее уравнение процесса дыхания:



В этом процессе (обратном фотосинтезу) расходуется также энергия, созданная в процессе фотосинтеза. Следовательно, при полном окислении одной гамма-молекулы глюкозы освобождается это количество энергии, используемое в дальнейших процессах жизнедеятельности растения. С точки зрения энергетики живого организма, дыхание – это освобождение высококачественной энергии уже имеющихся органических структур для создания новых структурных единиц организма. Сущность дыхательного процесса составляет «добывание» свободной энергии путем окислительного распада органического вещества. Для всех жизненных процессов растений (и животных, и человека) необходимо безостановочное получение свободной энергии, которая получается при дыхании путем окисления углеводов (в первую очередь, сахаров), а также других органических веществ. Суммарный энергетический эффект от физиологического окисления углеводов и других органических соединений в процессе дыхания будет равен тому тепловому эффекту, который получается от сжигания веществ в калориметрической «бомбе». В среднем считается, что при сжигании 1 г углеводов выделяется около 4 ккал, 1 г белка – 5,7 ккал, 1 г жира – 9,2 ккал. Большая калорийность белков и, особенно, жиров по сравнению с углеводами обуслов-

лена тем, что в их состав входит относительно больше водорода и меньше кислорода.

Дыхание растений происходит во всех органах (клетках, тканях) как на свету, так и в темноте. При этом окислительные процессы включают не только аэробные (протекающие при наличии кислорода), но и анаэробные процессы (протекающие в условиях отсутствия кислорода), например брожение. Физиологами отмечено, что повышение концентрации  $\text{CO}_2$  как конечного продукта дыхания приводит к снижению интенсивности дыхания. Если растение поместить в закрытый сосуд, то при дыхании объем воздуха не изменится, но качественно состав воздуха будет иной: кислород заменится углекислым газом. Однако не всегда объем поглощенного при дыхании кислорода будет равен объему выделенного  $\text{CO}_2$ . Для характеристики соотношения между выделенным  $\text{CO}_2$  и поглощенным кислородом используют показатель, называемый дыхательным коэффициентом (ДК). Он представляет собой отношение объема выделяемого углекислого газа ( $V_1$ ) к объему поглощаемого кислорода ( $V_2$ ):

$$DK = V_1 \text{CO}_2 / V_2 \text{O}_2.$$

Обычно опыты по исследованию дыхания проводят на плесневелых грибах: при питании их углеводами ДК равен 1; при питательном субстрате для грибов в виде жиров (например, стеариновая кислота) или белков ДК оказывается меньше единицы (0,7–0,8). Если же дыхательным субстратом служат сложные органические кислоты, то дыхательный коэффициент оказывается равным 4 [29].

Продукты ассимиляции, т. е. синтез органических веществ из неорганических (глюкоза, сахар, крахмал), получающиеся в зеленых органах растений под влиянием солнечной энергии, распространяются по растению и участвуют в построении тела растительного организма. В теле растения идет сложный процесс переработки этих продуктов ассимиляции в вещества живой протоплазмы. Это переработка всегда сопровождается распадом построенных в листе веществ и затем окислением их – соединением части пищевых веществ с кислородом. При окислении вы-

деляется накопленная растением в процессе фотосинтеза энергия; она и используется при дальнейших процессах, в результате которых строится протоплазма, растет и развивается организм.

Одним из объективных показателей дыхания растений является интенсивность дыхания. Интенсивность дыхания растений обычно измеряют при стандартной температуре воздуха 20 или 25 °С (в темноте) и выражают количеством выделенной углекислоты (CO<sub>2</sub>) на 1 г сухой массы в единицу времени, т. е. мг CO<sub>2</sub> / (г сух. м./ч). Поэтому интенсивность дыхания растений нельзя путать с термином «частота дыхания у животных». Интенсивность дыхательного процесса у различных растений, и даже у различных частей одного и того же растения, оказывается неодинаковой.

Дыхание связано с *процессами роста*: чем быстрее рост растения, тем интенсивнее дыхание. В быстрорастущих частях растения, где клетки имеют развитую протоплазму, дыхание проходит наиболее интенсивно. Однако по мере старения органов растения интенсивность дыхательного процесса заметно снижается (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Количество углекислоты (мг/г сух. м.ч), выделенное листьями подсолнечника различного возраста (по Н.А. Максимуму) [33]

Возраст листьев, сут.	22	36	64	99	136
Количество CO <sub>2</sub> , мг	3	0,81	0,34	0,25	0,08

Таким образом, к концу вегетации интенсивность дыхания сократилась почти в 40 раз. В опытах показано, что при температуре среды 37 °С прорастающие семена зерновых культур выделяют углекислоты в количестве около 1,2 % от своей массы, а плесневые грибы – от 6 до 10 % CO<sub>2</sub> на единицу своей массы в сутки.

Растение в различные фазы своего развития дышит с различной интенсивностью. Молодые органы и ткани растений, находя-

щиеся в состоянии активного роста, обладают наиболее высокой интенсивностью дыхания. Установлено также, что энергично дышат цветы, особенно нераспустившиеся. Их интенсивность дыхания количественно почти идентична интенсивности дыхания прорастающих семян.

Например, листья белокочанной капусты в возрасте 3 сут. выделяют 314 мг  $\text{CO}_2$  на 100 г сырой массы, в возрасте 31 сут. – 67 мг, в возрасте 70 сут. – 12 мг; листья картофеля в возрасте 30 сут. выделяют 735 мг, а в возрасте 77 сут. – 673 мг. Интенсивность дыхания молодых листьев некоторых культур, таких как земляника, тыква, кукуруза, щавель, в 2–10 раз превышает интенсивность дыхания старых листьев. Еще пример: если интенсивность дыхания семян пшеницы в фазу молочной спелости принять за 100 %, то в фазу восковой спелости она составляет 61 %, а в период перед уборкой (полная спелость) – всего 0,3 %. Если собрать значительное количество интенсивно дышащих частей растений (прорастающие семена, цветы и листья) в замкнутый сосуд со специальным стаканчиком с раствором едкого калия для поглощения  $\text{CO}_2$ , то нетрудно заметить, что в результате дыхания частей растений и выделения энергии внутри сосуда происходит повышение температуры до 30–50 °С. От высокой температуры части растений погибают. Часть освобождаемой энергии при дыхании грибов и бактерий может выделяться в виде свечения. Свечение наблюдается только у низших растений, грибов и бактерий. Именно их деятельностью объясняется свечение гнилушек в темное время суток.

Дыхание определяется по количеству выделенного растением  $\text{CO}_2$  либо по количеству поглощенного кислорода ( $\text{O}_2$ ). Физиологи выделяют два вида дыхания: «темновое» – происходящее в темноте во всех органах растений, и «световое» – происходящее только в фотосинтезирующих органах. При этом «темновое» дыхание подавляется светом, а «световое» – возбуждается. Установлено, что функция дыхания подразделяется на две составляющие: 1) дыхание, связанное с затратами энергии на поддержание структурной организации тканей растения (с1); 2) дыхание, связанное с затратами энергии на передвижение веществ по растению, фото-

синтезом и созданием новых структурных единиц растения (клеток, побегов, листьев и т. п.), называемое также дыханием роста (с2). Установлено также, что дыхание листьев тем больше, чем выше фотосинтетическая активность растений, которая характеризуется максимальным фотосинтезом при световом насыщении.

Углеводы, созданные в процессе фотосинтеза, накапливаются в фонде, откуда распределяются и используются для различных целей. Так, часть углеводов запасается в листьях, стеблях и корнях, часть расходуется для роста органов растений, некоторая доля углеводов затрачивается на поддержание структур созданных органов и тканей растения.

*Зависимость дыхания растений от факторов окружающей среды.* Как одно из проявлений жизнедеятельности протоплазмы, дыхание может осуществляться только в пределах тех условий внешней среды, в каких возможно существование протоплазмы. Интенсивность дыхания зависит от концентрации газов – кислорода и углекислоты, от температуры среды, освещенности и водного режима тканей растений. С прекращением активного роста органа, когда общее число клеток в тканях перестает увеличиваться, наблюдается постепенное снижение интенсивности дыхания, связанное с процессом старения протоплазмы. Интенсивность дыхания также меняется в различные фазы развития растений. Например, значительная активизация дыхания отмечается при цветении и в период плодоношения растений. Это связано с образованием новых тканей и органов, обладающих высоким уровнем обмена веществ [45].

*Дыхание и температура.* Интенсивность дыхания зависит от температуры среды обитания растений. Для каждого вида растений и его органов существуют определенные *минимальные, оптимальные* и *максимальные температуры*. Например, в отличие от фотосинтеза, дыхание у зимующих растений отмечено при очень низких температурах, а именно при  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  у многих хвойных пород. Оптимальной температурой для большинства видов умеренных широт Северного полушария является  $35\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , т. е. на  $5\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}$  выше, чем для фотосинтеза.

С повышением температуры растёт интенсивность дыхания, причем до 40 °С нарастание интенсивности идет довольно равномерно. После 40 °С иногда наблюдается резкий скачок дыхания вверх, а после 50 °С дыхание почти сразу прекращается, причем одновременно наблюдается отмирание растения. Этот максимум определяется разрушающим действием высоких температур на белковую основу живой клетки, ее протоплазму, со свойствами которой дыхание тесно связано. Названные температурные пределы относятся к уровню нагрева тканей растений, а не к температуре окружающей среды.

Если при отрицательных температурах зимующее растение будет лишено кислорода (как это происходит, например, при образовании зимой ледяной корки на посевах озимых), то может обнаружиться явление задыхания растений. При высоких температурах, когда фотосинтез ослабляется из-за перегрева растения, а дыхание усиливается, растение на свету не накапливает, а часто теряет органическое вещество.

Интенсивность дыхания, подобно другим ферментативным процессам, зависит в определенных пределах от температуры среды. Согласно правилу Вант-Гоффа, при повышении температуры на 10 °С скорость химических реакций удваивается. В интервале температур от 0 до 20 °С температурный коэффициент дыхания, обозначаемый  $Q_{10}$ , равен 2–3. При температурах выше 20 °С этот коэффициент понижается. Установлено, что величина температурного коэффициента зависит также от вида растения, фазы его развития и т. д.

*Дыхание и влага.* Доставка влаги к тканям растения обеспечивается корневой системой, всасывающей доступную влагу из почвенных горизонтов. Согласно З.Н. Бихеле, Х.А. Молдау, Ю.К. Россу [8], водный потенциал растения (листа) зависит от многих метеорологических и агрометеорологических факторов. Но из всех факторов влажность почвы в основном определяет величину водного потенциала растения. При хорошем увлажнении почвы, независимо от развитости корневой системы, оводненность растения изменяется незначительно. При слабо-

развитой корневой системе в высыхающей почве растение быстрее испытывает недостаток влаги, вследствие чего происходит закрытие устьиц листа, снижающее интенсивность дыхания и транспирации. При постепенном снижении оводненности тканей растения происходит снижение интенсивности дыхания, но более медленное, чем падение интенсивности фотосинтеза. Поэтому при засухах, когда фотосинтез прекращается, растение продолжает интенсивно дышать, что также приводит к быстрому расходованию органического вещества и сильному ослаблению организма и, следовательно, вредно влияет на растение.

Потребность во влаге при дыхании растений отчетливо прослеживается на примере дыхания семян. У семян, находящихся в воздушно-сухом состоянии (10–11 % влаги), дыхание ничтожно мало. При повышении влажности до 14–15 % дыхание возрастает в 4–5 раз, при оводненности семян до 30–35 % дыхание возрастает в тысячи раз. Большое значение имеет и температура среды, при которой хранятся семена: при 0–10 °С влияние влажности на интенсивность дыхания значительно меньше, чем при 18–25 °С.

*Дыхание и наличие кислорода.* Большую роль в процессе дыхания растения играет наличие кислорода. Отсутствие кислорода в среде неминуемо влечет к прекращению дыхания. В естественных условиях обычно наземные части растений не испытывают недостатка в кислороде, так как все время омываются воздухом, в котором кислород содержится в количестве, вполне достаточном для дыхания. Корни же растений пользуются кислородом, находящимся в почве. Здесь кислород жадно поглощается почвенными микроорганизмами, и дыхание корней обеспечено тем лучше, чем легче в почву может проникать воздух. Отсюда понятна роль хорошей аэрации почвы и положительное значение ее структуры, и те вредные последствия, которые может вызвать, например, сплошной залив почвы водой без последующего ее рыхления. Даже на рисовых полях, на которых в течение большей части вегетационного периода поддерживается слой воды, развитие риса немыслимо без наличия кислорода в сфере распространения корневой системы: рис, как известно, не выносит

застойной болотной воды, фактически лишенной растворенного в ней кислорода, а требует проточной, достаточно богатой им.

К числу факторов, от которых зависит дыхание, относится также содержание в атмосфере *углекислого газа*. Экспериментально показано, что при повышенном содержании  $\text{CO}_2$  в атмосфере процесс дыхания угнетается (дыхательный коэффициент понижается). Таким образом, растительный организм в каждый момент своего развития находится под влиянием не отдельных факторов среды, а их совокупного действия. При этом необходимо учитывать, что рассмотренные факторы оказывают определенное взаимное влияние друг на друга, при этом большое значение имеет и состояние растения, определяемое физиологическими процессами, происходящими в его тканях и органах.

## **3.2. Вода как фактор жизнедеятельности растений**

### **3.2.1. Значение воды для растений**

Как указывалось, исходными веществами для фотосинтеза, в процессе которого в растении образуются углеводы в качестве основного продукта, являются *углекислота*, поступающая из воздуха, и *вода*, пропитывающая ткани растений. Поэтому фотосинтез может совершаться только при обязательном присутствии воды в растении: процесс усвоения углерода и процесс усвоения водорода и кислорода (как составных частей воды) представляет собой единое и неразрывное целое.

*Основные функции воды в растительных организмах.* Водная среда пронизывает и объединяет все части организма, начиная от молекул в клетках и кончая тканями организма, в единое целое. Около трети всего количества воды, содержащейся в клетке, находится в вакуоли, а две трети – в протоплазме и клеточной оболочке.

В растении вода представляет собой непрерывную среду на всем протяжении от влаги, извлекаемой корнями из почвенных слоев, до поверхности раздела «жидкость – газ» в листьях, где она испаряется.

Вода обладает исключительно высоким поверхностным натяжением (уступает только ртути), которое способствует пере-

движению соков по тканям растения и процессу адсорбции (от лат. *sorbere* – поглощать, всасывать) – поглощение вещества из раствора или газа с образованием тонкого поверхностного слоя жидкости (для сравнения: сорбция – поглощение твердыми телами или жидкостями каких-либо веществ из окружающей среды).

Вода является важнейшим растворителем и средой для биохимических реакций. Она входит в состав молекул белков; удаление воды из белков (с помощью «высаливания» или спирта) приводит белки к свертыванию (коагуляции) и выпадению их в осадок.

Вода – это метаболит, т. е. вещество, образующееся в растении в результате обмена веществ. Так, при фотосинтезе вода является донором электронов, а при дыхании участвует в окислительных процессах; вода необходима для гидролиза (реакции ионного обмена между различными веществами и водой, играющей огромную роль в жизнедеятельности живых организмов) и многих синтетических процессов. Существенно также участие воды в мембранных процессах обмена веществ.

Вода – главный компонент в транспортной системе высших растений – в сосудах ксилемы и в ситовидных трубках флоэмы, при перемещении веществ по телу растения.

Вода является терморегулирующим фактором. Она защищает ткани от резких колебаний температуры благодаря высокой теплоемкости. Напомним, что теплоемкость – это свойство вещества поглощать тепло, выражается в количестве тепла, поглощаемого веществом, при его нагреве на 1 °С; теплоемкость воды составляет около 1 кал/г, или 4,2 Дж/г. Кроме этого, вода обладает большой удельной теплотой парообразования (количеством тепла, необходимым жидкости для перехода в пар при неизменной температуре на единицу массы; для воды при 0 °С удельная теплота парообразования составляет 597 кал/г). Большая теплоемкость воды защищает растительные ткани от быстрого и сильного повышения температуры, тогда как высокая теплота парообразования обеспечивает надежную стабилизацию температуры тела растения. Вода обладает также высокой теплопроводностью, т. е. способностью вещества проводить тепло. Мерой теплопроводности является

коэффициент теплопроводности, численно равный количеству тепла в калориях, которое протекает в 1 с через 1 см<sup>2</sup> поверхности при градиенте температуры 1 °С/см. Для жидкостей характерна молекулярная теплопроводность, когда тепло распространяется вследствие передачи молекулярного движения. Для газов более характерна турбулентная теплопроводность, обусловленная переносом тепла вместе с крупными объемами вещества при турбулентном движении.

Вода – это хороший амортизатор при механических воздействиях на организм растения (ветер и др.). Благодаря явлениям осмоса (давления) и тургора (напряжения) вода обеспечивает упругое состояние клеток и тканей растений. Все семенные растения суши в процессе эволюции выработали многообразные «механизмы», обеспечивающие растению экономное расходование воды, поступающей в организм. Водные растения, естественно, не испытывают ее недостатка.

Но значение воды в жизни растений не ограничивается только этим, вода обуславливает также следующие процессы:

а) наличие воды в протоплазме необходимо для нормального протекания в ней жизненных процессов;

б) обезвоживание протоплазмы приводит обычно к потере ею жизнеспособности и, в конечном счете, к гибели;

в) передвижение и распределение при помощи воды по растению минеральных веществ, которые в дальнейшем идут на построение тела растения, составляя его зольную часть.

Поступление в растение воды и растворенных в ней веществ, распределение ее по тканям происходит в соответствии с осмотическими свойствами растительных клеток. Этот процесс протекает следующим образом (по Н.А. Максимова) [4, 33].

Взрослая растительная клетка, представляет собой двустенный мешочек, заполненный клеточным соком, и рассматривается физиологами как коллоидная система. Наружной стенкой клетки является состоящая из целлюлозы клеточная оболочка, внутренней – полужидкая протоплазма. Этими двумя стенками-перепонками содержимое клетки отделяется от окружающей среды.

Свойства этих перепонки определяют собой как форму клетки, так и процессы проникновения веществ в клетку извне.

Твердая целлюлозная оболочка хорошо сохраняет свою форму, обладает ограниченной растяжимостью; водные растворы легко проходят через нее. Полуужидкая же плазмемная оболочка, представляющая собой так называемую полупроницаемую перегородку (перепонку), по существу, проницаема только для воды и непроницаема для молекул, растворенных в ней веществ. Если клетка окружена чистой водой, то вода, для которой протоплазма проницаема, легко проходит внутрь клетки, как бы притягиваясь растворенными в клеточном соке веществами, не имеющими возможности выйти наружу вследствие ее непроницаемости для них, и клеточный сок увеличивает свой объем. При этом проникновение воды в клетку происходит тем энергичнее, чем больше концентрация клеточного сока. За счет увеличения объема клеточного сока протоплазма, в которой он заключен, растягивается, прилегает к клеточной оболочке, оказывая на последнюю давление, называемое *осмотическим* ( $P$ ). Абсолютная величина осмотического давления в клетках наземных растений колеблется в среднем от 5 до 10 атмосфер. У подводных растений (в пресной воде) осмотическое давление изменяется от 1 до 3 атмосфер; у растений, свойственных засоленным почвам или сухим местообитаниям, оно достигает 60–80 и даже 100 и более атмосфер.

Испытывающая осмотическое давление целлюлозная внешняя оболочка клетки, обладающая ограниченной растяжимостью, оказывается в напряженном состоянии (*тургор*) и со своей стороны давит на содержимое клетки, создавая тургорное давление ( $T$ ). Когда давление внешней оболочки уравнивает осмотическое давление, дальнейшее увеличение объема клеточного сока прекращается – наступает состояние полного насыщения клетки водой. Если обозначить давление клеточного сока на протоплазму (осмотическое давление) через  $P$ , а давление оболочки клетки на ее содержимое (тургорное давление) через  $T$ , то в состоянии полного насыщения клетки водой  $P = T$ .

Вода при этом не будет ни входить в клетку, ни выходить из нее, как бы высока не была концентрация сока внутри клетки. В таком состоянии полного тургора находятся клетки подводных растений. У растений же наземных оно почти не наблюдается, так как их клетками та или иная доля воды теряется в процессе испарения. Для них осмотическое давление  $P$  всегда больше тургорного. Разность их ( $P - T$ ) при погружении такой клетки в воду вызывает приток воды в клетку, тем более энергичный, чем эта разность больше. Разность между осмотическим и тургорным давлением называется *сосущей силой*.

Величина сосущей силы клетки зависит от степени насыщения клетки водой. При насыщении ее, т. е. при равенстве осмотического и тургорного давлений, сосущая сила равна нулю ( $P - T = 0$ ). Чем больше клетка теряет воды в процессе испарения, тем меньше тургорное давление и, следовательно, тем больше сосущая сила. Она достигает максимума у клеток, потерявших свой тургор и вследствие этого находящихся в состоянии завядания.

Вода поступает в корни растений через специальные органы всасывания – *корневые волоски*. Волоски проникают в почвенные капилляры и, благодаря осмотическим свойствам, присущим им как растительным клеткам, всасывают содержащуюся в них воду. Такое всасывание воды из почвы корневыми волосками происходит благодаря тому, что клетка корневого волоска обладает некоторым недостатком воды сравнительно с почвой. Оно продолжается до тех пор, пока клетка не насытится водой. Но соседняя, прилегающая к корневому волоску клетка корня, обладая теперь недостатком насыщения водой сравнительно с клеткой корневого волоска, в свою очередь отсасывает воду от насыщенного ею корневого волоска. Непрерывное и одностороннее продвижение воды от корневого волоска к соседним клеткам и дальше в сосуды, а через них и по телу растения объясняется тем, что проницаемость протоплазмы в различных частях клетки неодинакова. В местах клеток с меньшей проницаемостью протоплазмы вода всасывается, а в местах с большей ее проницаемостью – выдавливается, выталкивается наружу.

Путем такого выдавливания вода последовательно от клетки к клетке проникает в тело растения, постепенно заполняя все его клетки до полного насыщения. Эта сила, заставляющая воду подниматься вверх по клеткам и сосудам растений, получила название *корневого давления*. Передвижение воды вверх по растению иногда можно наблюдать в виде так называемого «плача растений», который проявляется в том, что в период вегетации растений из надрезов или поломанных частей их происходит вытекание воды. Это явление часто можно видеть, например, у винограда ранней весной, когда из срезанных или надломленных лоз обильно истекает жидкость.

### **3.2.2. Испарение. Транспирация растений. Эвапотранспирация**

*Испарение* – это процесс преобразования воды в пар (парообразование) и удаление его с испаряющей поверхности. Вода испаряется с большого количества поверхностей, таких как озера, реки, почвы, растительность. Для преобразования молекул воды в молекулы пара требуется энергия. Эта энергия обеспечивается прямой солнечной радиацией и в меньшей степени – температурой воздуха. Движущей силой, отрывающей пар от поверхности испарения, является разница между давлением паров воды на испаряющей поверхности и в атмосфере. По мере испарения окружающий воздух насыщается паром, процесс испарения замедляется и может прекратиться, если влажный воздух не будет перемещен в атмосферу. Замена насыщенного влагой воздуха более сухим зависит от скорости ветра. Следовательно, основными метеорологическими факторами процесса испарения являются: солнечная радиация, температура воздуха и скорость ветра.

Скоростью испарения называют массу воды, которая испаряется с единицы поверхности за единицу времени, единицей измерения в системе СИ служит  $\text{кг}/\text{м}^2\text{с}$ . На практике испарение рассчитывают за более длительные промежутки времени (час, сутки, месяц) и в миллиметрах того слоя воды, который испарился за этот промежуток.

Если вода испаряется с поверхности почвы, то на скорость испарения воздействуют следующие факторы: степень затененности кроны растений, влажность, температура и шероховатость почвы, физические свойства и цвет почвы, скорость ветра, влажность воздуха, стратификация приземного слоя атмосферы, рельеф местности и др.

*Испаряемостью* называют потенциально возможное, не ограниченное запасами воды в данной местности испарение с увлажненной поверхности почвы или воды при существующих метеоусловиях. В засушливых районах разница между испаряемостью и фактическим испарением может достигать до 1 000 мм, а в районах с избыточным увлажнением фактическое испарение близко к испаряемости. Испаряемость определяют для того, чтобы иметь представление о предельно возможном испарении в данной местности, что важно для расчета оросительных мероприятий и др.

*Транспирация.* В результате нагнетания воды корнями клетки растения скоро оказались бы насыщенными водой и общий поток воды в растении прекратился бы, вместе с тем прекратилось бы и поступление питательных веществ из почвы. Но в растении всегда наблюдается постоянная потеря воды в процессе *испарения*. Испарение в данном случае оказывается одним из основных процессов, создающих в растении недостаток насыщения, поддерживающих в нем непрерывный ток воды и, следовательно, обеспечивающих и регулирующих поступление *воды и минеральных веществ*. Уже по этой причине испарение воды растением нельзя рассматривать как простой физический процесс перехода воды из жидкого состояния в парообразное. Он осложнен различиями в строении самого растения и испаряющих его частей и в известной мере регулируется самим растением; с ним связан ряд физиологических процессов, протекающих в растении. Все это отличает его от простого физического испарения, придает ему характер физиологического процесса. Поэтому испарению воды растением присвоено название *транспирации*.

Транспирация нормально вегетирующего растения находится в достаточно тесной связи с влажностью воздуха: чем суше воз-

дух, вернее чем больше дефицит влажности воздуха, тем обычно больше транспирирует растение; наоборот, уменьшение дефицита влажности воздуха сокращает транспирацию. В этом отношении данный процесс подобен процессу обычного испарения воды. Последний, как известно, подчиняется закону Дальтона, по которому испарение пропорционально дефициту влажности воздуха и обратно пропорционально давлению атмосферы.

В связи с тем, что с повышением температуры воздуха обычно быстро растет величина максимальной упругости водяных паров в воздухе, следовательно, заметно увеличивается дефицит влажности воздуха, наблюдается кажущаяся внешняя зависимость испарения и транспирации от температуры воздуха, которые растут с повышением температуры. Однако в насыщенном водяными парами воздухе они будут ничтожны, несмотря на то что температуры могут быть достаточно высокими.

Ветер, перемешивая слои воздуха, унося более насыщенный влагой воздух от поверхности растений и заменяя его более сухим, увеличивает транспирацию, но, как показывают исследования, прямой пропорциональности между скоростью ветра и величиной транспирации не наблюдается. Сильный ветер увеличивает транспирацию лишь немного больше, чем слабый, так как собственно испарение, т. е. переход воды в парообразное состояние совершается в защищенных от непосредственного действия ветра межклеточниках листа – устьицах.

Большое значение в этом процессе физиологи придают солнечному свету. Энергичное поглощение световых лучей хлорофиллом вызывает повышение температуры листа на свету. В связи с этим у поверхности листа резко возрастает дефицит влажности воздуха – и транспирация увеличивается. Но, поскольку на нее, как на физический процесс парообразования, потребляется определенное количество теплоты, повышение транспирации снижает температуру испаряющей поверхности. Поэтому на свету растения фактически не перегреваются, но транспирируют очень сильно. Считается, что прямой солнечный свет усиливает этот процесс в несколько раз, а рассеянный свет повышает его на 30–40 %.

Переход воды из жидкого состояния в парообразное совершается в межклеточниках листа, откуда водяные пары проходят через устьичные отверстия. На величину транспирации оказывают влияние особенности строения листа, строения и состояния его устьичного аппарата, а также состояние листовых клеток и тканей.

Существенное влияние на процесс транспирации оказывает состояние устьичного аппарата. У большинства растений устьица открываются на рассвете, максимума своего открытия достигают в утренние часы, к полудню же щель устьиц начинает несколько сужаться, и закрывание устьиц происходит чаще всего несколько раньше захода солнца. В пасмурную погоду устьица обычно бывают открытыми не так широко, как в ясную. В очень сухую погоду устьица, открывшись утром, скоро, однако, под влиянием потери листом воды начинают закрываться и нередко уже к полудню, а иногда даже к 10–11 часам утра оказываются совсем закрытыми. К вечеру, с ослаблением жары и уменьшением потери воды, устьица вновь открываются. В условиях наибольшей жары и сухости устьица оказываются закрытыми весь день и открываются только на самое короткое время рано утром.

Такие устьичные движения объясняются следующим. Обычное открывание устьиц в утренние часы обусловлено переходом от темноты к свету. Но усиливающаяся в утренние часы транспирация создает в отдельных частях листа, в том числе в замыкающих клетках устьиц, недостаток насыщения водой, который приводит к настолько сильному падению тургора, что устьица, несмотря на обилие света, начинают суживаться и закрываются. Ослабление транспирации к вечеру или при облачной погоде влечет за собой новое раскрытие или расширение устьиц. Закрывание устьиц днем, в жаркие сухие часы, расценивается как явление полезное, сокращающее расход воды. Но оно вредно сказывается на питании растения, так как затрудняет проникновение углекислоты внутрь листа именно в то время, когда полным ходом идет процесс фотосинтеза: закрытие устьиц обрекает растение на голодание.

Количество воды в граммах, необходимое растениям для образования единицы массы (1 г) сухого вещества, называется

коэффициентом транспирации. Значение *коэффициента транспирации* зависит от вида и сорта растения, состояния и фазы его развития, от температуры и влажности воздуха и почвы, солнечной радиации и др. В зависимости от перечисленных факторов для многих культурных растений умеренного климата коэффициент транспирации меняется от 200 до 800 г.

*Эвапотранспирация.* Сочетание двух отдельных процессов, при которых почва теряет воду через испарение (или *эвапорацию*), а растения – через транспирацию, называется *эвапотранспирацией* (ЕТ).

Скорость эвапотранспирации выражается в миллиметрах в единицу времени. Скорость показывает количество воды, потерянной с культивируемой площади в единицах толщины слоя воды (глубины). Единицей времени может быть час, день, декада, месяц или вегетационный период. Так как  $1 \text{ га} = 10\,000 \text{ м}^2$ , а  $1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}$ , потеря 1 мм означает потерю  $10 \text{ м}^3$  воды с гектара. Таким образом, 1 мм/сут. эквивалентен  $10 \text{ м}^3/\text{га}/\text{сут}$ .

Факторами, влияющими на эвапотранспирацию, являются метеорологические параметры, характеристики сельскохозяйственных культур, аспекты управления сельскохозяйственным производством и экологические условия.

К основным метеорологическим параметрам относят солнечную радиацию, температуру, влажность воздуха и скорость ветра. Испаряющая сила атмосферы выражается *эталонной эвапотранспирацией* (ЕТ<sub>0</sub>), которая представляет собой эвапотранспирацию с эталонной растительной поверхностью без дефицита воды. За эталонную поверхность принимается гипотетический травяной покров со специфическими характеристиками. Средние значения ЕТ<sub>0</sub> для различных агроклиматических регионов Земли представлены в таблице 3.3.

При оценке эвапотранспирации с культивируемых полей рассматриваются: тип растения, изменчивость и стадии развития. Различия в сопротивлении транспирации, высота растений, их неоднородность, отражательная способность, покрытие площади и характеристика корневой системы растений выражаются в раз-

личном уровне ЕТ при различных типах культур при одинаковых экологических условиях.

Таблица 3.3 – Средняя  $ET_0$  для различных агроклиматических регионов, мм/сут. [43]

Регион	Средняя дневная температура, °С		
	Прохладная (около 10 °С)	Умеренная (около 20 °С)	Теплая (более 30 °С)
Тропики и субтропики			
Гумидный и полугумидный	2–3	3–5	5–7
Аридный и полуаридный	2–4	4–6	6–8
Умеренный регион			
Гумидный и полугумидный	1–2	2–4	4–7
Аридный и полуаридный	1–3	4–7	6–9

Эвапотранспирация с полей, находящихся в различных экологических условиях, сильно отличается. Снижение эвапотранспирации и ограничение развития растений вызывают следующие факторы: засоленность почв, низкое плодородие почв, ограниченное применение удобрений, наличие тяжелых и непроницаемых горизонтов, отсутствие контроля за болезнями растений и вредителями, а также плохая обработка земли. Другими факторами, на которые стоит обратить внимание, являются: покрытие поверхности, густота растительности и влажность почвы. Влияние влажности на ЕТ обусловлено размером водного дефицита и типом почвы. Слишком большое количество воды вызывает подтопление земель, может повредить корням растений, препятствуя доступу кислорода [43].

Оценивая ЕТ, необходимо также учитывать практику управления земельными ресурсами, которая совместно с климатическими и другими факторами воздействует на процесс эвапотран-

спирации. Методы обработки почвы и орошения могут изменить микроклимат поля, повлиять на характеристики растений или поверхность. Лесозащитные полосы снижают скорость ветра и ET на поле сразу же за барьером. Эффект может быть значительным, особенно в ветреный, сухой и теплый день, хотя эвапотранспирация с деревьев может компенсировать ее снижение на поле. Испарение с почвы в молодом саду, где деревья растут редко, может быть снижено применением капельного или струйного способа орошения. Капельницы подают воду прямо к деревьям, оставляя основную площадь поверхности сухой и ограничивая потери на испарение. Использование мульчи, особенно при малых растениях, – еще один способ снизить испарение. Антитранспиранты, такие как пленкообразующий или отражающий материал, также снижают транспирацию.

### 3.2.3. Завядание растений

В условиях нежаркой и достаточно влажной погоды потеря листьями воды на транспирацию легко восполняется подачей воды корнями. В жаркие сухие часы дня часто может обнаружиться разрыв между расходом воды и ее поступлением из почвы. Сокращение транспирации при закрытии устьиц является своеобразным приспособлением растения, поддерживающим соответствие между потерей воды листьями и ее восполнением. Но такое регулирование прихода-расхода влаги возможно только в известных пределах. Если эти пределы перейдены, как, например, в жаркие сухие часы летних дней, когда корни не успевают своевременно восполнить трату воды на транспирацию, даже при сокращении последней за счет закрывания устьиц, то водный баланс нарушается. Листья теряют тургор, обвисают, становятся вялыми, темными, т. е. *завядают*. Но при понижении температуры и повышении влажности воздуха к вечеру водный баланс растения восстанавливается, растение оправляется и возобновляет свою нормальную жизнедеятельность. Такое завядание растения называют обычно *временным завяданием*. Не нанося существенного внешнего вреда растению, оно приостанавливает фотосинтез, что является нежелательным явлением.

Нарушение водного баланса растения может пойти значительно дальше и не ограничиться временным завяданием. В очень жаркие и сухие периоды, когда за относительно более влажную и прохладную ночь растение не успевает полностью восстановить нормальное соотношение между приходом и расходом воды, постепенно обезвоживаются ткани не только листьев, но и остальных его частей. Растение испытывает *длительное*, или *перманентное завядание*. Особенно сильно оно проявляется в тех случаях, когда в почве не остается доступной растению воды. Длительное завядание, особенно вызванное почвенной засухой, влечет за собой существенные нарушения и изменения в ходе физиологических процессов в растении, а в ряде случаев приводит к гибели растения.

Нормальное функционирование растений возможно в том случае, если приходо-расход воды в них происходит без длительного и глубокого дефицита. Для обеспечения этого растение должно иметь хорошо развитую корневую систему, достаточно быстро всасывающую воду из почвы, хорошо развитую проводящую систему, без задержки подающую воду в листья – основные транспирирующие органы растений, и систему покровных тканей, задерживающую, насколько возможно, потерю воды растением.

Основную роль в добывании воды из почвы выполняет именно широко разветвленная корневая система, густой сетью пронизывающая почву. Это позволяет растению с успехом использовать даже минимальные запасы воды в почве. В засушливых местностях – в условиях жаркого и сухого климата – растения развивают огромную корневую систему, проникающую в глубь почвы до нескольких метров. В то же время у этих растений обычно заметно сокращается и испаряющая листовая поверхность. Наоборот, во влажных, тенистых местообитаниях корневая система у растений развивается несравненно слабее, листьев же обычно много, они широки и тонки.

#### **3.2.4. Влажность воздуха и ее влияние на растения**

Влажность воздуха оказывает большое влияние на рост и развитие растений, и оно может быть как положительным, так

и отрицательным. Достаточная влажность воздуха в период интенсивного роста обеспечивает значительный прирост биомассы растений. Однако избыточно высокая влажность способствует полеганию ряда зерновых культур. В период цветения высокая влажность воздуха препятствует нормальному опылению растений, а в период созревания – дружному подсыханию зерна и соломы, затрудняет работу уборочных машин и снижает качество уборки. Оптимальные условия работы комбайна создаются при дефиците влажности воздуха 8–10 гПа, удовлетворительные – при 3–8 гПа. Понижение дефицита насыщения до 3 гПа и менее приводит практически к прекращению уборочных работ из-за плохих условий. Повышение влажности воздуха обуславливает возникновение и распространение грибковых заболеваний: мучнистой росы, фитофторы, различных видов ржавчины и других.

Низкая влажность также приносит вред растениям. Понижение ее до 30 % и менее приводит к потере тургора в листьях, а при продолжительной засушливости – к преждевременному усыханию листьев, уменьшению фотосинтезирующей поверхности посева и, как следствие, к уменьшению урожая.

Особенно вредно понижение влажности воздуха ниже 30 % в период цветения и налива зерна озимых и яровых хлебов, а также ниже 50 % во время цветения и налива зерна риса. Низкая влажность в период цветения обуславливает пересыхание пыльцы и, следовательно, неполное оплодотворение, что приводит к *череззернице*, а в период налива зерна – к его щуплости и снижению урожая.

Особенно опасно понижение влажности воздуха при недостатке почвенной влаги. Понижение влажности воздуха ниже 30 % при недостатке влаги в почве в сочетании с высокими температурами обуславливает преждевременное засыхание зерна. При дефиците насыщения более 30 гПа и запасах продуктивной влаги в пахотном слое 0–5 мм, а в метровом – менее 30 мм в период налива зерно получается щуплым.

С недостатком влаги в воздухе и почве связаны такие явления, как *запал* и *захват* зерна. Под «запалом» понимают ускорен-

ное созревание зерна под действием высоких температур и сухости воздуха. Это явление усиливается при повреждении растений ржавчиной и другими болезнями. В результате зерно получается сморщенным, щуплым, т. е. неполноценным.

В случае недостатка влаги в почве после цветения, особенно при высокой температуре и сухости воздуха, растение транспирирует больше влаги, чем получает из почвы через корневую систему. В момент транзита влаги по стеблю к соцветию влага «перехватывается» листьями, вследствие чего соцветие начинает испытывать недостаток ее, зерно плохо наливается и получается щуплым. Происходит так называемый «захват» зерна.

Понижение влажности воздуха до 30 % и ниже в сочетании с высокими температурами (выше 30 °С) и недостатком влаги в почве (менее 20–40 мм в метровом слое) вызывает мелкоплодность плодовых и ягодных культур, снижение урожая и слабую закладку почек под урожай будущего года.

Влажность воздуха обуславливает и качество урожая. Отмечено, что низкая влажность воздуха снижает качество льноволокна, но повышает хлебопекарные качества пшеницы.

### **3.3. Почвенная влага и ее влияние на развитие растений**

#### **3.3.1. Водный баланс почвы**

Основным источником почвенной влаги является вода: либо поступающая на земную поверхность в виде атмосферных осадков, либо вносимая на поля при искусственном орошении. Частично эта вода может стечь по поверхности почвы (*поверхностный сток*); основное же количество ее, просачиваясь по порам в глубь почвы, передвигается в ней в жидком или парообразном виде. Влага может также поступать в почву из грунтовых вод, если глубина последних невелика. Иногда дополнительным источником влаги может служить конденсация парообразной воды из воздуха.

Почвенная влага расходуется путем *испарения* с поверхности почвы, *десукции* (отсоса корнями растений) и последующей

*транспирации* растений. Часть влаги при глубоком залегании грунтовых вод может просачиваться в слои, недоступные корневой системе растений (*внутрипочвенный и грунтовый сток*).

Вследствие постоянного обмена водой между почвой, растениями и атмосферой содержание влаги в почве непрерывно изменяется, и это определяет *режим влажности почвы*.

Количество почвенной влаги и его изменения за тот или иной период можно определить следующим образом. Зная содержание воды в корнеобитаемом слое почвы ( $W_H$ ), необходимо учесть *приход* влаги (количество выпавших за период осадков  $R$ , количество сконденсированной влаги почвой  $e$ , подток ее от грунтовых вод  $I$  и *расход* ее за то же время (просачивание влаги в горизонты почвы, из которых она не может в дальнейшем попасть в корнеобитаемый слой  $i$ , поверхностный сток  $v$ , испарение с поверхности почвы  $Q$  и транспирация растений  $T$ ).

Этот влагооборот в почве или ее водный баланс может быть выражен в виде уравнения:

$$W_K = W_H + R + e + I - v - Q - T - i,$$

где  $W_K$  – запас влаги в почве в конце периода;  $W_H$  – запас влаги в почве в начале периода.

Из всех основных компонентов *водного баланса* почв в естественных условиях определяется с большей или меньшей точностью только количество осадков. Остальные же компоненты прихода-расхода влаги при наблюдающемся в природе большом разнообразии рельефа, почв, их водных свойств, вида и густоты растительного покрова и т. д. определяются далеко не везде; почти нет надежных, более или менее простых способов их определения. Отдельные компоненты баланса влаги (сток, просачивание и некоторые другие), в зависимости от задачи исследований, определяются теми или иными путями, но, как правило, систематических данных по ним нет и использовать имеющийся материал трудно.

Поэтому для непосредственного определения запасов влаги в почве широко пользуются данными систематических инструментальных наблюдений за влажностью почвы. Основным мето-

дом измерения влажности почвы является термостатно-весовой. По этому методу почвенным буром АМ-16, а в зимний период буром АМ-26, производят отбор проб почвы через каждые 10 см до глубины 50, 100 или 150 см. Из нижней трети бурового стакана почву перекалывают в алюминиевые сушильные стаканчики (бюксы), затем их взвешивают с точностью до 0,1 г. После этого стаканчики с открытыми крышками держат в сушильном шкафу при температуре 100–105 °С до полного высушивания. На основании разности масс проб до и после высушивания вычисляют влажность почвы (в % от абсолютно сухой почвы):

$$W = (P_1 - P_2) / P_2 \times 100 \%,$$

где  $W$  – влажность почвы, %;  $P_1$  – масса влажной почвы;  $P_2$  – масса сухой почвы.

Поскольку этот метод очень трудоемкий, то в настоящее время применяются различные косвенные способы:

- а) омический – основанный на измерении электрического сопротивления почвы;
- б) тензиометрический – основанный на измерении капиллярного натяжения почвенной влаги;
- в) нейтронный – основанный на измерении степени ослабления интенсивности гамма-лучей.

При характеристике же влагообеспеченности растений привлекают дополнительно материалы изучения агрогидрологических свойств почв (водных и физических свойств почв, имеющих значение в формировании запасов почвенной влаги и снабжении этой влагой растительности).

### **3.3.2. Агрогидрологические свойства почвы и категории почвенной влаги**

Характеристики водно-физических свойств почвы, необходимые для получения информации о влагообеспеченности сельскохозяйственных культур, в агрометеорологии называются *агрогидрологическими свойствами почвы*.

Почва может вместить в себя такое количество воды, которое соответствует всему объему пронизывающих ее пор. При этом весь воздух из пор вытеснен водой, и только местами в ней со-

храняются немногочисленные изолированные его пузырьки (так называемый «защемленный воздух»). Такое состояние насыщения почвы водой, соответствующее понятию *полной*, или *наибольшей*, *влагоемкости*, обычно наблюдается при застое воды в болотах или горизонтах почвы, пропитанных грунтовой водой. За пределами последних вплоть до поверхности почвы насыщение может быть достигнуто во время снеготаяния, после обильных дождей или поливов при близком залегании грунтовых вод, подпор которых препятствует просачиванию воды вглубь. Если грунтовые воды находятся достаточно глубоко, состояние полного насыщения очень кратковременно: часть воды испаряется с поверхности почвы, часть под воздействием гравитационных сил проникает в нижележащие горизонты. Остающаяся вода удерживается сорбционными и капиллярными силами. Такое свойство почвы называется *водоудерживающей способностью*, а удержанная вода – *подвешенной*.

Количеству воды, которое почва может удержать в себе в подвешенном состоянии, присваивается название *наименьшей полевой влагоемкости*. Считается, что у песков и песчаных почв она колеблется от 4 до 9 % (от веса абсолютно сухой почвы), у супесчаных – от 10 до 17 %, у легко- и среднесуглинистых – от 18 до 30 %, у тяжелосуглинистых – до 40 %.

Часть влаги в корнеобитаемые слои почвы может поступать под влиянием капиллярных сил от грунтовых вод («водоподъемная способность почв»). Чем мельче частицы почвы, тем выше может быть этот капиллярный подъем воды (капиллярно-подпертая влага). В рыхлых песчаных почвах высота подъема влаги над зеркалом грунтовых вод не превышает 1, в супесчаных она составляет 1,0–1,5 м, в суглинистых – 2–3 м, в глинистых почвах достигает 4–5 м. Максимальное количество капиллярно-подпертой влаги, которое может содержаться в почве, называется *капиллярной влагоемкостью*.

В случае неглубокого залегания грунтовых вод смыкание капиллярно подпертой влаги с капиллярно подвешенной и создает условия для перенасыщения почвы до полной или наибольшей влагоемкости.

В процессе испарения с поверхности почвы и транспирации растений количество влаги в почве уменьшается и может снизиться до пределов, при которых растение оказывается уже не в состоянии ею пользоваться: развиваются явления почвенной засухи, приводящие к резкому ухудшению состояния растений и в последующем – к его гибели.

*Объемная масса почвы* – масса единицы объема сухой (высушенной при температуре 105 °С) почвы ненарушенного сложения. Она вычисляется путем деления массы абсолютно сухой почвы на ее объем и выражается в г/см<sup>3</sup> почвы.

*Влажность устойчивого завядания* – такая влажность почвы, при которой появляются необратимые признаки увядания растений, даже если их поместить в темное помещение, в котором воздух близок к насыщению водяными парами. Влажность устойчивого завядания зависит от размеров почвенных частиц и количества гумуса в почве. Чем мелкозернистее и богаче гумусом почва, тем выше влажность устойчивого завядания.

Исследования с разнообразными почвами показали, что:

1) верхний предел количества не усвояемой растениями почвенной влаги, названный ими коэффициентом завядания, различен для разных почв, а для данной почвы является величиной постоянной;

2) это количество соответствует приблизительно полуторному количеству гигроскопической воды (точнее, составляет 1,47 от нее);

3) при достаточно медленном завядании все растения оставляют в почве совершенно одинаковое количество воды.

Также было установлено, что растения, начинающие завядать при снижении влажности почвы до коэффициента завядания, фактически продолжают еще извлекать воду из почвы, и этот процесс идет даже после частичного отмирания растений. Следовательно, влага, остающаяся в почве к моменту завядания, не является в полном смысле слова недоступной для растения, и коэффициент завядания не характеризует собой целиком неусвояемую влагу, а лишь показывает на тот предел почвенной влажности, начиная с ко-

того растущее в почве растение теряет тургор и даже во влажной атмосфере (например, после ночи) не оправляется. В этот момент в почве еще содержится доступная растению влага. При этом, как еще в 1936 г. указывала С.А. Вериге, коэффициент завядания – это не момент смерти растения; от момента наступления перманентного завядания до смерти еще далеко. В условиях вегетационного опыта этот период достигает 20–30 дней. Таким образом, термин «коэффициент завядания» соответствует только такой влажности почвы, при которой листья впервые обнаруживают признаки перманентного (длительного) завядания. Поэтому вместо него часто используют термин «влажность устойчивого завядания».

### ***Категории почвенной влаги***

Различают следующие категории воды в почве:

1. *Вода в форме пара*: эта вода движется, как газ, из мест с большей упругостью пара в места с меньшей упругостью.

2. *Гигроскопическая вода*: вода в этом состоянии представляет водяной пар, адсорбированный частицами породы. Когда частицы породы окружены молекулами воды так, что вокруг частиц породы образуется сплошная пленка воды толщиной в одну молекулу, то такое состояние влажности породы называется максимальной гигроскопичностью, или то количество влаги, которое сухая почва сорбирует из воздуха при его относительной влажности 100 %. Эта категория воды не движется, как жидкость, а перемещается из одних слоев в другие, переходя в водяной пар.

3. *Пленочная вода*: эта вода находится под влиянием молекулярных сил сцепления между частицами почвы и молекулами воды. Она удерживается почвой с большой силой. Воздух в породе, имеющей пленочную воду, всегда насыщен водяным паром. Эта вода движется, как жидкость, из слоев, имеющих более толстые пленки, в слои с более тонкой пленкой. Движение это очень медленное. Влажность породы, соответствующую максимальной толщине пленки, называют *максимальной молекулярной влагоемкостью*.

4. *Гравитационная вода* передвигается под влиянием силы тяжести. Скорость передвижения гравитационной воды в сравнении с пленочной велика.

А.Ф. Лебедев [29] считает целесообразным различать несколько состояний гравитационной воды. Он выделяет:

а) *капиллярную воду*, которая заполняет капиллярные пустоты в породе, поднимаясь от грунтовой воды;

б) *подвешенную воду*, не имеющую непосредственной связи с грунтовой водой и как бы подвешенную в почве или грунте;

в) *собственно гравитационную воду*, находящуюся в состоянии падения.

Также выделяют так называемую *имбибиционную воду*, которая прочно связана коллоидальными веществами почвы, обладающими способностью напитываться и набухать в воде.

*Парообразная, имбибиционная и гигроскопическая вода* не воспринимаются корневой системой. Эти три категории воды недоступны растениям и составляют так называемый «мертвый запас».

Более доступной является пленочная вода, удерживающаяся на поверхности почвенных частиц силами молекулярного притяжения.

*Гравитационная вода* свободно всасывается корневой системой во всех трех ее состояниях (капиллярная, подвешенная и собственно гравитационная, находящаяся в состоянии падения) и представляет собой основную категорию воды, используемую растением в процессе его жизнедеятельности.

Более подробно формы воды в почве рассматривает С.И. Долгов [4]. В зависимости от сил, связывающих воду с частицами почвы, он различает три формы почвенной влаги:

1) *связанная (сорбированная) вода* – движущаяся и удерживаемая почвой под преимущественным влиянием сорбционных сил, т. е. непосредственного взаимодействия молекул воды с поверхностью почвенных частиц;

2) *свободная вода* – находящаяся вне влияния поверхностных сил почвенных частиц, движущаяся в почве под преимущественным влиянием гравитационных или капиллярных сил;

3) *парообразная вода* – передвигающаяся в порах почвы под воздействием различий в упругости водяного пара.

Если увлажнение почвы настолько мало, что вода находится в почвенных порах в виде разобщенных между собой капель, а просветы между ними заняты воздухом, то она в порах не передвигается (находится в состоянии неподвижной свободной воды). Хотя сила поверхностного натяжения воды капель меньше сосущей силы корней растений, но из-за малой подвижности такой воды она труднодоступна растениям.

При некотором увеличении влажности почвы образуются скопления капель, соединенных нитями воды по стенкам капилляров. Под воздействием сил поверхностного натяжения такая вода становится уже способной к передвижению по почвенным капиллярам от более влажных мест к более сухим. Такая капиллярно-подвижная вода вполне доступна растениям, но при усилении транспирации могут появиться признаки их увядания.

При дальнейшем увеличении влажности почвы ее поры начинают заполняться водой, и она переходит в капиллярно-легкоподвижную форму, свободно передвигаясь от более влажных горизонтов почвы к менее влажным. Капиллярный поток при этом может двигаться (как и в предыдущем случае) в любом направлении.

При еще большем увлажнении вода оказывается под преимущественным влиянием гравитационных сил: начинается ее просачивание вниз.

Характеристика форм почвенной влаги, выделенных С.И. Долговым [4] и реакция на нее растения представлена в таблице 3.4.

Таким образом, вся прочно- и рыхлосвязанная вода и некоторая часть неподвижной свободной воды относятся к *непродуктивной влаге*, т. е. той части почвенной влаги, которая не участвует в создании органического вещества. Все остальные категории воды в почве составляют *продуктивную влагу*.

Таблица 3.4 – Характеристика форм почвенной влаги [4]

Увлажнение почвы в пределах	Формы воды	Количество воды	Характеристика по отношению к растениям
В. п. – полная влагоемкость. Н. п. – капиллярная влагоемкость	Гравитационная просачивающаяся	Излишнее	Растение страдает от отсутствия азрации (острый недостаток воздуха)
В. п. – капиллярная влагоемкость Н. п. – наименьшая полевая влагоемкость	Капиллярно-легкоподвижная	Легкодоступное	Растение может страдать от недостатка воздуха
В. п. – наименьшая полевая влагоемкость Н. п. – влажность временного завядания	Капиллярно-подвижная	Доступное	Оптимальное увлажнение
В. п. – влажность временного завядания Н. п. – влажность перманентного завядания	Капиллярно-слабоподвижная	Труднодоступное	Растение испытывает недостаток влаги
В. п. – влажность перманентного завядания Н. п. – максимальная гигроскопичность	Капиллярно-почти неподвижная	Почти недоступное	Прекращение роста растений из-за недостатка влаги
В. п. – максимальная гигроскопичность Н. п. – гидрособционная способность почвы	Капиллярно-неподвижная	Почти недоступное	Условий для проявления жизнедеятельности растений нет

В. п. – гидросорбционная способность почвы Н. п. – гидроадсорбционная способность почвы	Рыхлосвязанная лиосорбированная	Недоступное	Условий для проявления жизнедеятельности растений нет
В. п. – гидроадсорбционная способность почвы	Прочносвязанная адсорбированная	Недоступное	Условий для проявления жизнедеятельности растений нет

*Примечание:* В. п. – верхний предел, Н. п. – нижний предел.

### 3.3.3. Продуктивная влага

Продуктивная влага – это количество влаги, содержащееся в почве сверх влажности устойчивого завядания и участвующее в создании органического вещества растений. Количество продуктивной влаги выражается в *миллиметрах слоя воды* в определенном слое почвы, что позволяет сопоставлять ее запасы с расходами воды на испарение и с количеством выпадающих осадков. Для перевода влажности почвы, выраженной в процентах, в миллиметры продуктивной влаги применяют формулу

$$W_{\text{пр}} = 0,1 \times d \times h \times (W - k);$$

где  $W_{\text{пр}}$  – запасы продуктивной влаги (мм);  $d$  – объемная масса почвы (г/см<sup>3</sup>);  $h$  – толщина слоя почвы;  $W$  – влажность почвы (в % от массы абсолютно сухой почвы) в слое, для которого делается расчет;  $k$  – влажность устойчивого завядания (в % от массы абсолютно сухой почвы); 0,1 – коэффициент для перевода запасов влаги в миллиметры слоя воды.

Состояние посевов сельскохозяйственных культур и их урожайность зависят от количества продуктивной влаги в почве. Степень соответствия потребности растений в почвенной влаге для формирования высоких урожаев имеющимся запасам продуктивной влаги в почве называется *лагообеспеченностью растений*.

Смена холодного и теплого периодов года является одним из основных факторов, определяющих динамику водного режима,

и условием формирования запасов влаги в почве. В холодное время года влага не расходуется на транспирацию, а когда почва покрыта снегом, то и на испарение. Изменение запасов влаги происходит за счет ее внутрпочвенного передвижения под влиянием кристаллизации в процессе промерзания почвы, а также за счет наполнения талыми водами во время оттепелей.

Выделяют три типа изменения запасов влаги в почве зимой: с сильным влагонакоплением, незначительным влагонакоплением и переходный тип.

*Сильное влагонакопление.* В районах с высокой влажностью почвы осенью и неглубоким залеганием грунтовых вод зимой при промерзании почвы, покрытой снежным покровом, накапливается много влаги, так как она подтягивается из нижних слоев к промерзающему слою почвы. За зиму в верхнем двадцатисантиметровом слое почвы запасы влаги могут увеличиться на 55 мм, что в два раза больше полной влагоемкости. Это сопровождается пучением почвы.

*Незначительное влагонакопление.* В районах с глубоким залеганием грунтовых вод и запасами продуктивной влаги ниже наименьшей полевой влагоемкости накопление влаги происходит за счет парообразного передвижения воды по вертикальному профилю почвы. Его роль в накоплении влаги в верхних слоях почвы невелика и составляет 10–15 мм.

Переходный тип зимнего влагонакопления наблюдается в районах с глубоким залеганием грунтовых вод и неустойчивой зимой с продолжительными оттепелями. Увеличение запасов влаги здесь происходит за счет проникновения талых вод в почву и достигает 40–90 мм. Иногда из-за малого выпадения осадков за зиму значительного накопления влаги в почве не происходит, и тогда к весне содержание влаги в почве составляет меньше наименьшей полевой влагоемкости.

Ранней весной запасы почвенной влаги увеличиваются за счет талых вод. Размеры увеличения зависят от недонасыщенности почвы влагой, глубины и степени ее промерзания, наличия ледяной корки, интенсивности снеготаяния. Сильно и умеренно промерз-

шая почва мало проницаема для воды, а по ледяной корке вода стекает, не достигая почвы, поэтому потеря талых вод на сток достигает до 98 %. Наоборот, при слабом промерзании и большом недостатке влаги в почве почти вся талая вода просачивается в нее.

При полном оттаивании почвы избыточная влага просачивается в грунтовые воды. В районах с ненасыщенными почвами по мере их оттаивания избыток влаги в верхних слоях почвы расходуется на насыщение нижележащих слабо увлажненных слоев, капиллярное поднятие ослабляется, и верхние слои почвы начинают подсыхать.

С начала вегетации сельскохозяйственных культур изменение запасов продуктивной влаги в корнеобитаемом слое почвы зависит от совокупного взаимодействия почвы, растения, метеорологических условий и колебаний уровня грунтовых вод. С этого времени на величине расходов влаги из почвы начинает сказываться степень углубления и развитие корневой системы, состояние надземной части растений.

Результаты исследований показали, что при запасах влаги в пахотном слое (0–20 см) меньше 5 мм всходы зерновых культур не появляются. Удовлетворительное состояние всходов бывает при запасах продуктивной влаги 12–15 мм. Хорошее состояние всходов отмечается при влажности почвы, близкой к наименьшей полевой влагоемкости.

В зависимости от фазы развития растений необходимо различное содержание продуктивной влаги в почве. Так, в период от кущения до выхода в трубку запасы продуктивной влаги меньше 10 мм в слое почвы 0–20 см вызывают резкое ухудшение состояния посевов. В таких условиях слабо развиваются узловые корни, уменьшается количество стеблей и число колосков в колосе. Некоторое ухудшение посевов отмечается при продуктивной влаге 20 мм, хорошее состояние растений отмечается при 30–40 мм. В период от выхода в трубку до цветения запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы меньше 80 мм ухудшают состояние посевов и снижают урожай. Хорошее состояние посевов и высокий урожай наблюдается при запасах влаги от 100 до 200 мм.

Недостаток влаги в почве после цветения вызывает череззерницу и пустоколосицу, а во время налива зерна снижает массу зерна и приводит к явлениям «захвата» и «запала». При этом количество продуктивной влаги в метровом слое составляет 25 мм и меньше, а для хорошего состояния посевов необходимо 80 мм. Увеличение продуктивной влаги до 125 мм ведет к полеганию растений и их повреждению болезнями и вредителями.

У картофеля наибольший прирост клубней после цветения на супесчаных почвах наблюдается при запасах влаги 60–70 мм в 50-сантиметровом слое почвы.

На основании исследований влияния запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы на урожайность озимой пшеницы Е.С. Уланова [59] установила различные градации запасов влаги и дала их оценку в основные периоды весенне-летней вегетации (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Показатели оценки запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы в основные периоды вегетации озимой пшеницы

Фаза развития	Запасы продуктивной влаги			
	хорошие	удовлетворительные	недостаточные	плохие
Возобновление вегетации	150–200	120–150	100–120	Менее 100
Выход в трубку	140–180	100–140	80–100	Менее 80
Колошение	80–140	60–80	40–60	Менее 40
Налив зерна	80–100	40–80	30–40	Менее 25

Также была установлена зависимость изменения влагозапасов от метеорологических факторов, она выражается следующим уравнением:

$$\Delta W = at + br + cw + L,$$

где  $\Delta W$  – изменение запасов продуктивной влаги за декаду (мм);  $t$  – средняя за декаду температура воздуха;  $r$  – сумма осадков за декаду (мм);  $w$  – запасы продуктивной влаги в начале декады (мм);  $a, b, c, L$  – коэффициенты уравнения.

Это выражение позволяет оценить влагозапасы в корнеобитаемом слое в зависимости от складывающихся метеорологических условий и даже их спрогнозировать.

*Типы годового хода запасов продуктивной влаги в почве.* Динамика годового хода продуктивной почвенной влаги обуславливается, прежде всего, количеством и распределением во времени осадков и температурным режимом данной территории. Изучение динамики годового хода влагозапасов позволило С.А. Веригу и Л.А. Разумовой выделить четыре преобладающих типа годового хода продуктивной влаги в почве, которые соответствуют четырем агрогидрологическим зонам: обводнения, капиллярного увлажнения, полного весеннего промачивания, слабого весеннего промачивания.

*Зона обводнения* охватывает Прибалтику, север Белоруссии, северные районы европейской территории России и таежные районы Западно-Сибирской низменности. Здесь в корнеобитаемом слое почвы в течение всего года имеется большое количество легкоподвижной влаги. Зимой в промерзающем слое почвы идет интенсивное накопление влаги, подтягиваемой к его нижней границе из грунтовых вод. Наибольшее количество продуктивной влаги в этой зоне наблюдается в конце зимы и может достигать 300 мм в метровом слое, нередко превышая полную влагоемкость почвы. Весной с оттаиванием почвы избыток влаги уходит с поверхностным стоком и в грунтовые воды. Запас продуктивной влаги уменьшается медленно, пока уровень грунтовых вод не снизится. Наименьшие запасы влаги часто бывают в июле и составляют в метровом слое почвы около 150 мм. В период уборки урожая почвы здесь часто переувлажнены.

*Зона капиллярного увлажнения* расположена к югу от предыдущей зоны и ограничена линией Калининград – Ливны – Кудымкар – Тобольск – Кемерово. Здесь грунтовые воды достигают корнеобитаемого слоя почвы в период наивысшего стояния, а верхняя граница капиллярной каймы находится в этом слое почвы в течение всего года. Зимой накопление влаги происходит так же, как и в зоне обводнения. Наименьшие запасы продуктивной влаги в метровом слое суглинистых почв бывают в июле и состав-

ляют 100 мм, а в супесчаных почвах несколько меньше. Осенью и весной почва переувлажнена. Корневая система растений расположена в верхних слоях почвы, поэтому в сухие годы в летние месяцы урожайность сельскохозяйственных культур может снижаться из-за недостаточной влагообеспеченности.

*Зона полного весеннего промачивания* расположена между зоной капиллярного увлажнения и линией Черновцы – Харьков – Пермь – Оренбург – Кустанай – Ишим – Марлинск. Здесь грунтовые воды залегают глубоко. Максимальные запасы продуктивной влаги наблюдаются весной, когда почва промачивается на глубину метрового слоя до наименьшей влагоемкости, что составляет 170–200 мм. Минимальные запасы в конце вегетационного периода понижаются до 50–100 мм, а в годы сильных засух они могут быть полностью исчерпаны.

*Зона слабого весеннего промачивания:* юг Молдавии и Украины, степи Северного Кавказа, юг Среднего и Южного Поволжья, Южный Урал, юг Западной Сибири и Северный Казахстан, постепенно переходящий в полупустыню. Почва здесь даже весной промачивается талыми водами на глубину меньше 1 м. Наименьшие запасы влаги наблюдаются осенью, при этом в засушливые годы возможно полное иссушение почвы до глубины 50 см и ниже.

Границы описанных зон в природных условиях не являются резко очерченными. Вследствие различия в рельефе, почвах, в гидрогеологических и микроклиматических условиях, а также вследствие деятельности человека (мелиорация и агротехника) зоны тесно переплетаются между собой.

### **3.4. Температура как фактор жизнедеятельности растений**

#### **3.4.1. Процессы жизнедеятельности растений и температура**

Поступление солнечной энергии, поглощение и использование ее деятельной поверхностью Земли, расход ее на отражение и излучение являются основными процессами формирования радиационного и теплового режимов территории, под непосредственным

и непременным воздействием которых протекает жизнь растения, его развитие, с ними связана и продуктивность растительного организма.

Установление взаимоотношений между радиационным режимом и процессами роста, развития растений и их продуктивностью, выраженных в виде количественных связей, должно явиться одной из очередных практических задач агрометеорологии.

Действие лучистой энергии Солнца в значительной мере проявляется в тепловых процессах, происходящих в растении, представляя собой один из важнейших компонентов деятельной поверхности, а также в окружающей растению среде. Он является регулятором *температуры растения, почвы*, а также омывающего их *воздуха*.

Температуру тела можно представить себе как своеобразный итоговый показатель, характеризующий в каждый данный момент изменения прихода-расхода лучистой энергии в зависимости от прозрачности атмосферы, мутности ее, наличия или отсутствия облачности, особенностей общей и местной циркуляции атмосферы, от физических свойств самого тела и т. д.

Температурой в основном регулируется интенсивность биохимических процессов в растении; с ней теснее, чем с другими условиями внешней среды, увязывается скорость развития растения и интенсивность накопления органического вещества.

Обычно повышение температуры ускоряет протекание биохимических реакций в растении. Понижение температуры, наоборот, замедляет его. В известных пределах эта зависимость может быть выражена правилом Вант-Гоффа. По этому правилу скорость протекания химических реакций (процессов) при повышении температуры на каждые 10 °С возрастает в 2–3 раза.

Большая часть жизненных процессов в растении подчиняется правилу Вант-Гоффа только в сравнительно узких температурных пределах – между 0 и 30–35 °С. При температурах ниже 0 °С у большинства растений ответа на понижение температуры уже не наблюдается. При повышении же температуры до 35–40 °С обычно ускорение биологических процессов не отмечается, затем

начинается быстрое падение скорости их протекания, и, наконец, они совершенно прекращаются. Такое уклонение биохимических процессов в растении от правила Вант-Гоффа вполне понятно, поскольку организм – это сложная биохимическая система. Обмен веществ, свойственный живому организму, состоит из процессов, тесно связанных между собой, влияющих друг на друга, тормозящих действие один другого при известных условиях.

Таким образом, на температурной кривой жизненных процессов обнаруживаются три основные («кардинальные») *точки: минимум температуры*, с которого процесс только начинается; *оптимум*, при котором процесс протекает с наибольшей скоростью; *максимум*, выше которого процесс прекращается. Характерной особенностью температурной кривой биологических процессов является то, что расстояние между минимумом и оптимумом значительно больше, чем между оптимумом и максимумом. Основные температурные точки биологической кривой различны как для разных растений, так и для разных периодов развития растения. Неодинаковы кардинальные точки и для различных биологических процессов (таблица 3.6).

Не следует смешивать минимумы и максимумы температуры для протекания жизненных процессов с вредными для организма температурами: при переходе температуры за пределы минимума или максимума биологических процессов растение продолжает жить, но не растет и не развивается. При изменении хода температуры в обратную сторону (при подъеме температуры за пределы минимума или снижении ее за пределы максимума) растение способно восстановить свои жизненные функции. Если же температура достигает вредного для растений предела (предельного для жизни «смертельного» минимума или максимума температуры), то это влечет за собой гибель отдельных органов растения или всего растения в целом. В этом случае при изменении уровня температуры в благоприятную для растения сторону жизненные функции растения уже не восстанавливаются.

Таблица 3.6 – Минимальные и максимальные температуры роста некоторых сельскохозяйственных культур и других растений, полученные экспериментально физиологами растений (по Б.А. Рубину) [50]

Культура	Температуры, °С	
	Минимальные	Максимальные
Горох посевной (корни)	–2	44,5
Пшеница	0...–2	42
Лен-долгунец	3–4	39–40
Кукуруза, просо, соя	9,5	46
Тыква, хлопчатник, рис	12–14	46
Гриб ( <i>Aspergillus fumigatus</i> )	15	60
Клен европейский	7	26

Кардинальные точки для явлений роста растений могут отличаться иногда достаточно сильно от кардинальных точек для процессов развития. Поэтому иногда, особенно при низких температурах, растения приостанавливают рост, но продолжают свое развитие: т. е. перейден минимум температуры для роста, но еще не достигнут минимум для развития. Есть мнение, что температурный минимум роста и развития лежит ниже температурного минимума образования хлорофилла, поэтому при низких температурах весной растение медленно растет и развивается, но бывает желтоватым, болезненным на вид.

Определение температурных кардинальных точек для периода прорастания семян несравненно проще, чем для остальных периодов развития растений. Дело в том, что период прорастания во всей жизни зеленого растения стоит особняком и характеризуется тем, что в течение этого периода растение не нуждается в посторонних источниках пищи: оно существует за счет запаса пищи, отложенного в белке или семядолях. Для пробуждения семени к деятельности необходимы *вода, кислород воздуха и тепло*. Когда будет истощен весь запас питательных веществ, как правило, начинается самостоятельная жизнь растения. Но теперь растение,

в отличие от периода прорастания, требует, кроме трех условий – наличия влаги, кислорода воздуха и тепла, еще обязательного наличия света (солнечной радиации). Без света дальнейшее развитие зеленого растения не происходит. Таким образом, достаточно детально изучить влияние температуры на прорастание семян и установить для нее все три кардинальных точки чисто лабораторным путем, снабдив семя достаточным количеством влаги и кислорода воздуха. В периоды жизни растения после выхода его на дневную поверхность такое лабораторное исследование встречается с рядом крупных затруднений, связанных с необходимостью создать близкое к естественной обстановке освещение. Поэтому достаточно много более или менее достоверных сведений, касающихся кардинальных температурных точек в период прорастания, и очень много данных (часто разноречивых) для других частей периода развития растений.

Усиление процессов роста при повышении температуры происходит на различных этапах органогенеза с неодинаковой скоростью. Например, скорость роста корней гороха при повышении температуры почвы от 0 до 10 °С возрастает в девять раз, тогда как в интервале температуры от 10 до 20 °С – всего в 2,5 раза. В соответствии с генетической природой вида (сорта) активный рост корней наблюдается при температурах, более низких, чем рост надземных органов того же растения [50]. Верхний температурный предел роста различных растений также варьирует в широких пределах.

Таким образом, температура является одним из основных факторов, обуславливающих рост и развитие растений и регулирующих скорость их развития.

По мнению П.И. Колоскова, при прочих благоприятных условиях «температура является главным, почти исключительным фактором, определяющим темпы развития растений. . .» В то же время температура, как и ряд других факторов внешней среды, «является фактором роста растений и накопления ими органического вещества с очень сложным и не вполне еще выявленным механизмом действия». Таким образом, «если для развития растений основной

метеорологический фактор – это температура, то рост, а следовательно, и урожай определяется комплексом многих факторов» [4].

Ведущая роль температуры в процессах развития растения, особенно в отношении скорости его развития, придается и Г.Т. Селяниновым [4]. Он определенно заявляет: «...подводя итог влиянию метеорологических факторов на скорость развития растения, необходимо установить, что подавляющее значение здесь имеет температура...»

Признавая за ведущий фактор в изменениях скорости развития температуру, необходимо помнить, что существует строгая связь между скоростью биохимических реакций (следовательно, и скоростью развития растений) и температурой тех растворов, в которых проходят эти реакции. Пока, из-за отсутствия соответствующей аппаратуры, не было возможности получить надежные и систематические данные, характеризующие действительную температуру протекания реакций в растении; при этом есть основания считать, что в различных органах и частях одного и того же растения в каждый данный момент эти реакции проходят при различных температурах. Поэтому не известно, в какой части или в каком органе растения должны регистрироваться температуры, которые определяют скорость развития всего растения в целом как единой системы, единого организма.

Приходится пока пользоваться данными температуры воздуха, в лучшем случае измеренными в непосредственной близости к растению, чаще же данными ГМС, находящейся, как правило, вне места непосредственного обитания растения. Конечно, существуют известные соотношения между температурой в растении и температурой окружающего воздуха; тождества же между ними нет и быть не может. Поэтому и связь между скоростью протекания биохимических реакций в растении и внешней температурой, а тем более температурой, измеренной не в непосредственной близости к растению, оказывается иной и, в частности, менее тесной, чем в случае использования данных температуры в тканях растений. Иным оказывается и режим других метеорологических факторов, тесно связанных с температурой воздуха. Поэтому при разработке вопросов установления количественных закономер-

ностей, связывающих скорость развития растений с температурой, нельзя ограничиться учетом только температуры. Необходимо обязательно учитывать, режим других элементов погоды, а также элементов, составляющих комплекс внешней среды.

Мощным регулятором воздействия внешних условий на растение является агротехника. При помощи ее мы имеем возможность управлять многими внешними факторами, в том числе и атмосферными. Это вносит новые, чрезвычайно существенные изменения во внешнюю среду и во взаимоотношения с ней растения. Изменяется микроклимат, появляются иные соотношения между метеорологическими условиями, в частности между температурой среды и действительной обстановкой протекания биохимических реакций. Отсюда необходимость тщательного учета агротехнических мероприятий и их роли во взаимоотношениях растения с метеорологической средой.

Менее тесна и определена связь между температурой и процессами роста растений. В отличие от скорости развития, которая зависит почти исключительно от температуры (конечно, при благоприятных сочетаниях прочих условий существования), процессы роста растения и накопления им органического вещества зависят не только от температуры. Большое и часто преобладающее значение имеют, например, условия питания и водоснабжения, и роль температуры оказывается далеко не ведущей. Кроме того, биохимические реакции в растении идут как в сторону образования органических веществ, так и в сторону их разрушения, и между этими двумя направлениями могут быть самые разнообразные соотношения. Но и здесь оценить роль температуры, выяснить количественные показатели связи между ней и процессами роста и накопления органического вещества крайне важно. Однако вопрос этот с точки зрения агрометеорологии разработан крайне слабо.

*Характеристика связи развития растений с температурой.*  
Еще в 30–60-е гг. прошлого столетия в СССР получили широкое развитие исследования скорости развития растений, позволившие агрометеорологам количественно определять суммы температур,

необходимые для прохождения основных фаз развития возделываемых культур и их сортов. В ряде публикаций И.Г. Мирошниченко (1928), А.В. Федорова (1935), Л.Н. Бабушкина (1938, 1953, 1964, 2004), А.А. Шиголева (1957), А.А. Скворцова и других ученых были изложены теоретические обоснования связи средней скорости развития растений (за весь вегетационный период или за различные межфазные периоды) с температурой среды их обитания. В основу метода определения скорости развития растений был положен постулат о том, что средняя суточная скорость развития в первом приближении находится в прямолинейной зависимости от эффективной температуры, если растение не испытывает недостатка во влаге.

Скорость развития растения – это путь, пройденный растением в своем развитии за единицу времени (вегетационный период или его часть). Авторы метода справедливо отмечают, что получаемые с его помощью показатели сумм температур, нижнего и верхнего пределов эффективных температур являются статистическими, а не биологическими показателями. Во-первых, стандартные значения средней температуры воздуха получают в психрометрической будке (на высоте 2 м), а не в среде растений, которая в процессе нарастания надземной фитомассы заметно изменяется (фитоклимат среды обитания растений). Во-вторых, все расчеты проводятся по данным среднесуточных температур воздуха, для которых характерна суточная динамика (дневной и ночной ход). В-третьих, скорость развития растения изменяется в зависимости от условий увлажнения почвы: при недостатке влаги скорость развития замедляется, при высоком уровне влагообеспеченности скорость развития возрастает.

Г.Т. Селянинов пишет: «...Вопрос заключается не в том, чтобы заменить суммы температур другим понятием, а в том, чтобы корректировать их путем учета факторов, нарушающих простую пропорциональность напряжения температуры и темпа развития растений, и выявить пределы и степень этого нарушения, т. е. перейти от приближенного интеграла к истинному» 15]. Аналогичные выводы сформулировал и профессор Л.Н. Бабушкин:

«1. Температура является одним из наиболее сильных фак-

торов, действующих на скорость развития растения, но строгой, функциональной зависимости скорости развития растения от температуры среды в естественной обстановке быть не может.

2. Отклоняющиеся случаи в основном объясняются тем, что действия температуры среды на скорость развития растения ослабляются или усиливаются другими факторами среды.

3. Анализ отклоняющихся случаев позволяет установить значение и вклад других факторов среды в процессах изменения скорости развития растения. Следовательно, необходимо установление количественных показателей связи скорости развития растения с компонентами общего комплекса факторов окружающей среды» [4].

Метод используется в оперативном режиме при составлении информации о ходе развития посевов и ожидаемых сроков наступления основных фаз развития растений, например всходов, цветения, созревания и т. п., что имеет большое значение для работников сельскохозяйственного производства. Этот метод в агрометеорологической науке и практике называется методом Скворцова – Бабушкина.

Таким образом, температура воздуха и корнеобитаемых горизонтов почвы как фактор жизнедеятельности растений является объективным показателем этапов их развития, поскольку регулирует интенсивность биохимических и физиологических процессов, протекающих в организме, а следовательно, и скорость развития растений.

Учет температурного режима, знание особенностей его формирования на сельскохозяйственных полях, в среде растений, а также в условиях регулируемого климата (теплицы, парники, оранжереи) представляет собой важное условие для получения высоких и устойчивых урожаев в растениеводстве. Кроме этого, для размещения новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур необходимы знания о потребности растений в тепле, выраженные, например, в суммах активных или эффективных температур в различные периоды их развития, в предельных условиях их минимальных и максимальных температур, обеспечивающих оптимальные условия для формирования определенного уровня

урожая. 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 прогнозов ожидаемой величины их урожайности и валового сбора. В последние годы постоянно происходит смена сортов (и гибридов) в результате целенаправленной работы селекционеров. Для поддержания современного уровня оперативного агрометеорологического обеспечения сельскохозяйственного производства необходимы агрометеорологические исследования потребностей новых сортов (и гибридов) в условиях температурного и влажностного режимов в процессе их возделывания.

### **3.4.2. Влияние температуры почвы и воздуха на рост, развитие и формирование урожая сельскохозяйственных культур**

*Влияние температуры почвы.* Температура почвы влияет на развитие растений, особенно в начальные этапы их жизни – в период формирования всходов, корневой системы, кущения посевов. Чем выше температура (до определенных значений), тем быстрее прорастают семена и формируются всходы (при достаточной влагообеспеченности). Температура почвы выше оптимума замедляет развитие семян, ухудшает условия укоренения.

Прорастание семян большинства сельскохозяйственных культур происходит при температуре 3–5 °С, а более теплолюбивым культурам (рис, хлопчатник и др.) нужна более высокая температура – 13–15 °С.

Каждая последующая фаза развития требует более высокого минимума температур по сравнению с предыдущей фазой. Если прорастание произошло при низкой температуре, то семена находятся в фазе прорастания до тех пор, пока для них не наступят благоприятные условия. При раннем севе в холодную почву развитие всходов задерживается, а корневая система продолжает развиваться. При позднем севе, когда температура нарастает быстро, ускоренно формируется надземная часть растений, а корневая система отстает в росте. Поэтому, когда нужно, чтобы хорошо развивалась корневая система (для страхования от засухи, для ис-

пользования влаги глубоких слоев почвы, при посадке раннего картофеля и др.), сев начинают рано, в холодную почву. При необходимости быстрого роста надземной части растений (при борьбе с сорняками) сев оттягивают для того, чтобы накопить влагу в почве и уничтожить проросшие перед посевом сорняки.

Температура почвы играет значительную роль в биологических и химических процессах, определяющих направление и скорость превращения питательных веществ в почве. Отмечено, что при температуре почвы 5 °С поступление азота и фосфора в растение в три раза меньше, чем при температуре 20 °С. Превращению элементов питания в почве в доступную для растений форму способствуют микроорганизмы, активность которых отмечается при температуре 5 °С и значительно возрастает с повышением температуры.

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

Оптимизация температурного режима почвы осуществляется тремя путями:

1) *изменением теплообмена между почвой и воздухом* при помощи теплоизоляционных материалов. Так, применение полиэтиленовых пленок повышает температуру поверхности почвы на 10–15 °С;

2) *изменением ее альбедо* (рыхление, снегозадержание, мульчирование, изменение цвета поверхности почвы и др.);

3) *увлажнением или осушением почвы*, вследствие чего меняется расход тепла на испарение и почва соответственно охлаждается или нагревается. Так, на орошаемых полях температура почвы ниже, чем на богарных (температура поверхности почвы понижается на 15–20 °С, на глубине 10 см – на 5–7 °С, на глубине 20 см – на 2–3 °С). На осушенных заболоченных участках температура верхних слоев почвы в летние месяцы повышена.

*Влияние температуры воздуха.* По условиям термического

режима воздуха вегетационный период растений характеризуется: 1) определенной кривой хода температур в течение вегетации; 2) уровнем температур начала и конца вегетации; 3) минимальной, максимальной и диапазоном оптимальных температур; 4) суммой температур, необходимой для всего периода, отдельных ее фаз и этапов.

Уровень средних суточных температур воздуха начала и конца вегетации неодинаков у разных растений. Весенний переход средней суточной температуры воздуха через  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  можно считать началом вегетации большинства холодостойких и озимых сельскохозяйственных культур. Период со среднесуточной температурой воздуха выше  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  для большинства сельскохозяйственных культур принято считать временем *активной вегетации*. От продолжительности этого периода и его теплообеспеченности зависят рост и развитие растений, степень их вызревания и урожайность. Период со среднесуточными температурами выше  $15$  и  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  считается наиболее благоприятным для развития теплолюбивых культур (рис, хлопчатник, табак, сахарный тростник).

Максимум температуры воздуха для протекания ряда физиологических процессов не должен превышать  $35\text{--}45\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Каждый период жизни разных групп растений характеризуется своим интервалом оптимальных температур, при которых наиболее интенсивно протекают биологические процессы.

Сумма активных температур за весь период вегетации, необходимая для оптимального развития, неодинакова для разных групп растений – от  $400\text{--}500\text{ }^{\circ}\text{C}$  для нетребовательных к теплу овощных культур в северных районах до  $5\ 000\text{--}6\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$  для тропических многолетних растений.

По суммам активных и эффективных температур выше  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  можно определить термический пояс территории (таблица 3.7).

Существенное значение для жизни растений имеет суточная амплитуда колебаний температур, а также определенное сочетание уровня температур днем и ночью (*термопериодизм*): чем больше амплитуда, тем в целом быстрее идут процессы роста и развития. Достаточно высокие температуры днем и низкие но-

чью способствуют у многих растений накоплению органических веществ.

Таблица 3.7 – Показатель термических поясов [38]

Термический пояс	Сумма активных температур выше 10 °С	Сумма эффективных температур выше 10 °С
Очень жаркий или знойный (тонковолокнистые сорта хлопчатника)	> 4 900	> 2 670
Жаркий (среднеспелые сорта хлопчатника)	4 900–4 400	2 670–2 260
Умеренно жаркий (скороспелые сорта хлопчатника)	4 400–4 000	2 260–2 020
Очень теплый (среднеспелые сорта хлопчатника)	4 000–3 500	2 020–1 645
Теплый (ранние сорта винограда)	3 500–3 100	1 645–1 410
Умеренно теплый (очень ранние сорта винограда)	3 100–2 800	1 410–1 165
Прохладный (колосовые зерновые)	2 800–1 000	1 165–0
Холодный (высокогорье)	< 1 000	0

Амплитуда суточного хода температуры воздуха является интегральным биоклиматическим показателем термопериодической реакции живых организмов, обусловленной ходом и ритмом экстремальных температур днем и ночью. Изменение освещенности часто служит первым стимулом в перестройке физиологического состояния растений, которую потом доводит до конца суточная ритмика температуры.

## ТЕМА 4. НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ ПОГОДНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

### 4.1. Неблагоприятные агрометеорологические условия в теплый период года

Величина и качество продуктивности сельскохозяйственных культур изменяется из года в год под влиянием складывающихся агрометеорологических условий и наблюдаемых явлений, от степени их благоприятности для возделываемых культур, особенно в критические периоды жизни растений. Агрометеорологические явления, наносящие серьезный ущерб растениеводству и животноводству, называют *неблагоприятными* для сельского хозяйства, и нередко по своей интенсивности, продолжительности воздействия, площади распространения или времени возникновения их относят к *опасным метеорологическим явлениям*. Опасные для сельскохозяйственного производства явления погоды (а в более широком понимании и климата) – понятия биоклиматические, поскольку они рассматриваются по реакции растений на погоду и характеризуются сопряженными агрометеорологическими и биологическими показателями. К агрометеорологическим явлениям, опасным для сельскохозяйственного производства в теплый период года относят: *заморозки, засухи, суховеи, пыльные бури, сильные ливни и град*.

#### 4.1.1. Засушливые явления

К стихийным явлениям природы, наносящим значительный экономический, экологический и социальный ущерб сельскохозяйственному производству, относятся засухи, суховеи и пыльные бури. Общая площадь, охватывающая территорию с засушливым климатом, составляет около 42 % всей суши Земли. Но эпизодические засухи наблюдаются на большей части суши. Как метеорологическое явление засуха присуща тем областям, которые характеризуются превышением испарения над естественным увлажнением. На территории России и других стран СНГ более 70 % пахотных земель расположено в зонах недостаточного и не-

устойчивого увлажнения, на которых засухи различной интенсивности и продолжительности наблюдаются едва ли не ежегодно.

Систематическое исследование природы засух начато было в России еще во второй половине XIX столетия и продолжается в настоящее время. Выдающиеся русские ученые А.И. Воейков, В.В. Докучаев, Г.Н. Высоцкий, А.А. Каминский, П.И. Колосков, Г.Т. Селянинов, Н.Н. Иванов, М.И. Будыко, А.И. Будаговский, Д.И. Шашко, Л.Н. Бабушкин и многие другие внесли значительный вклад в изучение феномена засухи и создали различные методы оценки этого явления. Широко известны исследования явления засухи, выполненные в различные годы зарубежными учеными (Koppen W., 1922; Meyer A., 1926; Reichel E., 1928; Thornthwaite C.W., 1948; Palmer W.C., 1965; и др.).

*Засуха* – это сложное природное явление, происходящее в почве и атмосфере, обусловленное циркуляционными процессами в атмосфере, с длительным отсутствием осадков, высокими температурами воздуха в сочетании с большой испаряемостью, в результате чего нарушается водный баланс и растения резко снижают свою продуктивность. Засуха представляет особую опасность, если она сочетается с неблагоприятными условиями предшествующих осени и зимы (сухая осень, малоснежная зима, глубокое промерзание почвы и др.).

Различают три типа засух: атмосферную, почвенную и атмосферно-почвенную.

*Атмосферная засуха* – длительная (многодневная, многомесячная, многолетняя) аномально сухая погода, обычно при повышенных (иногда очень высоких) температурах воздуха, с отсутствием или незначительным количеством атмосферных осадков, приводящая к истощению запасов влаги в почве и резкому снижению относительной влажности воздуха; обычно она предшествует почвенной засухе. В районах поливного земледелия обычным следствием атмосферной засухи является низкий приток воды с водосборной площади к водохранилищам, истощение их запасов, маловодье в оросительных системах и нарушение водно-солевого баланса сельскохозяйственных полей.

*Почвенная засуха* – это иссушение почвы (в первую очередь ее корнеобитаемых горизонтов), снижающее влагообеспеченность растений, вызывающее их угнетение, задержку роста, снижение продуктивности и даже гибель посевов. 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 гибели растений. Почвенная засуха является следствием атмосферной засухи, суровая при отсутствии орошения сельскохозяйственных угодий.

*Атмосферно-почвенная засуха* – сочетание условий, характеризующих атмосферную и почвенную засуху. Это наиболее опасный для сельскохозяйственных культур тип засухи. В случаях высокой интенсивности и продолжительности такой тип засухи считается опасным природным явлением.

По интенсивности различают засухи слабые, средние, сильные и очень сильные. Для количественной характеристики интенсивности засух используют различные показатели. Г.Т. Селянинов предложил использовать гидротермический коэффициент (ГТК), нашедший широкое применение в многочисленных агроклиматических и агрометеорологических исследованиях. Автор исходил из того, что сумма температур воздуха теплых месяцев, уменьшенная в 10 раз, близка к испарению с оптимально увлажненного поля и поэтому может быть принята за величину максимально возможного испарения, т. е. за испаряемость. ГТК можно рассчитать по формуле

$$ГТК = R / \Sigma t_{10} : 10,$$

где  $R$  – сумма осадков в миллиметрах за период с температурами выше  $10^{\circ}\text{C}$ ,  $\Sigma t_{10}$  – сумма активных температур в градусах за то же время.

Тогда, по Г.Т. Селяникову, северная граница степной зоны на европейской части России хорошо совпадает с изолинией ГТК = 1 (за июль – август), а северная граница зоны пустынь – с изолинией ГТК = 0,5. Например, для г. Москвы ГТК = 1,4, для г. Одессы – 0,7, для г. Ташкента – 0,1. Засушливым считается период при ГТК < 1,0, а сухим при ГТК < 0,5 (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Критерии засух различной интенсивности по ГТК Селянинова

Интенсивность засухи	Значение ГТК	Снижение урожайности зерновых культур от средней многолетней величины, %
Очень сильная засуха	0,3 и менее	Более чем на 50
Сильная засуха	0,31–0,6	На 50
Средняя засуха	0,61–0,8	На 25
Слабая засуха	0,81–1,0	На 10–15

Другими надежными критериями оценки степени засушливости, по А.И. Руденко [15], является количество выпавших осадков, количество засушливых декад и превышение нормы температуры. По определению А.И. Руденко, 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 °С. При осадках за вегетационный период 62–70 % нормы, количестве засушливых декад 3,5–4,2 и превышении температуры воздуха на 2,1–2,3 °С возникает сильная засуха. При осадках за вегетацию 69–93 % нормы, количестве засушливых декад 2,8–3,2 и положительной аномалии средней температуры на 1,1–2,2 °С формируется средняя засуха (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Критерии засух различной интенсивности (по А.И. Руденко) [15]

Засуха	Осадки за вегетационный период, %	Количество засушливых декад	Среднесуточная температура > N, °С
Очень сильная	40–50	4,5–5,4	На 1,8–3,8
Сильная	62–70	3,5–4,2	На 2,1–2,3
Средняя	69–93	2,8–3,2	На 1,1–2,2

Н.В. Бова [15] для оценки начала засушливых явлений предложил использовать формулу

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

где  $K$  – показатель засушливости;  $W_{\text{пр}}$  – запасы продуктивной влаги весной в слое 0–100 см;  $R$  – количество осадков (мм), выпавших от начала весны до даты расчета;  $\Sigma t$  – сумма среднесуточных температур от перехода через 0 °С до даты расчета.

Началом засухи считают  $K = 1,5$ , при этом начинается повреждение засухой яровой пшеницы на юго-востоке европейской части России. Таким образом, показатель засухи ( $K$ ) сочетает три основных условия для роста сельскохозяйственных культур (запасы влаги, осадки и сумма накопленных температур). Его значения возрастают при улучшении условий увлажнения и уменьшаются с ростом температуры воздуха. Однако недостатком этого показателя считается отсутствие учета уровня агротехники и увлажнения пахотного горизонта в течение вегетационного периода. По интенсивности автор разделил засухи на две категории – очень сильные и сильные.

По времени наступления засухи различают по сезонам года. *Весенняя засуха* совпадает по времени с первыми этапами роста и развития зерновых культур и характеризуется невысокими температурами и низкой влажностью воздуха, малыми запасами продуктивной влаги в почве, сухими ветрами, выносящими влагу с поверхности почвы, незначительно покрытой растениями. Продолжительная засуха весной существенно снижает урожай даже в условиях благоприятного по степени увлажнения лета. Особенно опасна для растений продолжительная весенняя засуха, развившаяся на фоне недостатка влаги в зимний и осенний периоды.

*Летняя засуха* наблюдается обычно в то время, когда у зерновых культур происходят процессы закладки и формирования генеративных органов растения – цветков – важнейших элементов продуктивности. Она отличается высокими температурами, горячими сухими ветрами (суховеи), вызывающими повышенное испарение влаги из почвенных горизонтов и интенсивную транспирацию растений. Засушливость летних месяцев, когда происходит закладка

и формирование урожая, значительно снижает урожайность сельскохозяйственных культур, образуется щуплость зерна, иногда наблюдаются явления «запала растений» и «захвата зерна».

*Осенняя засуха* характеризуется невысокими температурами воздуха и низкими запасами продуктивной влаги в корнеобитаемых горизонтах почвы. Такая засуха задерживает прорастание семян озимых посевов, замедляет осенний цикл вегетации таких культур, снижает их морозостойчивость. Наиболее опасен этот вид засухи в тех случаях, когда их всходы не успевают укорениться и пройти фазу кушения; 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 ( $> 0$  °С), 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.

По территориальному признаку засухи делят на: *локальные* с охватом территории  $\leq 10$  % от посевной площади, *обширные* (11–20 %), *весьма обширные* (21–30 %), *чрезвычайные* (31–50 %), *катастрофические* ( $> 50$  %), называемые также в зарубежной научной литературе *континентальными* [11].

**Суховей** – это ветер при высокой температуре и большом недостатке насыщения воздуха влагой, вызывающий угнетение или гибель растений. В отличие от засух суховеи, как правило, непродолжительны (от нескольких часов до нескольких суток), при них создаются условия с высокой температурой ( $> 25$  °С), низкой влажностью воздуха (менее 30 %), дефицитом влажности воздуха (20–22 гПа) и скоростью ветра не менее 5 м/с. Суховеи являются результатом локального прогревания воздушных масс, чаще всего арктического происхождения, над сильно прогретой земной поверхностью и нисходящего движения воздуха при ан-

тициклонах. Под воздействием суховея происходит интенсивное испарение с поверхности почвы, обезвоживание тканей растений в результате усиленной транспирации, вследствие чего нарушается водный баланс растений и весь комплекс физиологических процессов: фотосинтез, дыхание, углеводный и белковый обмен. Снижение фотосинтетической деятельности подавляет ростовые функции, нарушает процессы органогенеза. В конечном счете неблагоприятное воздействие суховея приводит к снижению продуктивности сельскохозяйственных культур.

Изучению суховея, их распространению, установлению критериев интенсивности этого явления посвящена обширная агрономическая, агроклиматическая и агрометеорологическая литература. Исследованием природы суховея занимались несколько поколений ученых, назовем только некоторых из них: К.С. Веселовский (1857), А. Шишкин (1873), К.А. Тимирязев (1892), А.И. Воейков (1903), Н.П. Адамов (1904), П.А. Сафонов (1908), В.О. Аскинази (1928), М.С. Кулик (1952–1957), И.Е. Бучинский (1976), С.И. Смирнова (1976) и др. Из обзора ранних работ видно, что в основу определения суховея положено сочетание различных погодных условий в 13 часов: высокая температура воздуха  $\geq 25$  °С, низкая относительная влажность воздуха  $\leq 30$  % или недостаток насыщения, равный 23 гПа (17 мм) и скорость ветра  $\geq 5$  м/с на высоте флюгера 10 м.

Наиболее полно агрометеорологическую сущность суховея и степень повреждения ими сельскохозяйственных культур выявила Е.А. Цубербиллер [62]. По ее мнению, надежным показателем суховея 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). В таблице 4.3 приведены критерии, разработанные Е.А. Цубербиллер.

Таблица 4.3 – Показатели суховеев (по Е.А. Цубербиллер) [62]

Интенсивность суховеев	Испаряемость (мм/сут.)	Дефицит упругости водяного пара (гПа) при скорости ветра 13 ч	
		< 10 м/с	>10 м/с
Слабые	3–5	15–24	10–14
Средние	5–6	25–29	> 20
Интенсивные	5–8	30–39	> 25
Очень интенсивные	> 8	> 40	> 35

Степень повреждения посевов суховеями в значительной мере зависит от *интенсивности* и *продолжительности* этого явления (обычно 1–2 недели), от *величины 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 и при засухах. Еще в 1921 г. физиолог растений В.Р. Заленский отмечал, что под воздействием суховеев листья зерновых культур быстро желтеют или, оставаясь зелеными, высыхают в течение нескольких часов. Повреждения от суховея проявляются то в полном или частичном высыхании листьев и преждевременном их опадении, то в побелении в течение одного-двух дней колосовых и цветковых чешуй, то в высыхании еще не вполне налившегося зерна. Этот автор установил, что при температуре 35...37 °С у многих растений устьичный аппарат перестает регулировать испарение, что значительно ускоряет процесс высыхания растений во время суховеев.

С 1931 г. физиологи растений стали различать два типа повреждения растений: захват и запал. *Захват* – это одна из форм повреждения зерна под влиянием суховея, при котором происходит нарушение водного баланса растений, быстрое иссушение его надземных органов (листья засыхают, сохраняя зачастую зеленый цвет). Из-за сухости воздуха нарушаются процессы опыле-

ния (происходит образование череззерницы у злаков), а завязавшееся зерно обезвоживается, сморщивается, теряя при этом свою массу и качество. Обычно захват зерна происходит в тех случаях, когда запасы продуктивной влаги в пахотном горизонте составляют  $\leq 10$  мм, а в метровом слое почвы  $\leq 50$ – $60$  мм.

*Занал* – другая форма повреждения растений чрезмерно высокими температурами воздуха, почвы, особенно в условиях засухи или суховея, в результате которых происходит сильный перегрев растений, сопровождающийся нарушением водного баланса, частичным разрушением хлорофилла. Внешними признаками ожогов надземных органов растений является их пожелтение, побеление, покраснение или появление бесцветных пятен на листьях. У хлебных злаков в таких условиях прекращается опыление (оплодотворение), а начиная с фазы молочной спелости, нарушается налив зерна, приводящий к образованию шуплости и морщинистости зерновки. Вследствие этого образуется череззерница и/или пустоколосье, снижается величина урожая зерна и резко ухудшается его качество. Зачастую эти два понятия употребляются как синонимы, поскольку в природных условиях обе формы повреждения проявляются одновременно.

Большое значение при суховеях имеют запасы почвенной влаги. При достаточных запасах влаги в корнеобитаемых слоях растения, поврежденные дневным суховеем, успевают восстанавливаться в ночные часы. Повреждения растений начинаются при значениях дефицита насыщения 20 гПа и выше и запасах влаги в слое 0–20 см менее 20 мм, в слое 0–100 см – менее 100 мм.

В качестве показателя интенсивности суховеев и степени повреждения растений Е.А. Цубербиллер [62] использовала *эвапорометрический коэффициент* ( $Kэ$ ), который выражает отношение фактического испарения с естественной поверхности поля  $Eф$  (мм) к испарению с водной поверхности  $E_0$  (испаряемости, мм):

$$Kэ = Eф / E_0.$$

Е.А. Цубербиллер и Г.В. Белухиной установлено, что при нормальном развитии зерновых культур значение  $Kэ$  в дневные часы сохраняется в пределах 0,8–1,5. При  $Kэ < 0,5$  наступают не-

большие изменения водного баланса растений, которые они могут переносить в течение пяти суток без существенных повреждений. Такое значение коэффициента соответствует характеристике *слабого суховея* и применимо к растениям, не прошедшим «закалки» к засухе. Растения, прошедшие такую «закалку», выдерживают воздействие суховея при  $Kэ = 0,4-0,3$ . Начало снижения тургора листьев у растений умеренного климата отмечают при дефиците насыщения водяного пара около 20 гПа. В таблице 4.4 представлена характеристика различных по интенсивности суховеев и степени повреждения ими растений.

От засух и суховеев необходимо отличать *засушливые явления*. Это значения отдельных гидрометеорологических (агрометеорологических) величин или их сочетаний, характеризующих различную степень временного угнетения от недостатка влаги у растений. Например, отсутствие осадков при жаркой, ветреной погоде, но при достаточных запасах влаги в почве приводит к временной потере тургора (гидростатическое давление внутри растительной клетки) в тканях растений в дневные часы. В ночные часы за счет запасов влаги в почве тургор восстанавливается. На сильно засоленных почвах (мокрые солончаки) в пустынной зоне в летнее время растения испытывают физиологическую засуху из-за высокой концентрации солей в водных растворах, влага которых оказывается недоступной даже для солеустойчивых растений. Иногда термин засушливые явления используется для характеристики климата той или иной территории, где они наблюдаются в течение какого-либо периода, являясь особенностью такой территории.

*Происхождение засух и суховеев.* Многочисленные исследования происхождения засух и суховеев показали, что их образование и развитие на территории России связано с циркуляцией атмосферы, приводящей к установлению длительного периода антициклональной погоды. Примерно в 70 % всех случаев обширный антициклон, приходящий из Арктики, формируется над европейской частью России и Западной Сибирью. В антициклонах движение воздушных масс происходит по часовой стрелке,

Таблица 4.4 – Агрометеорологические показатели суховея и степень повреждения зерновых культур (по Е.А. Цубербиллер) [62]

Суховей	$E_0$ , мм/сут.	Дефицит насыщения водяного пара (гПа) в 13 ч при скорости ветра, м/с		Запасы продуктивной влаги (мм) в различных слоях почвы		Кэ	Характеристика степени повреждения растений
		< 10	$\geq 10$	0–20	0–50		
Слабые	3–5	20–32	13–27	$\leq 20$	$\leq 50$	$\leq 80$	0,5–0,4 Легкое снижение тургора
Средней интенсивности	5–6	33–39	28–32	$\leq 10$	$\leq 30$	$\leq 50$	0,3 Значительное снижение тургора листьев, их скручивание, пожелтение, подсыхание, захват зерна через 3–5 суток
Интенсивные	6–8	40–52	33–45	$\leq 10$	–	$\leq 30$	0,2–0,1 Сильное увядание и усыхание вегетативной массы, захват зерна через 2–3 суток
Очень интенсивные	> 8	$\geq 53$	$\geq 46$	0	–	$\leq 30$	0,2–0,1 Быстрое и сильное повреждение вегетативной массы, захват зерна через 1–2 суток

Примечание:  $E_0$  – испаряемость, мм/сут.; Кэ – эвапориметрический коэффициент.

вследствие этого на южной периферии арктического антициклона ветры имеют восточное и юго-восточное направление. Поэтому на юге и юго-востоке европейской части России суховеи имеют преимущественно юго-восточное, восточное и северо-восточное направления, в Западной Сибири – юго-западное, а в республиках Центральной Азии – северное.

Арктические антициклоны, характеризующиеся низкой влажностью, малоподвижностью и высокой прозрачностью воздуха, формируют длительную, ясную или малооблачную погоду над обширной территорией. Холодный арктический воздух, проходя над континентом, быстро прогревается от более теплой земной поверхности и по мере повышения его температуры становится еще более сухим. Продвигаясь к югу, воздух до некоторой степени обогащается влагой за счет испарения почвенной влаги и транспирации растений. Однако прогревание проходит настолько интенсивно, что относительная влажность воздуха снижается, иссушение почвы усиливается и наступает воздушная, а затем и почвенная засуха. Этот процесс усиливается при поступлении «свежих» воздушных масс воздуха из тех же арктических регионов. При ослаблении атмосферной циркуляции, происходящей в мощных антициклонах, усиливаются процессы образования засух. В начале формирования засухи ночи еще прохладные, но в результате продолжающихся жарких и сухих дней становятся теплее. В дневные часы, благодаря неравномерному нагреву земной поверхности, усиливается ветер, создающий вихревые потоки (смерчи) на равнинах; возникают суховейные явления или суховеи. Таким образом, развитие засухи сопровождается обычно суховеями, ускоряющими иссушение почвенных горизонтов и увеличивающими транспирацию растений. При этом ночное выхолаживание уменьшается. В результате всех этих процессов создается резкое несоответствие между возрастающей потребностью растений во влаге и ее сокращающимся поступлением из почвенных горизонтов.

*Повторяемость засух и суховеев.* Известно, что суховейная погода формируется в подавляющем большинстве случаев в пе-

риод резко выраженной и длительной засухи. Чаще всего суховеи наблюдаются на юге Восточно-Европейской равнины, в центральных районах Прикаспийской низменности, являющихся очагами трансформации воздушных масс, что подтверждается розами суховейных ветров [11]. В Западной Сибири наибольшая повторяемость суховеев наблюдается в мае и июне: в Кулундинской степи Алтайского края, в лесостепных и степных районах Новосибирской и Омской областей. На европейской части России – в июле, в Украине – в августе.

В жарких и засушливых условиях равнинной части республик Средней (Центральной) Азии и Южного Казахстана 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 – значительно меньше (16). Наибольшее число таких дней (до 25) отмечается в июле. Повторяемость этих явлений в республиках Средней Азии наблюдается в 90–100 % лет и только в предгорных районах и в орошаемой зоне лишь в 10–55 % лет. Направления ветров при суховеях в этом регионе почти совпадают с преобладающими здесь северным и северо-восточным румбами. Для этой территории Л.Н. Бабушкин [5] предложил следующие градации оценки степени суховейности летнего периода в Средней Азии по дефициту насыщения в 13 ч (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Градация степени суховейности по величине дефицита насыщения (по Л.Н.Бабушкину) [5]

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

Высокая повторяемость засушливых явлений в условиях равнин и предгорий в Среднеазиатском регионе связана в первую очередь с режимом выпадения осадков. Основная часть осадков

выпадает в холодные месяцы года (октябрь – март), когда формируются основные запасы почвенной влаги, а в горах происходит накопление снега. В теплые месяцы года (апрель – сентябрь) в равнинной и предгорной зонах выпадение осадков наблюдается редко. В летний сухой и знойный период происходит интенсивное расходование почвенной влаги за счет процессов испарения и транспирации растительного покрова. В результате таяния снега в горах в ирригационную сеть поступает вода, обеспечивающая поливное возделывание основных сельскохозяйственных культур в регионе.

Развитие естественной растительности определяется количеством влаги, накопленной в почве в холодный период. Чем раньше истощается почвенная влага из корнеобитаемых горизонтов почвы, тем раньше наступает почвенная засуха и тем менее благоприятными оказываются условия для богарного (не поливного) земледелия и естественной растительности. В этом регионе уровень естественного увлажнения характеризуется соотношением между количеством выпавших осадков и количеством испарившейся из почвы влаги за определенный период.

Один из методов оценки естественного увлажнения территории и времени наступления почвенной засухи заключается в подекадном расчете испаряемости по формуле [5]:

$$q = 0,5 d,$$

где  $q$  – средняя испаряемость за сутки, мм;  $d$  – средний суточный дефицит влажности воздуха, мм.

За каждую декаду начиная с первых осенних дождей из суммы осадков вычитается испаряемость; получившиеся разности (осадки минус испаряемость) суммируются. Сопоставление сумм этих разностей на любое число конца зимы, весны или начала лета с абсолютными значениями запасов влаги в метровом слое почвы, определенными инструментально на сети гидрометеорологических станций, показало весьма тесную корреляционную связь:

$$W = - 0,00198 X^2 - 0,95 X + 120,$$

где  $W$  – абсолютные запасы влаги в метровом слое почвы (мм) на определенную дату;  $X$  – сумма разностей (осадки минус испаряемость) (мм) на то же число.

Расчеты по этой зависимости показали, что к моменту, когда вычисляемая последовательно с осени сумма разностей (осадки минус испаряемость) в конце весны или в начале лета подходит к нулю, в пахотном горизонте на глубине 30–40 см остается только не усвояемая растениями влага. Эта дата и принимается за время начала почвенной засухи.

#### **4.1.2. Сильные ветры и пыльные бури**

*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 (м/с или км/ч). Преобладание того или иного румба зависит от особенностей сезонной атмосферной циркуляции над конкретной территорией, а также от макро- и мезомасштабных особенностей строения рельефа местности. В условиях пересеченной и гористой местности направление ветра у земли зависит от ориентации долин и горных хребтов. Ветровой режим горных районов отличается крайней сложностью и разнообразием. Орография, т. е. описание строения горного ландшафта, конфигурация, размеры и направления хребтов значительно деформируют ветровые потоки, с чем связано формирование многочисленных местных ветров. Сильные ветры являются проявлением различного рода атмосферных вихрей, к которым относятся в порядке уменьшения их размеров циклоны, шквалы, смерчи.

Сильные ветры наносят ущерб растениям, посевам, садам и лесопосадкам. Они вызывают полегание посевов, опадение зрелых семян, зерен и плодов, усиливают транспирацию растений и испарение с поверхности почвы, что в условиях недостатка влаги приводит к увяданию и даже усыханию растений. Кроме этого, сильные ветры осложняют проведение многих видов сельскохозяйственных работ: сев, внесение удобрений и ядохимикатов, уборку урожая и т. п. Ураганный ветер производит большие опустошения на полях и в садах: сносит верхний незащищенный растениями почвенный слой, ломает ветви и стволы, особенно перегруженные плодами, а в лесах – лесоповал и бурелом. В зимнее время при

сильных ветрах, метелях происходит сдувание снега с открытых участков полей, обнажение почвы и корней озимых культур и т. п.

Для оценки силы (скорости) ветра пользуются обычно следующими критериями, значения которых несколько варьируют в зависимости от конкретных природных условий: *слабый* –  $< 4$  м/с; *умеренный* – 5–8 м/с; *средний* – 9–13 м/с; *сильный* – 14–20 м/с; *очень сильный* – 21–25 м/с; *буря, ураган* –  $\geq 26$ –30 м/с. Для сельскохозяйственного производства большое значение имеет не только скорость ветра, но его повторяемость и продолжительность.

*Пыльные бури* – это перенос большого количества взвешенных в воздухе мелких частиц почвы и грунта умеренным или сильным ветром (10–20 м/с и более) на большие расстояния, наблюдаются большей частью в засушливых областях. Пыльные бури считаются опасным природным метеорологическим явлением, наносящим сельскохозяйственному производству значительный ущерб, особенно пахотным землям, свободным от сельскохозяйственных культур и не защищенным лесными полезащитными посадками (полосами). Иногда вместе с почвой могут выдуваться и сельскохозяйственные посевы. Поднятая в воздух масса пыли резко снижает видимость.

Пыльные бури являются одним из наиболее активных факторов, разрушающих почву. Возникновению пыльных бурь способствует ряд причин, в частности такие синоптические ситуации, которые обуславливают значительные скорости ветра – 10–12 м/с и более. Высокая повторяемость пыльных бурь наблюдается в зоне пустынь и полупустынь, в степной зоне: на территории США, Китая, африканских государств, в Объединенных Арабских Эмиратах и др. Воздействию пыльных бурь подвержены многие районы степной, полупустынной и пустынной зон России и сопредельных стран СНГ, где расположено около 100 млн га пашни. Северная граница распространения пыльных бурь в основном совпадает с границей степной зоны. Наиболее часто и интенсивно воздействию пыльных бурь в России подвержена территория Северного Кавказа. Наибольшая повторяемость пыльных бурь отмечается весной, *когда* после *схода* снежного

*покрова* почва обнажается и пересыхает, а неокрепшая растительность не может предохранить почву от выдувания, немного меньше летом, значительно реже зимой.

Пыльные бури наносят трудно поправимый ущерб, поскольку на восстановление 1 см почвы в естественных условиях требуется 250–300 лет. Повторяемость пыльных бурь в различных 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 республики 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 в году с пыльными бурями достигает 15–20, а местами 25. В среднеазиатских пустынях число дней с пыльными бурями в году возрастает до 30–50 и более.

Возникновение и развитие пыльных бурь связано с длительными периодами без осадков и обусловлено комплексом метеорологических факторов, к которым относятся: сильный ветер ( $> 10$  м/с по флюгеру), иссушенность и распыленность верхнего слоя почвы, отсутствие или слабое развитие растительного покрова на полях, наличие обширных открытых пространств. Обычно пыльные бури наблюдаются при относительной влажности воздуха менее 50 %. В зимний период пыльные бури возникают при отсутствии снежного покрова и ледяных корок, при слабой цементации почвы и ее неглубоком промерзании.

В зависимости от количества пыли в воздухе различают *слабые пыльные бури* с видимостью от 2 до 10 км, *средние* – с видимостью от 1 до 2 км, *сильные* – с видимостью менее 1 км. Высота подъема пыли зависит от складывающихся синоптических условий, скорости ветра, типа и состояния поверхности почвы, степени ее покрытия растениями и варьирует от десятков метров до 1,5–2 км. Многочисленные наблюдения показывают, что основная масса твердых частиц (85–97 %) переносится ветром в самых нижних слоях воздушного потока на высоте до 10 см над

поверхностью почвы. По мере переноса пыли происходит ее сортировка: тяжелые частицы отлагаются ближе к месту их подъема, а легкие переносятся иногда на значительные расстояния.

Площадь, покрываемая пылью, поднятой бурей, зависит от мощности процесса, его продолжительности и состояния подстилающей поверхности, достигая в экстремальных случаях десятков тысяч квадратных километров. Перенесенные ветром иногда за тысячи километров от источника частицы почвы, песка, пылиобычно оседают, выпадая из воздуха, вдали от источника пылеобразования на больших площадях сельскохозяйственных посевов в объемах, исчисляемых миллионами тонн. Выпадение пыли происходит под действием силы тяжести пылеватых частиц в условиях отсутствия конденсации и осадков.

В период пыльных бурь происходит не только выдувание почвы, но и механические повреждения листьев, стеблей (побегов) растений песчинками, быстро несущимися с воздушными потоками. Это явление получило название *засекание* растений.

Предпосылкой возникновения пыльных бурь является и недостаточно продуманная деятельность человека: распашка больших массивов земель с почвами легкого механического состава без принятия противоэрозионных мер; отсутствие правильного севооборота и пр. В целом пыльные бури и связанная с ними ветровая эрозия возникают и усиливаются там, где система земледелия или ее отдельные приемы не соответствуют почвенно-климатическим условиям данного района.

*Ветровая эрозия* (или *дефляция*, от лат. deflatio – выдувание) – это процесс разрушения верхних, наиболее плодородных слоев почвы и подстилающих, коренных пород ветром, перемещения продуктов разрушения и их переотложения на других территориях. Следствием стремительного сельскохозяйственного освоения земель является рост объемов механической обработки земли, достигающий в мире более 3 тыс. км<sup>3</sup>/год (В.В. Звонков, 1963). Истощительное сельскохозяйственное землепользование в последние десятилетия выходит в число ведущих факторов деградации почвенного покрова и представляет реальную угрозу для национальной безопасности многих стран мира, в том числе и России.

В зависимости от размеров почвенных частиц различают три типа перемещения частиц: передвижение во взвешенном состоянии, волочение и сальтация. *Передвижение частиц во взвешенном состоянии* – это перемещение частиц диаметром менее 0,1 мм. Скорость падения таких частиц настолько мала, что они могут находиться во взвешенном состоянии длительное время при турбулентном (вихревом) движении воздуха. Наиболее интенсивно передвигаются частицы диаметром 0,1–0,15 мм. *Волочение* – это передвижение крупных частиц по поверхности под действием силы ветра. При этом большинство перекатываемых частиц имеет диаметр от 0,5 до 1–2 мм. *Сальтация* – это вид скачкообразного движения частиц. Путем сальтации перемещаются частицы средних размеров (от 0,05 до 0,5 мм), которые достаточно легки, чтобы подняться в воздух, но слишком тяжелы, чтобы перейти во взвешенное состояние.

Эрозионная опасность почвы определяется в первую очередь ее механическим составом: чем меньше в почве глинистых частиц, тем ветроопаснее почва. Особенно большую роль играет наличие прочных структурных почвенных агрегатов. Структурность верхнего (0–5 см) слоя почвы может служить диагностическим показателем ее ветроустойчивости. Чем выше содержание в почве гумуса, тем более связанной и ветроустойчивой является почва. Мелкозернистые легкие почвы всегда ветроопасны (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Скорости ветра, при которых начинается ветровая эрозия различных по механическому составу почв (по Л.Ф. Смирнову) [66]

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

На степень развития эрозионных процессов оказывают влияние особенности рельефа и микрорельефа местности. Выдуванию больше подвержены верхние и наветренные части склонов. Чем круче ветроударный склон, тем больше скорость ветра и сильнее разрушение почвенного покрова. Определенную роль в развитии ветровой эрозии выполняет и микрорельеф местности. На выровненной поверхности поля скорость ветра на 40 % выше, чем на невыровненной, т. к. шероховатость поверхности почвы оказывает сопротивление силе ветра. Ветровой эрозии особенно подвержены поля с выровненной зябью. На грубо взрыхленных полях выдувание почвы уменьшается. Осадки, повышая связность почвенных частиц, защищают почву от ветровой эрозии, влажность переносимой почвы составляет 5–7 %.

Основными факторами, определяющими развитие дефляции, являются *физико-географические* и *социально-экономические*. К первой группе факторов относятся климат, почвенный покров, рельеф, растительный покров. Ведущее место принадлежит ветровому режиму (направление и скорость), определяемому барическим градиентом и рельефом местности. Ко второй группе факторов относится хозяйственная деятельность людей, соответствующая уровню их социально-политического развития. Обычно ветроэрозионная погода характеризуется засушливостью – бездождем или осадками менее 5 мм в сутки, – скоростью ветра  $\geq 6$  м/с на высоте флюгера для почв с легким механическим составом и  $\geq 10$  м/с для почв с тяжелым механическим составом, а также для сухой или слабоувлажненной, но быстроподсыхающей почвы в день или накануне ветроэрозионной погоды.

Основными социально-экономическими причинами развития ветровой эрозии являются:

- нерациональная вырубка лесов, которая является мощным фактором защиты почвы и сохранения почвенной влаги;
- уничтожение травяного покрова и дерна в процессе нерегулируемого выпаса скота;
- распашка целинных территорий, подверженных эрозии, без учета климатических условий и своевременного проведения комплекса защитных мероприятий;

- освоение предгорно-горных склонов (террасирование) под сельскохозяйственные посевы без учета почвенно-климатических условий и биологических особенностей растений.

Противоэрозийная 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, лесопосадок.

### **4.1.3. Заморозки**

Исследованиями природы заморозков и их влиянием на состояние и продуктивность сельскохозяйственных культур, включая плодово-ягодные, занимались многие ученые различных специальностей – метеорологи, агрометеорологи, агроклиматологи, биологи и др. (С.А. Сапожникова, 1937–1954; Ф.Ф. Давитая, 1948; А.Ф. Чудновский, 1949; И.А. Гольцберг, 1949, 1957, 1961; И.М. Ярославцев, 1949; М.Е. Берлянд, 1963; А.И. Коровин, Е.В. Мамаев, В.М. Мокиевский, 1977, 1984; Е.К. Зоидзе и Л.И. Овчаренко, 2000 и др.).

*Заморозком* называется кратковременное понижение температуры воздуха или поверхности почвы (травостоя) до 0 °С и ниже, наблюдаемое ночью (вечером, утром) в вегетационный период на фоне положительных средних суточных температур воздуха. При заморозках на почве в метеорологических будках (стандартная высота размещения приборов 2 м) в это время может быть температура несколько выше 0 °С (до 2–3 °С).

Заморозки обычно наблюдаются весной и осенью (в северных регионах и в высокогорьях даже летом) при антициклональной 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 сель-

скохозийственные культуры, снизить или полностью уничтожить их урожаем.

Особенно опасны *поздние весенние* и *ранние осенние* заморозки, совпадающие с периодом активной вегетации растений, ограничивающие использование агроклиматических ресурсов вегетационного периода конкретной территории. Поэтому информация об интенсивности заморозков, о сроках их прекращения весной и возникновения осенью чрезвычайно важна. Эта информация также используется для оценки заморозкоопасности территории для принятия решений о размещении теплолюбивых культур, выбора сроков сева и уборки сельскохозяйственных культур, способов их защиты с целью снижения возможного ущерба от этого опасного явления природы. Заморозкам подвержены и субтропические районы, где зимние понижения температур носят характер заморозков умеренного пояса.

Заморозки различаются по интенсивности, длительности, повторяемости, по степени опасности для различных сельскохозяйственных культур, по характеру процессов, вызывающих заморозки. Наиболее детальные исследования явления заморозков на территории СНГ были выполнены И.А. Гольцберг [14].

**По интенсивности** выделяют заморозки слабые, средние и сильные. *Слабыми заморозками* считаются понижения температуры деятельной поверхности не ниже  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , когда температура воздуха при этом  $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . *При средних заморозках* температура поверхности земли опускается до  $-3\dots-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , и заморозок охватывает самые нижние, примыкающие к поверхности слои воздуха. *При сильных заморозках* температура снижается до  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  и охватывает приземный слой воздуха до высоты 1,5–2 м (именно в этом слое находится большинство возделываемых полевых культур). Применительно к плодовым культурам под заморозком понимают аналогичное снижение температуры в слое воздуха на уровне крон.

**По длительности действия** различают заморозки: *продолжительные* (более 12 ч), *средней продолжительности* (5–12 ч), *кратковременные* (менее 5 ч). Кратковременные заморозки рас-

тения переносят с меньшими повреждениями, чем продолжительные. В сомкнутых посевах повреждаются преимущественно верхние ярусы листьев и побегов.

***По характеру процессов***, вызывающих заморозки, и сопровождающих их погодных условий выделено три типа заморозков – адвективные, радиационные и адвективно-радиационные (смешанные).

*Адвективные заморозки* возникают вследствие затока, вторжения (адвекции) холодных арктических масс воздуха обычно в результате перестройки сезонной циркуляции атмосферы. При адвекции холода температура ниже 0 °С отмечается не только в приземном слое воздуха, она может распространяться до больших высот. Такие заморозки наблюдаются в начальный период весны или поздней осенью при общем низком уровне температуры, при плотной облачности и ветре. Они могут охватывать большие территории с продолжительностью несколько суток, в течение которых за счет дневных температур происходит постепенное прогревание холодных масс воздуха, обычно это 3–4 суток. Причем в начале наступления холодной волны температура ниже 0 °С может продержаться в течение суток и более. К концу периода вторжения холодного воздуха отрицательные температуры наблюдаются только в ночное время, повышаясь за счет постепенного дневного прогрева. Этот тип заморозков наименее опасен, поскольку озимые культуры еще не потеряли свою закалку холодного периода года или уже приобрели ее. Однако в отдельные годы адвективные заморозки могут осенью нанести непоправимый урон плодовым деревьям, у которых еще не завершилось сокодвижение и весной при цветении и образовании завязи плодовых культур.

При адвективных заморозках влияние рельефа местности, состояние почвы, наличие растительности, близость 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, а наименее заморозкоопасными являются вершины и верхние

части склонов, с которых охлажденный воздух стекает вниз и заменяется более теплым. Средние части склонов занимают по степени заморозкоопасности промежуточное положение, поскольку приток холодного воздуха уравнивается его стоком. Такие же условия заморозкоопасности создаются на равнинах или на обширных выровненных плато и долинах. В вогнутых формах рельефа (низины, котловины) продолжительность беззаморозкового периода заметно сокращается, а интенсивность заморозков увеличивается. На берегах крупных водоемов продолжительность беззаморозкового периода увеличивается на 25–35 суток, по сравнению с континентальными территориями.

*Радиационные заморозки* возникают в тихие ясные ночи при относительно низких среднесуточных температурах воздуха вследствие интенсивного излучения земной поверхности, охлаждения ее и прилегающего слоя воздуха до отрицательных температур. Этот тип заморозков называют в народе *утренниками*, поскольку они длятся в течение ночи, усиливаясь ко времени восхода солнца. Природа радиационных заморозков связана с охлаждением подстилающей поверхности – почвы и растительного покрова. Заморозки этого типа проявляются при ясном безоблачном небе, безветренной погоде и в первую очередь в местах, расположенных в понижениях рельефа, где создаются условия для застоя холодного воздуха. Поверхность почвы и прилегающий к ней нижний слой атмосферы в ночной период отдают тепло путем излучения. Величина отдачи энергии излучением зависит в основном от температуры поверхности почвы и в меньшей степени – от свойств самой почвы.

Следствием сильного ночного охлаждения воздуха у земной поверхности является формирование приземной *инверсии* температуры. При инверсии с высотой температура повышается в некотором слое воздуха, тогда как 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 разница может достигать 4,0–4,5 °С. Наиболее низкая температура воздуха в безветренные и ясные ночи в боль-

шинстве 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, 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 быстрой сменой температуры замерзших тканей: после восхода солнца они быстро нагреваются солнечными лучами, из клеток, поврежденных кристаллами льда, влага попадает в межклеточное пространство, быстро 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 их обычно ограничивается продолжительностью темного времени суток или немного больше, иногда до 8–12 ч. 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, нанося ущерб не только состоянию растений, но и конечному урожаю. 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 призем-

ного слоя воздуха до отрицательных температур вследствие излучения подстилающей поверхности. Заморозки подобного типа наблюдаются обычно в конце весны и даже в начале лета, а также ранней осенью в результате холодных вторжений арктического воздуха. Эти сроки совпадают с вегетационным периодом сельскохозяйственных культур, поэтому опасность нанесения ущерба посевам велика, хотя почва и растительный покров еще 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  $-2 \dots -3$  °С. Отмечаются они обычно на поверхности почвы или травостоя, но могут наблюдаться только в приземном слое воздуха. В таких случаях температура на поверхности почвы и в метеорологической будке положительна, а теплолюбивые растения повреждаются заморозком. Это так называемые «скрытые» заморозки.

Период (в сутках) между средней датой самых поздних весенних и средней датой самых ранних осенних заморозков называется *беззаморозковым* периодом. Заморозки на поверхности почвы заканчиваются весной позже, осенью начинаются раньше, чем в воздухе на уровне метеорологической будки, вследствие чего беззаморозковый период на почве оказывается короче на 20–30 суток, чем в воздухе. Время наступления и прекращения опасных для сельского хозяйства заморозков, их повторяемость, интенсивность и продолжительность зависят от географической широты и долготы, рельефа местности и наличия водных объектов.

***Географическое распространение заморозков.*** На территории России и сопредельных стран СНГ время прекращения заморозков весной и наступления их осенью от года к году весьма изменчиво. По времени наступления заморозков территорию России и сопредельных государств условно подразделяют на три зоны: 1) холодную, 2) умеренную, 3) теплую (с теплой зимой). На севере России нет четко выделенного беззаморозкового периода, разделяющего весенние и осенние заморозки, поскольку последние возможны здесь даже в летние месяцы. Холодная зона про-

стирается от северных границ государства до условной линии, отделяющей территорию со средней продолжительностью беззаморозкового периода более 85–90 суток. Умеренная зона, где размещаются основные площади земледелия, характеризуется разграничением весенних и осенних заморозков. Средняя продолжительность беззаморозкового периода изменяется от 85–90 суток на севере до 270–280 суток на юге. В северных и восточных районах этой зоны (Нечерноземная зона России, Северный и Восточный Казахстан) опасные заморозки вероятны как в начале, так и в конце сравнительно короткого вегетационного периода. В южных районах второй зоны опасные заморозки возможны лишь в начале вегетационного периода. В зоне с теплой зимой (субтропические районы) в условиях относительно теплых зимних месяцев заморозки развиваются только на фоне отдельных волн адвекции холода. В зимний период там отсутствует четкое разграничение между весенними и осенними заморозками. Продолжительность беззаморозкового периода составляет в среднем 270–300 суток [64]. Знание продолжительности беззаморозкового периода необходимо при определении возможности выращивания теплолюбивых культур на определенной территории. В пределах конкретного календарного года продолжительность беззаморозкового периода может отличаться от его средней многолетней продолжительности.

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 (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Даты первого и последнего заморозка  
и продолжительность беззаморозкового периода  
в различных областях Кыргызстана

МС, высота, м	Даты заморозка						Средняя продол- житель- ность беззamo- розкого периода, дней
	последнего			первого			
	сред- няя	самая ранняя	самая позд- няя	сред- няя	самая ран- няя	самая позд- няя	
Зона земледелия Чуйской области							
Бишкек, 756	13.04	8.03	30.05	15.10	6.09	30.11	184
Байтык, 1 579	30.04	30.03	4.06	4.10	6.09	2.11	156
Зона земледелия Таласской области							
Талас, 1 217	24.04	28.03	30.05	28.09	6.09	19.10	156
Зона земледелия Иссык-Кульской области							
Чолпон- Ата, 1 645	23.04	21.03	31.05	20.10	22.09	15.12	179
Каракол, 1 716	7.05	5.04	23.06	30.09	6.09	25.10	145
Балыкчи, 1 660	17.04	28.03	30.05	16.10	24.09	6.11	181
Зона земледелия Ошской области							
Узген, 1 012	26.03	24.02	23.04	31.10	1.10	3.12	218
Ош, 888	23.03	18.02	26.04	1.11	9.10	1.12	222

Зона земледелия Нарынской области							
Кочкорка, 1 810	25.05	8.04	3.07	30.08	11.07	21.09	96
Нарын, 2 039	30.04	7.04	9.06	30.09	3.09	25.10	152

**Влияние заморозков на сельскохозяйственные и плодовые культуры.** В зимнее время сельскохозяйственные культуры, своевременно прошедшие все стадии предзимней «закалки», выдерживают влияние весьма низких отрицательных температур. С началом вегетации все зимующие растения по мере нарастания температуры воздуха и прогрева почвы теряют закалку и становятся особенно чувствительными к резкому понижению температуры окружающей среды. Их свойства морозоустойчивости и заморозкоустойчивости исчезают.

*Заморозкоустойчивостью* называется устойчивость растений к отрицательным температурам, наблюдаемым в теплый период года. Устойчивость растений к заморозкам и степень их повреждения зависят от многих факторов. Это время наступления, интенсивность и продолжительность заморозка, вид, сорт и фаза развития растений, условия выращивания, скорость оттаивания тканей растений, поврежденных заморозком и т. п. Именно в поздний весенний, летний или ранний осенний периоды вегетации растения в процессе роста и развития утрачивают приобретенную в холодные месяцы устойчивость к низким температурам. В начальный период роста растения наиболее устойчивы к заморозкам, поскольку еще сохраняется их «закалка» к низким температурам. Напомним, что *закаливанием* растений называется процесс повышения их морозоустойчивости (холодоустойчивости) в условиях постепенного снижения температуры окружающей среды, сокращения продолжительности светового дня, когда останавливаются ростовые процессы в тканях растений. Слабые заморозки в этот период мало сказываются на будущем урожае. Поздние весенние заморозки, когда заморозкоустойчивость растений снижена или полностью потеряна, вызывают их замедленное 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.

Специалистами замечено, что степень заморозкоустойчивости культур в определенной мере 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 не только с закаливающим, адаптационным действием пониженных температур, но и влиянием амплитуды 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. Например, азотные удобрения снижают устойчивость к заморозкам у большинства сельскохозяйственных культур, но у бобовых – повышают. Обильное калийное питание повышает устойчивость гречихи и картофеля, но снижает ее у кукурузы и сои, например.

Большая работа по определению низких температур, повреждающих сельскохозяйственные культуры в полевых условиях во время заморозков, была выполнена в бывшем Агрогидрометеорологическом институте под руководством профессора Г.Т. Селянинова на агрометеорологических станциях в различных почвенно-климатических зонах СНГ. В.Н. Степановым [15] была составлена сводка по устойчивости 49 сельскохозяйственных культур к заморозкам в разные фазы их развития. При этом автор учитывал общее состояние растений, режим питания, уровень «закалки», условия предшествующей погоды, влажность почвы и т. п. На основании многолетних наблюдений им было выделено пять основных экологических групп полевых культур по степени устойчивости к заморозкам их вегетативных и генеративных

органов при средней продолжительности заморозков 5–6 ч и в зависимости от микроклиматических условий окружающей среды (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Основные экологические группы сельскохозяйственных культур по степени устойчивости к заморозкам и критические температуры воздуха (°С) в различные фазы их развития (по В.Н. Степанову) [15]

Культура	Начало повреждения и частичная гибель, °С		
	всходы	цветение	созревание
Наиболее устойчивые к заморозкам			
Яровая пшеница	–9...–10	–1...–2	–2...–4
Овес	–8...–9	–1...–2	–2...–4
Ячмень	–7...–8	–1...–2	–2...–4
Горох	–7...–8	–3	–3...–4
Устойчивые к заморозкам			
Подсолнечник	–5...–6	–2...–3	–2...–3
Лен, конопля	–5...–7	–1...–2	–2...–4
Сахарная свекла, морковь	–6...–7	–2...–3	–
Среднеустойчивые к заморозкам			
Соя	–3...–4	–2	–2...–3
Редис	–4...–5	–	–
Малоустойчивые к заморозкам			
Кукуруза	–2...–3	–1...–2	–2...–3
Просо, сорго, карто- фель	–2...–3	–1...–2	–1...–2
Неустойчивые к заморозкам			
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

Температура, ниже которой растения повреждаются или гибнут, называется *критической*. Уровень критической температуры различен для основных сельскохозяйственных культур в разные фазы их развития. Как видно из данных таблицы 4.8, генеративные органы значительно чувствительнее к заморозкам и повреждаются слабыми, кратковременными понижениями температуры воздуха от 0 до -2 °С. По этой причине автор не считал возможным выделять группы растений по их устойчивости к заморозкам в фазу цветения. Из данных таблицы видно, что растения всех пяти групп наиболее *устойчивы* к заморозкам в период *всходов и созревания* и наиболее *уязвимы* в период *цветения*.

Для плодовых и ягодных культур заморозки особенно опасны в период цветения и образования завязей. Критические температуры повреждения различных частей растений некоторых плодово-ягодных культур показаны в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Критические температуры повреждения различных частей растений некоторых плодово-ягодных культур (по разным источникам)

Культура	Часть растения, поврежденная заморозком	Критическая температура, °С
Лимон	Дерево полностью	-9...-10
	Крона	-7...-8
	Листва	-6
Апельсин	Дерево полностью	-10...-11
	Крона	-8...-9
	Листва	-7
Мандарин	Дерево полностью	-12
	Крона	-10
	Листва	-8
Виноград	Распустившиеся почки	-1
	Цветки	0

Яблоня, груша, вишня, слива	Закрытые бутоны	-4
	Цветки	-2
Черешня	Бутоны и цветки	-2
	Плодовые завязи	-1
Абрикос, персик	Закрытые бутоны	-2
	Цветки	-3
	Плодовые завязи	-1
Малина, клубника	Цветки и завязи	-2

Широко используемое в агрометеорологии понятие критической температуры растений, при которой происходит их гибель, впервые было выявлено П.И. Броуновым в конце XIX столетия. В более широком понимании это явление обобщено в законе критических периодов в жизни растений. В основу закона положено понятие «критический период» – временной промежуток биологического цикла (обычно вегетационного периода), в течение которого растениям присуща максимальная чувствительность к фактору, находящемуся в минимуме, например почвенная засуха в фазы кущения, выхода в трубку или молочно-восковой спелости зерна у злаков. Эти понятия опираются на экспериментально установленные количественные параметры окружающей среды, к которым растения особо чувствительны в отдельные периоды онтогенеза (солнечная радиация, продолжительность светового дня, температурный и влажностный режимы и т. п.). Например, для большинства сортов озимой пшеницы критическая температура почвы зимой на глубине узла кущения колеблется от -14 до -20 °С в зависимости от условий «закалки», 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 до утраты «закалки». Отдельные части растений имеют различную морозоустойчивость, поэтому характер повреждения растения определяется интенсивностью заморозка.

*Методы прогноза заморозков.* Известно, что заморозки наносят значительный ущерб сельскохозяйственному производству.

Для обеспечения эффективной защиты сельскохозяйственных растений от заморозков необходимо надежное их предсказание, или прогноз. Исследователи давно отметили определенное сходство в условиях погоды, наблюдаемых при заморозках: это незначительная облачность или ее отсутствие, слабый ветер или штиль, низкая влажность воздуха и почвы.

Возникновение заморозков определяется совокупностью ряда факторов, в том числе основных: 1) климатогеографического, 2) физико-метеорологического и 3) биологического [63].

1. *Климатогеографический фактор*. Это влияние на явление заморозка географического положения местности (широта, долгота и высота над уровнем моря), а следовательно, и климата. Географические координаты и климат – это внешний фон, основная среда, в которой протекают процессы образования заморозка: интенсивность солнечной радиации, характер основных, сезонных синоптических процессов, макрорельеф местности, зональный тип почв и т. п.

2. *Физико-метеорологический фактор*. Влияние местных условий – погоды, почвы, мезорельефа и других. Эти факторы определяются при анализе местных аэро- и термодинамических условий приземного слоя воздуха над конкретной подстилающей поверхностью, облачности, скорости ветра, температуры и влажности воздуха, высоты солнца над горизонтом, а также учета свойств поверхности – тепловых и структурных характеристик почвы, ее влажности, степени покрытия ее растительностью и др.

3. *Биологический фактор* характеризуется природой растения, отражающей особенности живой ткани и биологических процессов, протекающих в надземных и подземных органах, т. е. должна учитываться степень морозо- и заморозкоустойчивости конкретных видов и сортов возделываемых культур.

Таким образом, для глубокого исследования природы заморозков и составления научно обоснованного прогноза его возникновения агрометеорологу необходимы достаточные познания в области биологии и физиологии растений, метеорологии (термо-, аэродинамика, синоптика), в области почвоведения, физики и математики.

Своевременное предупреждение о сроках наступления и ожидаемой интенсивности заморозков способствует снижению ущерба, а в отдельных случаях позволяет избежать их тяжелых последствий для растениеводства. Для предупреждения наступления заморозков разработаны различные методы их расчета и прогноза. Вторжение холодных масс воздуха, обуславливающих адвективные и адвективно-радиационные заморозки на больших территориях, достаточно надежно прогнозируются синоптиками с заблаговременностью 1–3 суток. Выше отмечалось, что в зависимости от местных условий интенсивность заморозков может быть различной (рельеф, крупные водные объекты, лесные массивы и т. п.). Поэтому агрометеоролог, знающий местные условия, должен уточнить синоптический прогноз для своей территории. Большое распространение в расчетах возникновения заморозков получили наиболее простые эмпирические методы, использующие данные показаний сухого и смоченного термометра, расчета точки росы, суточной амплитуды, а также графические и комбинированные методы. Авторами этих методов являются многие отечественные и зарубежные ученые: М.Е. Берлянд, В.А. Михельсон, П.И. Броунов, А.Ф. Чудновский и др. Все эти методы определяют искомый ночной температурный минимум с помощью измеренных накануне вечером или ночью температуры и влажности воздуха. Коэффициенты, используемые в таких методах, устанавливаются путем статистической обработки массовых материалов наблюдений над заморозками и сопутствующими им метеорологическими элементами, выполненных для конкретных территорий и месяцев года.

#### **4.1.4. Сильные ливневые дожди, переувлажнение почвы, водная эрозия, градобития**

*Сильные ливневые дожди.* Ливневые дожди выпадают из кучево-дождевых облаков и охватывают, как правило, небольшие площади. Сумма осадков и число дней с осадками за декаду, месяц, сезон, год являются климатическими показателями. Суточный максимум ливневых осадков в годовом ходе повсеместно приходится на теплый период года, поэтому они могут нанести значительный

урон состоянию сельскохозяйственных культур. Для роста, развития и формирования урожайности естественной растительности и неорошаемых сельскохозяйственных культур большое значение имеет не только количество осадков, но и распределение их по сезонам года, по месяцам, по интенсивности выпадения.

*Интенсивность осадков* – это количество осадков, выпадающих за единицу времени; расчеты обычно проводятся за 1 минуту. Средняя суточная интенсивность осадков за какой-либо выбранный промежуток времени вычисляется как среднее количество осадков, выпавшее в день с осадками. Как правило, наибольшую интенсивность имеют короткие ливневые дожди. Согласно данным [65] на Евразийском континенте 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 Черноморском побережье Кавказа 245–260 мм, на юго-западе Украины 210 мм, в центре России 120 мм; в Кыргызстане 70–90 мм. Для сравнения: наибольшие суточные максимумы в тропических регионах (Индия, Филиппины) превышают 1 000 мм. Напомним, что 1 мм осадков равен 10 т воды на 1 га.

Воздействие дождей на растения может быть как положительным, так и отрицательным в зависимости от степени развития растений, их состояния, а также от интенсивности и продолжительности самих дождей. Например, непродолжительные дожди благоприятны перед и в течение двух недель после цветения подсолнечника, плодовых культур, винограда. Они обуславливают формирование нормальной зерновки и крупной корзинки у подсолнечника, хорошей завязи у плодовых и винограда. Дожди предохраняют от перегрева, пополняют запасы влаги в почве в этот период. Однако дальнейшее выпадение обильных дождей в сочетании с ветром вызывает механические повреждения деревьев а также опадение завязи и сформировавшихся плодов.

Наиболее опасны частые сильные дожди в период цветения всех сельскохозяйственных культур, они обуславливают смыв пыльцы, ухудшают условия опыления, вызывают опадение цветков и завязи. Ливневые дожди в период сева хлопчатника обуславливают образование почвенной корки, мешающей выходу проростков семян на поверхность. Почвенные корки в основном образуются на глинистых и суглинистых почвах, их толщина 3 мм и более приводит к пересеву культуры.

Продолжительные дожди в период созревания хлебов в условиях высокой влажности воздуха и значительных запасов влаги в почве (более 125 мм в метровом слое) приводят к стеканию зерна. *Стекание (экзосмос) зерна* при очень влажной и теплой погоде в период налива и созревания происходит вследствие большого расхода сухих веществ на дыхание и прямого вымывания питательных веществ дождями. Установлено, что под воздействием дождей масса зерна может снижаться на 16–48 % в зависимости от спелости зерна. Под воздействием дождей идет экзосмос сахара, гидролитический распад крахмала и отток пластических веществ, о чем свидетельствует наличие сахара в стекающей с колосков воде.

***Переувлажнение почвы.*** Нередко сельскохозяйственное производство страдает от переувлажнения почвы, которое связано не только с преобладанием количества осадков над величиной испарения, но и с особенностями почвенного покрова, строением рельефа и других причин.

Для многих равнинных районов характерно неглубокое залегание грунтовых вод, т. е. первого от поверхности земли постоянного безнапорного водоносного горизонта, залегающего обычно не ниже 2–3 м от поверхности. Верхние слои (30–40 см) преобладающих в этой зоне дерново-подзолистых почв, как правило, хорошо водопроницаемы. Ниже залегают более плотные суглинистые и глинистые слои, через которые вода просачивается медленно. Таким образом, вода обильных весенних дождей задерживается плотными слоями почвы и формирует временный водоносный горизонт, а влажность верхних слоев почвы достига-

ет полной влагоемкости. Это явление называется *почвенной верховодкой*. В подзолистых почвах супесчаного состава верховодка обычно не образуется. В отличие от других типов почв (черноземы, серые лесные и др.), дерново-подзолистые и подзолистые почвы могут быть переувлажнены в течение длительных периодов, особенно на ровных и пониженных местах.

Со склонов возвышенностей верховодка быстро стекает, образуя так называемый внутрипочвенный сток. При этом происходит частичное вымывание питательных веществ, в том числе и вносимых на поля удобрений, а также ядохимикатов, попадающих в почву при подавлении вредителей сельскохозяйственных культур и сорняков. Для уменьшения вредного влияния верховодки на пашне проводят специальные агротехнические мероприятия: *гребневание* и *щелевание* почвы.

Опасным агрометеорологическим явлением для сельскохозяйственных культур является *длительное переувлажнение* почвы, наблюдаемое при среднем содержании влаги более 60–80 % полной влагоемкости в слое почвы 30–50 см в период вегетации посевов. В качестве критерия переувлажнения, приводящего к *вымоканию* посевов, ограничению или невозможности проведения полевых работ, считаются условия, когда в вегетационный период возделываемой культуры и в период ее уборки почва на глубине 10–12 см при визуальной оценке увлажненности характеризуется липким и текучим состояниями не менее 20 дней подряд. В отдельные дни (не более 25 % продолжительности периода) допускается переход в мягкопластичное состояние. На тяжелосуглинистых почвах потери урожая в результате переувлажнения почвы могут достигать для картофеля 56–84 %, зерновых культур 32–48 %, многолетних трав 24–36 %. Особенно отрицательное влияние переувлажнения почвы сказывается на урожае сельскохозяйственных культур в период их уборки. При затяжных дождях (4–5 суток подряд) потери урожая зерновых культур достигают 40–65 %. Значительные потери урожая и ухудшение качества зерна отмечаются при прорастании необранного зерна (в валках и на корню). Зерно начинает прорасти после истечения периода покоя

семян при влажности 30–32 % и температуре воздуха 5–14 °С. При прорастании в течение 7–8 суток зерно полностью теряет семенные качества, а потери массы зерна достигают 25–30 %. Если дожди продолжают более четырех суток подряд или с небольшими перерывами, не дающими просохнуть валкам, то зерно прорастает не только внутри валка, но и снаружи. При дефиците влажности воздуха ниже 4 гПа и накоплении суммы температур выше 5 °С, равной 14 °С, зерно наклеивается; при накоплении суммы равной 25–30 °С, начинается интенсивное прорастание зерна в валках. В условиях более теплой и влажной погоды, при накоплении суммы равной 45–50 °С, проростки зерна достигают 5–7 см.

*Полегание посевов.* Интенсивные ливневые дожди и сильные ветры нередко вызывают полегание зерновых культур на 20–30 % посевных площадей, а в отдельные годы – на 80 %. *Полегание* – это потеря растениями нормального прямостоячего положения. Полегание зерновых культур, вызванное влиянием неблагоприятных условий погоды, приводит к значительным потерям урожайности и урожая (до 20–30 %), связанным с неполноценным наливом зерна и потерями зерна при уборке. Работа уборочных агрегатов на полеглых посевах чрезвычайно затрудняется, их производительность снижается на 25–50 %, что приводит к затягиванию уборочного процесса. В зависимости от сроков полегания биологические потери изменяются в среднем от 5–10 до 40 %. Полегание зерновых культур под влиянием непогоды наблюдается весьма часто: озимая пшеница в 3–4 годах за десятилетие, ячмень в 4–5 и рожь в 5–7 лет.

В посевах зерновых культур различают стеблевое и корневое полегание. *Стеблевое полегание* наблюдается при сильно загущенных посевах, при чрезмерном азотном питании, при обильном орошении, при грибковых заболеваниях и развитии вьющихся сорняков. *Корневое полегание* происходит при избытке влаги в почве, вследствие разжижения почвы и потери растением опоры. Оба эти вида полегания связаны с воздействием интенсивных ливневых осадков, проходящих обычно с сильными порывами ветра, иногда с градом. Под динамическим воздей-

ствием ветрового напора и капель дождя стеблестой в той или иной мере наклоняется к поверхности почвы и не возвращается в вертикальное положение после прекращения таких воздействий. По существу, полегание посевов – это результат разового воздействия неблагоприятных гидрометеорологических условий. Однако потенциальное полегание посевов зависит от комплекса предшествующих агрометеорологических условий и биологического состояния самих растений.

Наиболее сильное (после осадков) влияние на полегание зерновых культур оказывает ветер со скоростью не менее 3–4 м/с. Однако в условиях сухой погоды или при морозящих осадках, не сопровождаемых ветрами, полегания посевов не наблюдается. Из показателей состояния стеблестоя наибольшее влияние на устойчивость растений оказывают высота и густота стеблестоя на единице площади.

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 продолжительности «лежкости» картофеля в холодное полугодие. При этом клубни картофеля в процессе хранения быстро темнеют и портятся.

**Водная эрозия почв.** В равнинных условиях сильные ливни ( $\geq 30$  мм/сут.) могут вызвать формирование дождевых паводков, следствием которых становятся наводнения и развитие оврагов; в предгорных и горных районах при длительных и обильных осадках образуются селевые потоки, оползни и активная водная эрозия почв.

*Водной эрозией* называется процесс разрушения верхних, наиболее плодородных слоев почвы и подстилающих пород дождевыми и тальными водами, перемещение продуктов разрушения и их переотложение. Различают плоскостную и линейную водную эрозию. К *плоскостной эрозии* относится смыв частиц почвы и рыхлых пород, происходящий более или менее равномерно на больших площадях. *Линейной эрозией* называется размыв поверхности,

приводящий к образованию ложбин, оврагов и т. п. Эти виды водной эрозии являются естественным процессом, происходящим повсюду, где наблюдается поверхностный сток воды [49].

Интенсивность процессов водной эрозии зависит от комплекса внешних и внутренних факторов. К внешним факторам относятся: количество и интенсивность дождевых осадков, распределение снежного покрова и интенсивность снеготаяния; наклон поверхности, экспозиция склона и его протяженность перпендикулярно высотным горизонталям; состав и плотность растительного покрова, характер землепользования. Внутренними факторами являются особенности почвенного и подпочвенного горизонтов: механический состав, водно-физические и химические свойства. Из всех перечисленных факторов только состав растительного покрова и система землепользования могут полностью регулироваться человеком; некоторые факторы регулируются опосредованно, например террасирование склонов, снегозадержание, внесение органических удобрений и т. п.

**Градобитие и противоградовая защита сельскохозяйственных угодий.** К числу стихийных, природных гидрометеорологических явлений относится град, представляющий собой 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 и повреждение их, называемое *градобитием*, может нанести значительный и даже непоправимый урон. Известны случаи, когда градобитием были уничтожены сотни тысяч гектаров сельскохозяйственных угодий на Северном Кавказе, в Украине, в Молдавии, Грузии, Узбекистане, Таджикистане, Крыму, Прикарпатье и в других регионах.

Обычно величина градин варьирует от нескольких миллиметров до 2–5 см, редко – крупнее. Например, в горных долинах Таджикистана и Узбекистана зафиксированы градины, достигающие в диаметре 120–130 мм. Одним из ярких примеров интенсивного градового процесса стало градобитие, произо-

шедшее 6 мая 1966 г. в восточной части Гиссарской долины, в Таджикистане. Отдельные градины в виде бесформенных ледяных глыб, состоявшие из «сросшихся» градин различных размеров, достигали массы более 700 г (при диаметре 110–120 мм). Значительный слой града (более 30 см), скопившийся в сухих арыках (мелких оросительных каналах) и углублениях в почве, сохранялся в течение недели при высоких дневных температурах воздуха. Выпавший град нанес колоссальный материальный ущерб: были оголены поля и сады, погибло большое количество скота, сильно пострадали местные сельские постройки [9].

Ущерб, наносимый сельскохозяйственным посевам и плантациям, зависит не только от размеров градин, но и от частоты их выпадения на единицу площади и продолжительности выпадения града. Особенно интенсивные и часто повторяющиеся градобития отмечаются в предгорных и горных районах. Там в летние жаркие дни возникают мощные восходящие потоки (орографическая конвекция) за счет большой неравномерности в нагревании различно экспонированных склонов, а также благодаря горно-долинной циркуляции воздуха. Другой причиной развития градовых процессов является смещение фронтальных холодных и теплых (местных) масс воздуха. Град образуется при сильных, теплых, восходящих потоках воздуха (конвекция) в средней части облака (выше 5 км) со скоростью 15–20 м/с, при развитии мощных внутримассовых или фронтальных кучево-дождевых облаков, высота которых достигает 12–16 км, а вертикальная протяженность облака – 3 км и более. В таких облаках возникает зона повышенной влажности (20–30 г/м<sup>3</sup>). При температуре на верхней границе облака –20...–25 °С крупные капли, поднятые восходящими потоками воздуха, замерзают и образуют зародыши градин. Зародыши быстро увеличиваются при слиянии с другими переохлажденными каплями, поступающими с восходящими потоками воздуха. Та 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, как правило, небольшой продолжительностью – 5–10 мин, редко – более длительное время. Скорость падения градин, определяющая их кинетическую энергию, как и для других частиц выпадающих осадков, определяется двумя составляющими: вертикальной, обусловленной гравитационными силами, и горизонтальной, обусловленной ветром. Вертикальная составляющая скорости выпадения градин зависит от их формы, размера и плотности. Из-за большой скорости выпадения градин ( $> 10$  м/с) относительное влияние ветра на кинетическую энергию градин меньше, чем на частицы других видов осадков.

Ущерб, наносимый растениям выпадающим градом, зависит от размера, формы и массы градин. Различные виды растений, их органы и фазы развития неодинаково выдерживают падение на них градин. Например, цветы плодовых культур разрушаются даже от ударов крупных капель дождя, а крупные одревесневшие побеги (ветки) и стволы деревьев выдерживают выпадение более крупных градин. Однако катастрофические градобития, подобные описанному выше (Гиссарская долина, Таджикистан), поражают даже многолетние деревья и виноградники: на земле оказываются ветви диаметром до 7–8 см, срезанные падающими «кусками» льда. Естественно, что посевы однолетних культур, особенно в начальные фазы их развития, наиболее чувствительны к градобитиям даже невысокой интенсивности и продолжительности.

По многочисленным материалам наблюдений установлено [34], что при сильном градобитии посевов хлопчатника происходит отставание в развитии восстановленных растений на 10–70 суток в зависимости от даты повреждения. При сильных механических повреждениях выпадающим градом урожайность хлопчатника снижается на 19–97 % в зависимости от даты повреждения (т. е. от фазы развития растений). Градобития, прошедшие в ранние фазы развития растений, вызывают снижение урожайности хлопка-сырца на 24–44 %. При этом значительно снижается и качество хлопка-сырца, семян и волокна от одной коробочки (на 15–42 %).

Степень повреждения растений принято определять по двум параметрам града: количеству выпавших частиц с диаметром выше критического и суммарной кинетической энергии выпадающих градин. Оба параметра рассчитываются для единицы площади горизонтальной поверхности (обычно  $1 \text{ м}^2$ ).

Было установлено, что для всех случаев критический размер градин равен  $6,4 \text{ мм}$ , и степень повреждения растений предложено считать функцией числа градин, имеющих размер выше критического. Степень повреждения сельскохозяйственных культур градом определяется суммарной энергией градин, видом культуры, фазой развития растений. Например, для пшеницы в фазе молочно-восковой спелости при общей энергии за время выпадения града менее  $10 \text{ Дж/м}^2$  повреждений не наблюдается. При  $U = 50 \text{ Дж/м}^2$  степень повреждения растений достигает  $25 \%$ , а при  $U > 450 \text{ Дж/м}^2$  гибнет весь урожай. Максимальные значения энергии за время одного градобития могут достигать величины  $2 \cdot 10^3$  и даже  $2 \cdot 10^4 \text{ Дж/м}^2$ .

Град выпадает обычно полосами: от сотен метров до  $3\text{--}5 \text{ км}$  шириной и  $15\text{--}20 \text{ км}$  длиной, и только при мощном развитии градовых процессов зона градобития измеряется десятками километров. Продолжительность выпадения града в  $80\text{--}90 \%$  случаев не превышает  $15 \text{ мин}$ . В суточном ходе град чаще наблюдается в дневные часы: в интервале от  $12$  до  $20 \text{ ч}$  отмечено около  $90 \%$  всех случаев выпадений града. Однако только в  $35 \%$  случаев отмечались градобития различной интенсивности. На территории центральноазиатских (среднеазиатских) государств повышение активности грозово-градовых процессов происходит за счет орорафии: от пустынь к предгорным и далее горно-долинным и высокогорным районам наблюдается увеличение повторяемости градовых явлений. Так, если общее число дней с градом в пустынных районах составляет от  $3\text{--}4$  до  $7\text{--}10$ , то в предгорных районах оно увеличивается до  $44\text{--}56$ , в горно-долинных – до  $70\text{--}100$ , а в очаговых районах формирования града – до  $229$  дней и более [9].

Ежегодно градобития наносят сельскохозяйственному производству огромный ущерб, в суммарном исчислении достигающий,

по данным ВМО, 2,0 млрд долларов (США). Исследования по разработке методов борьбы с градом были начаты в СССР в конце 50-х годов XX века по инициативе академика Е.К. Федорова (1967). С целью уменьшения размеров ущерба от градобития в России, ряде стран СНГ и дальнего зарубежья разработаны и применяются различные способы воздействия на градовые процессы. Эти способы называются активными воздействиями на градовые облака. Группой ученых (Г.К. Сулаквелидзе, Г.М. Зайцевой и др.) была разработана термодинамическая модель градового облака, в которой наряду с макропроцессами, приводящими к развитию конвективных потоков, рассматривались и микрофизические процессы, происходящие в облаке. Идея активного воздействия основана на создании дополнительных (конкурирующих) ядер кристаллизации в облаке путем внесения в него реагентов: йодистых солей серебра ( $\text{AgI}$ ), свинца ( $\text{PbI}_2$ ) или обычной кристаллической углекислоты ( $\text{CO}_2$ ). В итоге осадки из градового облака выпадают в виде дождя или мелкого града, как правило не опасного для сельскохозяйственных культур и животных. Опытные работы дали весьма оптимистические результаты.

В начале 60-х годов эти методы получили практическое применение в Грузии, а затем на Северном Кавказе, в Закавказье, Молдавии, на Украине и в республиках Средней Азии [34]. Для организации систематической защиты от градобитий в республиканских и территориальных управлениях гидрометеорологических служб, на территории которых происходили частые и интенсивные градобития посевов и плантаций, были созданы противоградовые экспедиции, реорганизованные впоследствии в специализированные противоградовые службы, финансируемые за счет средств республиканских министерств сельского хозяйства. Они были оснащены специальными радиолокационными станциями, ракетно-артиллерийскими комплексами, средствами связи, другим необходимым оборудованием и техникой, а также высококвалифицированными специалистами. Противоградовые работы проводятся с целью предотвращения потерь продукции сельского хозяйства от градобитий, поэтому целесо-

образность проведения таких дорогостоящих работ определяется стоимостью сохраненного урожая на защищаемой территории в течение градоопасного сезона.

## **4.2. Неблагоприятные агрометеорологические условия в холодный период года**

### **4.2.1. Понятия морозо-, зимо- и холодостойкости**

Холодный период года является периодом покоя для зимующих культур – зерновых, многолетних трав, плодовых и ягодных. Рост их прекращается осенью при устойчивом переходе средней суточной температуры воздуха через 5 °С, а весной вегетация возобновляется при наступлении этой же температуры. Таким образом, холодный период разделяет между собой два цикла развития зимующих культур: осенний и весенне-летний. Урожай их зависит от агрометеорологических условий не только теплого, но и холодного времени года. Во многих случаях именно условия перезимовки растений определяют урожайность культур.

Особое значение в хлебном балансе любой страны имеют озимые зерновые культуры: пшеница, рожь, ячмень. Они дают более трети валового сбора зерна. Во многих районах страны озимые составляют свыше 50 % всех посевов зерновых культур. По урожайности озимые, особенно озимая пшеница, превосходят многие яровые зерновые культуры. Такая высокая урожайность озимых обусловлена как рядом биологических особенностей, так и агрометеорологическими условиями их возделывания.

Основной биологической особенностью озимых культур является то, что они в результате длительного возделывания в районах с суровыми климатическими условиями развились в своеобразные двулетние растения. Имея более длительный по сравнению с яровыми вегетационный период, озимые могут полнее использовать солнечную радиацию, тепло и влагу, а также питательные вещества для создания более высокого урожая, чем многие яровые зерновые.

Второй особенностью озимых является их способность к усиленному осеннему и ранневесеннему кущению, образова-

нию новых побегов, корней. По сравнению с яровыми зерновыми, имеющими средний коэффициент кущения 1,2–1,3, озимые дают в среднем 3–5 побегов в кусте. Сильное кущение озимых растений объясняется тем, что они на понижающемся осенью термическом фоне могут использовать усвояемые питательные вещества, а также запасы почвенной влаги на образование новых побегов. Кроме того, большое кущение озимых является также исторически сложившимся биологическим приспособлением, закрепленным наследственностью.

Третьей важной особенностью озимых является их способность формировать значительно более крупные колосья. Формирование плодовых органов будущего урожая (зачаточного колоса) у озимых начинается еще в фазе кущения, как правило, сразу после начала весенней вегетации, при обычно достаточных весенних запасах влаги в почве и умеренных температурах воздуха и почвы. В отличие от озимых, у яровых этот период наступает значительно позднее – в конце весны и в начале лета, при более высоких температурах воздуха и почвы и меньших запасах влаги, а нередко и в условиях засушливой погоды мая и июня.

Четвертой особенностью озимых является их скороспелость, способность созревать раньше других зерновых культур, хорошо используя при этом даже небольшие летние осадки для налива зерна. Засушливая погода первой половины лета может существенно сказаться на развитии и урожае ранних яровых культур, в то время как на озимые она влияет в меньшей степени. В это время озимые легче переносят засуху, чем яровые.

Решающее значение для озимых имеют осадки осени и зимы, в то время как для ранних яровых хлебов осадки первой половины лета, а для поздних яровых – осадки второй половины лета. Поскольку зимние осадки могут быть сохранены и увеличены на полях путем снегозадержания, зависимость озимых от летних осадков значительно меньше, чем для других культур.

Наконец, продуктивность озимых во многом зависит от условий погоды во время перезимовки, а также от зимостойкости растений, этой важной их биологической особенностью. Если зи-

мующие культуры нормально перезимовали, они в подавляющем числе лет дают высокий урожай. В годы же с плохой перезимовкой растений урожай их резко снижается, а иногда посевы полностью гибнут.

В течение вегетационного периода одно- и двулетние растения периодически подвергаются воздействию низких температур. Многолетние растения исторически более приспособлены к переживанию холодных сезонов, в течение которых их физиологические процессы практически заторможены и протекают крайне медленно. Хорошо известно, что разные растения (роды, виды, сорта) обладают неодинаковой устойчивостью к воздействиям холодной погоды. Даже у одного и того же растения уровень морозостойкости меняется в зависимости от фазы его развития, условий, предшествующих наступлению похолодания или заморозков.

*Зимостойкость* растений – биологическое свойство зимующих растений противостоять комплексу неблагоприятных условий погоды в холодное время года, таким как: морозы, выпревание, выпирание, вымокание, ледяная корка, выдувание, высыхание и др. Зимостойкость растений является результатом их длительного исторического развития в определенных физико-географических условиях, она может быть также следствием селекционной работы. Зимостойкость растений неодинакова и зависит от их вида и климатических условий той или иной географической зоны. В северных и континентальных районах она выше, в южных и приморских – ниже. Так, кедр сибирский (кедровая сосна) переносит морозы ниже  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а лимон не переносит температуры воздуха ниже  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Сорта озимой пшеницы, возделываемые на юге Украины, переносят температуры до  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а выведенные в Заволжье способны переносить температуры до  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  (в почве на глубине 3 см).

*Морозостойкость (морозоустойчивость)* растений – их устойчивость к низким отрицательным температурам (морозам) в зимнее время года с сохранением способности к вегетации и репродукции при наступлении благоприятных условий по-

годы. Это понятие нельзя отождествлять с холодостойкостью и заморозкоустойчивостью растений. *Морозостойкость* растений принципиально отличается от заморозкоустойчивости тем, что она вырабатывается в холодный период года, когда при понижении температур растения постепенно подготавливаются к низким температурам, проходя определенную закалку. *Заморозкоустойчивость* – устойчивость растений к отрицательным температурам в теплое время года (период весенне-летне-осенней вегетации). В период вегетации при наступлении заморозков такой закалки растения не имеют и поэтому сильно повреждаются даже при незначительных понижениях температуры ниже 0 °С.

*Холодостойкость (холодоустойчивость)* – это способность вегетирующих растений переносить воздействие низких положительных температур воздуха (от 1–5 до 10 °С) с последующим возобновлением роста, развития и формирования продуктивности при наступлении благоприятных погодных условий. Холодостойкость меняется у растений в зависимости от стадии развития, условий произрастания и прочих особенностей места и времени наступления похолодания.

Большой вклад в изучение проблемы морозоустойчивости внесли работы крупнейших физиологов страны Н.А. Максимова, И.И. Туманова и др. На обширных экспериментальных исследованиях было показано, что быстрое понижение температуры сопровождается образованием кристаллов льда внутри клеток. Постепенное снижение температуры среды (от 0,5 до 1 °С), наблюдаемое в естественном ходе смены осеннего сезона на зимний, приводит к образованию льда в межклетниках. При оттаивании они снова заполняются водой, которая затем поглощается клетками, если они не погибли. Таким образом, при низких отрицательных температурах гибель клеток происходит в результате обезвоживания клеток, механического сжатия льдом, повреждающего клеточные структуры. Обезвоживание происходит в результате оттягивания воды из клеток образующимися кристаллами льда. Это иссушающее действие льда, особенно при низких температурах, длительно воздействующих на растение, сходно

с обезвоживанием, происходящим при засухе за счет испарения. Внешним признаком повреждения растения от замерзания является потеря клетками и тканями тургора, благодаря инфильтрации межклетников водой и вымыванию сахаров и ионов их клеток.

Устойчивость растений к морозам не является постоянной; она изменяется в каждом году под влиянием меняющихся условий погоды и изменений в состоянии самих растений. В отдельные годы морозостойкость растений настолько высокая, что они способны переносить температуры верхнего слоя почвы  $-22\dots -25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , но в другие годы растения повреждаются при температуре почвы  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выше. Отдельные органы и ткани зимующих растений обладают разной выносливостью. Так, узлы кущения озимых, находящиеся в среднем на глубине 3 см от поверхности почвы, выдерживают более низкую температуру, чем листья и корни.

Устойчивость растений к низким температурам определяется не только наследственными свойствами вида, экотипа или сорта растений, но и всем комплексом внешних условий в каждом году в конкретных условиях местообитания. При отсутствии необходимых внешних условий в предшествующий зиме период растения не могут сформировать высокую морозостойкость.

Повышение зимостойкости растений и благоприятная перезимовка достигаются как выведением новых сортов, более стойких к зимним климатическим условиям, так и осуществлением комплекса агротехнических мероприятий, улучшающих микроклимат в зоне расположения растений, особенно в поверхностных слоях почвы.

#### **4.2.2. Влияние осенних и зимних условий погоды на зимостойкость растений**

Свойство зимостойкости и морозоустойчивости формируется у зимующих растений в осенний период и в начале зимы. Оно проявляется на фоне наследственных свойств, сформировавшихся в процессе длительной истории их возделывания в том или ином природном районе. В осенний период происходит постепенное понижение температуры воздуха и почвы, уменьшается

продолжительность и интенсивность солнечной радиации, увеличивается влажность воздуха и почвы.

Комплекс сложных физиологических процессов, происшедших в растениях под влиянием условий погоды осени, начала зимы и создающих их устойчивость к условиям зимнего периода и повышения зимостойкости и морозоустойчивости (холодоустойчивости) носит название *закаливания*. Закаливание растений ускоряется в условиях постепенного снижения температуры окружающей среды, сокращения фотопериода (сокращения продолжительности светового дня). Процесс закалки растений является обратимым и проходит поэтапно: остановка ростовых процессов и переход в состояние покоя.

***Закаливание растений*** происходит в две фазы.

*Первая фаза:* озимые культуры проходят ее на свету при температуре 0,5–2 °С за 6–9 суток; древесные культуры – за 30 суток. Эти условия (низкие плюсовые температуры и еще достаточное освещение) способствуют накоплению сахаров. Закалка происходит в результате сложных физиологических процессов усиления гидролиза и накопления сахаров, синтеза водно-растворимых белков в цитоплазме. В процессе закаливания сахара локализуются в разных частях клетки – в клеточном соке, в цитоплазме, особенно в хлоропластах. Сахара повышают осмотическое давление в клетках. Чем выше концентрация сахаров в клеточном соке и межклетниках, тем ниже точка замерзания, поэтому сахара предохраняют от замерзания большое количество воды и, следовательно, значительно уменьшают количество образующегося льда. Кроме того, сахара стабилизируют клеточные структуры, в частности хлоропласты, благодаря чему они продолжают функционировать. Велико защитное влияние сахаров на белки клеток и мембран. Защитное действие сахаров проявляется только в тех случаях, когда оно происходит при одновременном понижении температуры среды и умеренной влажности почвы.

В подготовке растений к зиме значительную роль играет влажность почвы. Высокая влажность почвы в первую половину осени (в период посева и начала вегетации) при средней темпе-

ратуре воздуха 15–10 °С, незначительная – во второй половине осени при температуре воздуха к концу вегетации 10–5 °С и температура воздуха к началу зимы 5–0 °С весьма *благоприятны* для увеличения зимостойкости озимых, поскольку повышенное увлажнение почвы в начале осени обеспечивает появление всходов, хорошее развитие растений, их большую кустистость. Мощные, хорошо раскустившиеся растения (с 4–6 побегами в кусте) переносят зимние условия погоды и регенерируют поврежденные стебли весной лучше, чем слабо раскустившиеся или совершенно не раскустившиеся с осени растения. Пониженная же влажность почвы во вторую половину осенней вегетации увеличивает устойчивость растений, так как в почве образуется меньше льда, который оказывает отрицательное механическое воздействие на узел кушения и корневую систему растений.

*Неблагоприятными* условиями для перезимовки являются, наоборот, недостаток влаги в почве в первую половину осенней вегетации, из-за чего задерживается появление всходов и рост растений или избыток влаги в конце осенней вегетации. Излишняя влажность почвы (очень дождливая осень) также препятствует нормальному процессу закаливания. В мембранах происходит образование жирных кислот, снижающих точку замерзания цитоплазмы, сокращение внутриклеточной воды, что в целом тормозит образование внутриклеточного льда.

*Благоприятными* внешними условиями для прохождения первой фазы закаливания являются солнечная погода в дневные часы суток и пониженная температура воздуха ночью. В этих условиях идет накопление защитных веществ днем и медленный расход ночью. И наоборот, теплая пасмурная погода с малой суточной амплитудой температуры воздуха менее благоприятна для прохождения первой фазы закаливания, так как у растений продолжается рост и расходуются накопленные запасы сахаров.

*Вторая фаза* закалки проходит при дальнейшем снижении температуры (от –2...–5 до –10...–20 °С), когда в межклетниках образуется лед и начинают действовать механизмы защиты от обезвоживания, подготовленные в течение первой фазы. Для

прохождения второй фазы не требуется света. Поэтому у многих зимующих травянистых растений эта фаза может проходить и под снегом. В течение этой фазы происходит перестройка белков цитоплазмы, новообразование специфических (водно-растворимых) белков, отличающихся более крупными молекулами и большей устойчивостью к обезвоживанию. Перестройка цитоплазмы способствует увеличению ее проницаемости для воды. Благодаря быстрому оттоку воды уменьшается опасность внутриклеточного образования льда. Крахмал в клетках растений частично превращается в сахара, запасы которых увеличиваются, следовательно, в этот период происходит повышение зимо- и холодостойкости растений.

Хотя суточные расходы сахаров не велики, но за длительный зимний период суммарная величина расходов оказывается весьма значительной. Расход сахаров у озимых культур резко возрастает в период интенсивного снеготаяния. Агрометеорологами разработан и широко используется биохимический метод определения количества сахаров в зимующих тканях озимых культур. По количеству сахаров в узлах кущения, которые залегают, как правило, на глубине 3 см от поверхности почвы, судят об условиях хода перезимовки озимых посевов.

Оптимальным количеством сахаров к началу зимнего периода для озимых зерновых культур считается величина 24–26 % от массы сухого вещества. Максимальное количество сахаров в этот период у озимой пшеницы достигает 38–44 %. Минимальное количество сахаров в узле кущения, составляющее 10 %, – это сигнал к тому, что озимые посевы в данном обследованном пункте подлежат замене на весенние посевы яровыми, поскольку подавляющая масса озимых растений весной не даст возобновления вегетации.

Однако, как показали исследования, результаты перезимовки и морозостойкость растений определяются не только количеством накопленных к зиме сахаров, но и динамикой их расходования в период зимнего покоя. Более морозостойкие сорта расходуют запас своих сахаров значительно экономнее, чем сорта с более низким уровнем морозостойкости.

У растений умеренных и северных широт, переживающих в период своей жизни значительные понижения температуры, процесс закаливания проходит в определенные этапы их развития. Для приобретения способности к закаливанию древесные формы растений должны закончить процессы роста, в это же время происходит отток различных веществ (ассимиляты) из надземных органов в корневые системы, где скапливаются продукты обмена, гормоны, способствующие ростовым процессам с наступлением теплой весенней погоды. Если эти процессы не завершены, наступившее резкое похолодание может привести к гибели древесно-кустарниковых пород. Например, резкое похолодание осенью 1956 г. в республиках Средней Азии привело к массовой гибели фруктовых садов и виноградников на больших площадях.

У многих древесных растений, обладающих достаточным количеством сахаров, в процессе закаливания первая и вторая фазы могут протекать практически одновременно. В результате процесса закаливания морозоустойчивость растений резко возрастает. Для предохранения растений от повреждений морозами целесообразно усиление фосфорного питания (подкормки), которое повышает устойчивость растений к холодам. Положительное влияние на морозо- и холодоустойчивость оказывают микроэлементы, например цинк повышает содержание связанной воды и усиливает накопление сахаров, молибден способствует увеличению содержания общего и белкового азота. Однако азотные удобрения способствуют процессам роста и делают растения более чувствительными к холоду.

Таким образом, основное повреждающее влияние на растительный организм оказывает образование льда в межклетниках и клетках. Образование льда происходит при резком снижении температуры воздуха. При замерзании воды происходит ее расширение, благодаря которому кристаллы льда разрывают оболочки клеток и тканей растений. Кроме того, происходит обезвоживание клеток и тканей, при котором изменяется концентрация и происходят изменения рН клеточного сока. Все это определяет гибель поврежденных клеток, тканей и растения в целом или его частей.

Способностью к закаливанию обладают не все растения. Так, растения южного происхождения вообще не способны к закаливанию. Эта способность обычно утрачивается весной в связи с началом ростовых процессов у растений. В случаях наступления поздних весенних заморозков, когда у перезимовавших растений закалка уже утеряна, возможна гибель растений даже от незначительных по интенсивности и продолжительности заморозков.

Наряду с формированием зимостойкости в осенний период у озимых культур проходят процессы роста и развития растений, влияющие на их перезимовку. После появления всходов и образования третьего листа начинается кущение, т. е. образование побегов – в среднем от четырех до шести в кусте. Переход к кущению осенью зависит от температуры воздуха и влажности почвы. Наименьшая длина периода «всходы – кущение» для озимой ржи (10 дней) наблюдается при средней температуре воздуха выше 13 °С и запасах влаги в пахотном слое почвы более 30 мм. Этот период увеличивается до 25 дней, если температура воздуха понижается до 7–9 °С при запасах влаги в почве менее 15 мм. Интенсивность кущения также зависит от агрометеорологических условий. Для образования 4–6 побегов (по исследованиям А.А. Шиголева [68]) необходима в среднем сумма эффективных температур воздуха от начала кущения до прекращения осенней вегетации 200–300 °С. Наиболее благоприятны в это время температура воздуха от 6 до 12 °С и запасы влаги в пахотном слое почвы от 30 до 60 мм. При запасах влаги менее 20 мм в этом слое и менее 10 мм в слое 0–10 см побеги у растений не образуются.

Кустистость растений имеет определенное значение для их перезимовки. Слабо развитые растения, плохо раскустившиеся или совсем не раскустившиеся осенью, чаще подвержены зимним повреждениям от вымерзания и вымокания, действия ледяной корки. Точно так же сильно переросшие с осени растения с числом побегов более шести больше подвержены выпреванию. Влияние степени кустистости растений увеличивается при неблагоприятных зимних условиях погоды.

### 4.2.3. Характеристика неблагоприятных явлений погоды зимой

**Зимостойкость растений** – это биологическое свойство зимующих растений переносить воздействие комплекса неблагоприятных условий зимнего периода без существенных повреждений. Она зависит от направленности физиологических и биологических процессов, протекающих в тканях растений в зимний период, определяемых видом растения, его наследственными свойствами (селекция), агротехникой возделывания, климатическими условиями географической среды и погодными условиями конкретного года. Зимостойкость растений определяется не только отрицательными температурами, но и такими показателями, как: высота снежного покрова, толщина и продолжительность залегания ледяной корки, глубина промерзания почвы, режим снеготаяния весной и др.

**К неблагоприятным явлениям погоды** для зимующих растений относят: вымерзание, выпревание, выпирание, вымокание, ледяная корка, выдувание, высыхание, гололед, оттепели.

Особенно многочисленные формы неблагоприятного воздействия зимой испытывают зимующие сельскохозяйственные культуры, однолетние и многолетние растения.

Основным неблагоприятным явлением зимы является вымерзание, которое обусловлено действием низких температур воздуха на надземную часть растений и низких температур почвы на подземную (корневую) часть растений. Указанные температуры должны быть ниже критических значений для той или иной культуры, сорта в течение определенного времени. *Критической температурой вымерзания* называется пороговое значение температуры окружающей среды, ниже которой наступает гибель растения:  $-13...-16$  °С для озимого ячменя и двуукосного клевера,  $-17...-19$  °С для люцерны;  $-18...-20$  °С для озимой пшеницы;  $-22...-24$  °С для озимой ржи. Кроны многих плодовых культур могут переносить морозы до  $-25...-30$  °С, а лесные породы деревьев до  $-45...-50$  °С. В большинстве случаев гибель озимых культур и многолетних трав наблюдается при аномально низкой

температуре воздуха и почвы, а также необычно малой высоте снежного покрова или полном его отсутствии.

При глубоком залегании снежного покрова и небольших морозах происходит *выпревание* озимых культур. Это связано с тем, что в силу длительного пребывания растений под толстым слоем снега (более 30 см) температура среды повышается (около 0 °С) на глубине узла кушения дыхание растений становится интенсивным, происходит большая трата сахаров при отсутствии или очень слабом фотосинтезе, результатом чего становится их частичная или полная гибель от истощения. Длительность таких условий в течение не менее 80–100 дней и слабом промерзании почвы вызывает аномальный рост конуса нарастания у растений зимой и повреждение снежной плесенью ранней весной.

Другой причиной гибели растений зимой является повреждение, связанное с *выпиранием*. Это явление происходит вследствие многократного замерзания и разморозания верхнего слоя почвы во время зимних оттепелей и в начале весны при перенасыщении почвы влагой. В таких случаях мерзлая почва вспучивается вместе с растениями, не успевшими хорошо раскуститься и укорениться осенью, происходит разрыв корневой системы, обнажается узел кушения, на который воздействует низкая температура воздуха и почвы. Выпирание растений после оттепели наблюдается при резких колебаниях температуры.

С наступлением весны на пониженных участках полей, как правило, скапливаются талые воды, быстрое впитывание которых сдерживается промерзшими (более глубокими) слоями почвы. Накопившаяся вода покрывает молодые растения, которые могут погибнуть от *вымокания*. Вымокание вызывается длительным нахождением растений в условиях застоя талой воды на полях в течение 10–15 дней и более. Причиной их гибели становится резкий недостаток кислорода, при этом в клетках растений начинается процесс брожения, следствием которого является отравление всего организма.

*Ледяная корка* – это слой льда, образующийся после оттепели от таяния снега (или выпадения жидких осадков) с последую-

щим замерзанием на поверхности почвы. Такой вид смерзшейся с почвой ледяной корки 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*. Толщина льда может колебаться от 20–50 мм до 2–5 см, а продолжительность залегания корки – от 1 до 3 декад и более. Любой вид ледяной корки отрицательно влияет на зимующие растения: нарушает их газовый режим (недостаток кислорода и избыток углекислого газа, поскольку лед слабо проницаем для  $O_2$  и  $CO_2$ ), создает механические повреждения на растениях (разрыв корешков, вмерзших в почву), способствует усиленному сносу снега с гладкой поверхности льда, создает условия для вымерзания, выпревания, вымокания. Чаще всего ледяная корка образуется в условиях неустойчивой зимы.

*Выдувание посевов* (почвы) – это снос сильным ветром ( $\geq 10$ –12 м/с) верхнего слоя почвы на сельскохозяйственных полях зачастую вместе с посеянными семенами, всходами и слабоукоренившимися растениями. Наблюдается обычно при зимних пыльных бурях, когда снежный покров невысокий или отсутствует, почва сухая, не скрепленная корнями озимых культур. Перемещение ветром продуктов выветривания начинается при скорости ветра 4–5 м/с у поверхности земли. При больших скоростях ветра (15–25 м/с) частицы почвы оказывают механическое повреждение растениям озимых культур. Слабо раскутившиеся растения в фазах «всходы» и «третий лист» отрываются от корневой системы, быстро засыхают или уносятся ветром. Во время сильных и продолжительных ветров (пыльных бурь) в первую очередь погибают боковые, периферийные побеги раскутившихся растений. Главный побег, защищенный боковыми побегами, сохраняется дольше и погибает в последнюю очередь. В экстремальных условиях происходит полный снос верхнего слоя почвы вместе с растениями и засыпание посевов в местах отложения продуктов ветрового переноса.

*Зимняя засуха (высыхание)* формируется в условиях отсутствия снежного покрова, при недостатке влаги в корнеобитае-

мых горизонтах замерзшей почвы, при повышенной температуре воздуха ( $> 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), когда надземные части растений прогреваются, происходит возобновление транспирации озимых культур, усиливающейся солнечной погодой и ветром. Это приводит к обезвоживанию тканей, т. к. из промерзшей почвы влага не поступает. У озимых культур вначале происходит высыхание надземных органов, затем процесс иссушения достигает узла кушения злаков (корневой шейки у бобовых культур), и растение погибает. Особенно опасна зимняя засуха для слаборазвитых, плохо укоренившихся с осени посевов, корневая система которых не достигает талых слоев почвы. 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. Зимняя засуха часто проявляется совместно с выпиранием и выдуванием посевов. Надежной защитой от зимней засухи являются все способы снегозадержания на полях.

*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  $0\dots-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , реже при более низких температурах – до  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . 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 электропередач, связи и т. п. Эффективных мер защиты от гололедных явлений в сельском хозяйстве практически не существует.

*Оттепель* – характерное явление зимнего периода на юге европейской части России и, особенно, на территории средне-

азиатских государств. Днем с оттепелью принято считать повышение температуры воздуха до 0 °С и выше зимой на фоне ранее установившихся отрицательных температур воздуха. Чаще всего это происходит в результате адвекции теплого воздуха из умеренных широт с Атлантического океана, либо из южных районов Балканского региона или Малой Азии, либо при установлении юго-западной периферии Сибирского антициклона. Наступление оттепелей обычно сопровождается пасмурной погодой с туманами. Повторяемость и продолжительность оттепелей варьируют в широких пределах от года к году. В направлении с севера на юг число, а также продолжительность оттепелей возрастает. В таблице 4.10 приведено число дней с оттепелью в различных зонах земледелия Кыргызстана.

Таблица 4.10 – Среднее число дней с оттепелью в Кыргызстане

МС	Месяц			Сумма за зимний период
	декабрь	январь	февраль	
Зона земледелия Чуйской и Таласской областей				
Бишкек	20,6	19,5	20,0	60,1
Байтык	20,8	18,3	18,9	58,0
Талас	19,1	17,1	19,6	55,8
Зона земледелия Иссык-Кульской и Нарынской областей				
Каракол	19,0	13,6	16,7	49,3
Балыкчи	25,5	23,9	23,6	73,0
Кочкорка	17,1	15,2	22,3	54,6
Зона земледелия Ошской и Джалал-Абадской областей				
Ош	24,8	21,2	23,9	69,9
Хайдаркан	19,3	17,4	18,8	55,5

Как видно из таблицы 4.10, среднее число дней с оттепелью в Среднеазиатском регионе значительно – 50–70 дней за зимний период, и наблюдаются они каждую зиму.

Резкие смены температуры во время оттепелей с последующими похолоданиями в условиях малоснежной зимы приводят к попеременному оттаиванию и промерзанию поверхностных и пахотных горизонтов почвы. Это отрицательно сказывается на зимующих растениях, т. к. происходит выпирание и разрыв корней у озимых культур, а также нарушение в вяло протекающих процессах фотосинтеза, следствием чего становится ослабление растений и частичная их гибель (изреживание посевов).

В зимующих почках и побегах плодовых и ягодных культур в результате дневного прогрева тканей начинается слабое сокодвижение, которое при ночных отрицательных температурах воздуха и почвы приводит к замерзанию сока в клетках и проводящих сосудах, к их разрыву, частичной или полной гибели тканей и даже всего растения. Мер защиты озимых посевов и зимующих плодовых культур от отрицательного влияния на них оттепелей не существует.

Гибель растений зимой нередко обусловлена одновременным действием нескольких неблагоприятных явлений, например, выпреванием и последующим вымоканием или вымерзанием, ледяной коркой и т. п. Влияние неблагоприятных условий перезимовки проявляется не только в зимний период, но и значительно позднее – весной и летом. Это явление называют *последствием зимних повреждений*. Оно выражается наличием бесплодных колосков и колосьев, уменьшенным колосом, запаздыванием в созревании, уменьшением прироста массы и значительным снижением урожая.

Гибель растений может иметь место и в результате неблагоприятных для них осенних условий погоды: а) чрезмерного увлажнения почвы к началу зимы и б) недостатка влаги во время осенней вегетации. Малая влажность почвы осенью вызывает задержку в развитии озимых, что сказывается зимой на их морозостойкости.

Неблагоприятные для развития растений условия погоды осенне-зимне-весеннего периода не могут быть компенсированы хорошими условиями погоды в последующий летний период.

В то же время даже плохо развитые с осени растения при мягкой зиме и нормальных условиях погоды в весенне-летний период дают высокий урожай.

***Неблагоприятные явления погоды для животноводства.***

В районах отгонного животноводства очень опасен джут – комплексное явление, вызванное неблагоприятными условиями погоды как для растительности, так и для животных, что приводит в итоге к массовой гибели скота. Обычно джут начинается с длительной засухи, обуславливающей выгорание пастбищной и сенокосной растительности. Если после засушливого лета и осени наступает суровая зима с метелями и гололедом, то возникает пастбищная бескормица. Скот к зиме приходит неупитанным, и ослабленные животные не могут добывать корм из-под снега. Начинаются простудные заболевания и массовый падеж скота. Особенно сильным бывает джут, если вслед за суровой зимой с пастбищной бескормицей наступает холодная сухая весна; растительность в таких условиях отрастает медленно и кормов для животных не хватает.

В других животноводческих районах погодные и климатические условия существенно влияют на начало и конец выпаса, продолжительность стойлового содержания, время стрижки и пр. Так, в умеренных широтах в неблагоприятные для выпаса годы резко сокращается время пастбищного содержания скота, что сказывается на величине удоев, фондировании кормов.

Условия погоды оказывают непосредственное влияние и на физиологическое состояние животных. Например, стрижку овец нельзя проводить при температурах воздуха ниже 5 °С; при ветре скоростью 5–8 м/с, температуре воздуха ниже 10 °С и осадках более 5 мм/сут., так как у овец начинаются простудные заболевания.

В целом данная проблема разработана недостаточно; особенно мало исследований в области теоретического моделирования погодных и физиологических процессов, определяющих продуктивность сельскохозяйственных животных.

## ТЕМА 5. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОСТА И РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ. ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ И ФАЗЫ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

### 5.1. Биологические закономерности роста и развития растений

#### 5.1.1. Понятия онто-, фило- и морфогенеза. Этапы онтогенеза растений

Индивидуальное развитие растительного или животного организма, выраженное совокупностью последовательных морфологических, физиологических и биохимических преобразований от момента зарождения до естественной смерти организма, называется **онтогенезом** (от греч. *ontos* – существо и лат. *genesis* – развитие, происхождение). В ходе исторического развития вида из поколения в поколение в процессе естественной изменчивости под влиянием условий окружающей среды, борьбы за существование и естественного отбора происходит наследственное закрепление приобретенных признаков и свойств вида.

Процесс исторического развития растительных и животных организмов называется **филогенезом** (от греч. *phyle* – племя, род, вид), представляющим собой преемственный ряд онтогенезов последовательных поколений. Жизненный цикл индивидуального развития каждого растения «от семени до семени» характеризуется наступлением очередных этапов роста и развития. *Рост растений* – это необратимое количественное увеличение размеров и массы клеток, тканей, органов и всего организма в целом, связанное с новообразованием элементов и структур. Понятие «рост» отражает количественные изменения, сопровождающие развитие организма или его частей. *Развитие растений* – это последовательные качественные изменения структуры растения, возникающие в процессе онтогенеза. Важным свойством роста растений является суточная и сезонная *ритмичность*, зависящая от комплекса внешних условий – продолжительности светлой

части суток, температуры воздуха и почвы, влажности корнеобитаемых горизонтов почвы и других, а также от генетических особенностей растения.

Рост непрерывно связан с развитием и органообразовательными процессами, или морфогенезом. **Морфогенез** растений – становление формы, образование морфологических структур и целостного организма в процессе развития. Характерная черта морфогенеза растений – наличие постоянно действующих локализованных *меристем*, т. е. образовательной ткани растений, долго сохраняющей способность к делению и возникновению новых клеток. Благодаря этому рост растения продолжается в течение всего онтогенеза, при этом формируются все новые побеги, цветки, корни, т. е. создаются *метамеры* – сходно закладывающиеся участки тела растения.

Типы роста различных органов определяются расположением меристем. Так, стебли и корни растут верхушками – *апикальный рост*. У листьев зона нарастания находится у их основания – *базальный рост*. Характер роста растений часто зависит от видовой специфики. Так, у злаковых культур рост стеблей осуществляется у основания междоузлий – *интеркалярный рост*. Переход растений к репродуктивному развитию сопровождается ослаблением активности меристем [18].

Жизнедеятельность всякого растительного и животного организма протекает всегда в теснейшей связи и взаимодействии с окружающей его внешней средой. Существование организма, его формирование, развитие и рост немислимы в отрыве от среды, вне этой среды. Обязательность взаимоотношений с внешней средой является основным отличием живых существ от неживых тел. Внешняя среда, в которой протекает жизнь организма, представляет сложный комплекс разнообразных факторов. В этот комплекс входят:

1) метеорологические и климатические условия (уровень отдельных метеорологических параметров, характер погоды, ее режим, закономерная последовательность метеорологических процессов, определяемая комплексом физико-географических условий и выражающаяся в многолетнем режиме погоды);

2) почвенные условия (наличие и характер почвы, ее плодородие, структурность, наличие и степень засоленности, глубина залегания грунтовых вод и прочее);

3) условия, связанные с деятельностью человека (воздействие его на климат и почву, растительность и животный мир);

4) воздействие на растение или животное со стороны других растительных или животных организмов (деятельность вредителей, развитие болезней, влияние стравливания на существование растения и процессы последующего отрастания, взаимоотношения между культурной растительностью и сорняками и т. д.).

В соответствии с этим *факторы внешней среды* обычно принято подразделять на четыре группы: 1) климатические, 2) эдафические (почвенная среда), 3) биотические и 4) деятельность человека.

Это деление до известной степени условно, так как часто бывает невозможно выделить влияние какой-либо одной группы факторов, не учитывая роли факторов других групп. Жизненные процессы в организме идут под воздействием тех сложных взаимоотношений, в которых находятся между собой организм и различные компоненты внешней среды. На организм действует всегда именно комплекс этих отдельных компонентов, тесно взаимосвязанных и взаимообусловленных. Характер действия каждого из компонентов и определяется закономерными связями его с другими. Но так как между организмами и средой существует взаимное влияние, сам организм воздействует на внешнюю среду, изменяет ее, создает новые отношения между ее компонентами.

***Основные периоды в онтогенезе растений.*** Онтогенез организмов характеризуется:

- морфологическими изменениями, в результате которых образуются ткани, органы и весь организм в целом;

- физиолого-биохимическими процессами, протекающими в клетках, тканях и органах организма;

- реализацией генетической информации, заложенной в геноме организма. Наследственный аппарат, кодируя синтез специфических белковых молекул, определяет лишь общее на-

правление и порядок морфогенетических процессов, конкретное осуществление которых в значительной степени зависит от складывающихся внешних условий;

- экологической приспособленностью к условиям внешней среды и эволюционной изменчивостью, происходящей при переходе от предков к потомкам на разных этапах филогенеза.

В процессе онтогенеза у растений различают *вегетативное развитие*, т. е. процесс формирования вегетативных органов, и *репродуктивное развитие*, т. е. процесс формирования репродуктивных (генеративных) органов.

При этом была выявлена четкая закономерность: переход растения в репродуктивную фазу зависит в основном от соотношения светлого и темного времени суток, т. е. длины дня и ночи. Это явление было названо *фотопериодизмом*. Исследования ряда ученых убеждают в том, что соотношение между длиной дня и ночи – весьма действенный фактор, регулирующий сроки цветения растений.

У различных видов растений реакция на изменение длины дня и ночи неодинакова. Чаще она определяется происхождением растения и условиями формирования того или иного экологического типа растений. Длина дня служит растениям указателем времени года и внешним сигналом для перехода к цветению или для подготовки к неблагоприятному сезону. Органом восприятия фотопериода служит лист, в котором в результате световых и темновых реакций образуется гормональный комплекс, стимулирующий зацветание.

Для растений характерна не только оптимальная длина фотопериода, но и критическая длина дня и ночи, за пределами которых генеративное развитие почти невозможно. Длиннодневным растениям не свойственна критическая длина ночи, а критическая длина дня составляет 5–10 ч, короткодневным растениям необходимо не менее 2–5 ч света в сутки и не менее 6–18 ч темноты.

Исследованиями С.А. Эгиза, В.И. Разумова и др. открыто явление, которое было названо *фотопериодическим последствием*. Сущность его заключается в том, что нормальное развитие расте-

ний вполне обеспечивается, если необходимую им длину дня они получают не на протяжении всей жизни, а лишь на определенном, сравнительно коротком отрезке жизненного цикла.

*Вегетационный период* – это период (часть) года, в который агрометеорологические условия в среде обитания культурных растений благоприятствуют их росту и развитию (вегетации). В первом приближении это *беззаморозковый период*, т. е. промежуток времени от последних весенних до первых осенних заморозков. Однако для различных растительных культур в одной и той же местности вегетационный период может быть различным в зависимости от морозостойкости растений. В субтропиках и тропиках вегетационный период продолжается круглый год. В умеренных широтах продолжительность вегетационного периода будет зависеть от даты перехода температуры воздуха через 0, +5, +10, +15 °С в сторону увеличения весной и в сторону уменьшения осенью в конкретном регионе.

Еще вегетационный период можно определить как время, необходимое для прохождения полного цикла развития данного вида или сорта растений, в растениеводстве – от посева до уборки урожая. Для скороспелых культур вегетационный период короче, для позднеспелых – длиннее. Он может изменяться для озимых культур от 270 до 360 суток, для яровых – от 60 до 210 суток в зависимости от культуры и скороспелости.

Характеристика агрометеорологических условий вегетационного периода составляется на основании метеорологических и фенологических данных наблюдений за текущий год, их отклонений от средних многолетних значений. При этом необходимо указать продолжительность периода вегетации и дать оценку его основных показателей.

### **5.1.2. Рост растений**

В основе жизнедеятельности растений лежит диалектическое единство и борьба двух противоположных процессов: ассимиляции и диссимиляции. Под *ассимиляцией* разумеется процесс питания, т. е. поглощения, впитывания, превращения, усвоения элементов внешней среды. Под *диссимиляцией* понимается про-

тивоположный усвоению процесс разложения накопленного вещества, выделения продуктов разложения, проявляющийся как дыхание растений.

Одним из результатов этой жизнедеятельности является увеличение массы растения – его рост. Под *ростом* понимают необратимое увеличение размеров растения, связанное с новообразованием клеток, тканей и органов. В ряде случаев, например при использовании на корм зеленой массы растений (сеяные травы, луговая и пастбищная растительность), явление роста имеет большое практическое значение, давая представление о количественной стороне урожая. По росту до известной степени можно судить и об общем состоянии растений, культивирующихся не для получения зеленой массы, а для получения плодов и семян. Растение здоровое, не угнетенное ненормальным сочетанием компонентов природной среды, обычно обладает хорошим ростом и хорошо плодоносит. Поэтому учету роста травянистых растений уделяется много внимания. Но следует все же иметь в виду, что не всегда мощное высокое растение может дать большой урожай. Например, хлопчатник при перекормке или при переполиве развивает большую зеленую массу, т. е. обладает мощным ростом, но не формирует достаточного количества плодовых элементов, как говорят, «жирует». Состояние растения, судя по его росту и внешнему виду, очень хорошее, но урожай может оказаться заметно сниженным.

Первое представление о росте растения выясняется при измерении его высоты. Высота роста трав обычно измеряется линейкой с сантиметровой шкалой; нулевое деление линейки совмещают с поверхностью почвы под растением. Однако этот способ не всегда может удовлетворить запросы. Он дает только представление о линейных размерах растения, а линейные размеры не всегда пропорциональны объему или массе растений. Высота роста растения может быть достаточно велика, но при сильном загущении общий его объем может оказаться очень небольшим: растение вытянуто, тонко, слабо. Не всегда высота роста растения может быть определена достаточно точно, если оно представляет из себя очень разбросанный куст с сильно развет-

вленными стеблями. Часто искажаются данные высоты роста за счет взрыхляемой, очень неровной поверхности почвы под культурой. Поэтому при изучении изменений роста растений иногда пользуются определением их сухого веса.

Проведение систематических, ежедневных измерений высоты роста и определения сухого веса однолетних растений за период от всходов до созревания семян выявило определенные закономерности в ходе их изменений. В первые периоды развития растения рост и сухой вес его изменяются крайне медленно; затем ежедневный прирост и нарастание сухого веса ускоряются и достигают максимума перед цветением, после чего наступает постепенное уменьшение прироста и, наконец, его полное прекращение.

Высота роста растения изменяется во все время вегетации только в сторону ее увеличения; уменьшения роста, как правило, не отмечается. В изменении сухого веса иногда наблюдаются периоды, в течение которых можно обнаружить некоторое его уменьшение. Такая потеря сухого веса объясняется тем, что при известных условиях фотосинтез может сократиться настолько, что не сможет восполнить трату органического вещества в процессе дыхания. Такое явление наблюдается в следующих случаях:

а) при очень высоких температурах и засухе, т. е. при условиях, в которых фотосинтез уменьшается до минимума, а дыхание резко возрастает;

б) в первые дни жизни растения, когда в силу перевеса дыхания над фотосинтезом у молодых проростков, живущих еще в большей мере за счет запасов питательных веществ в семенах, происходит некоторое падение сухого веса;

в) при пожелтении и засыхании листьев в самом конце вегетации ко времени созревания большей части семян.

В различных условиях внешней среды скорость роста оказывается неодинаковой. Она находится в большой зависимости от *температуры*. При одинаковом освещении и одинаковых условиях питания и водоснабжения при низких температурах рост растения происходит очень медленно; повышение температуры влечет за собой ускорение роста. Как и для других биологических

процессов (фотосинтез, дыхание), отмечают для каждого растения *минимум* температуры, при котором рост только начинается, *оптимум*, при котором он осуществляется быстрее всего, и *максимум*, к которому скорость роста снова резко замедляется и при переходе через который (в сторону повышения) явлений роста уже не обнаруживается. Причина прекращения роста при низких и высоких температурах лежит в нарушении согласования между отдельными функциями растения, в частности между процессами фотосинтеза и дыхания.

Температурный оптимум для роста растения часто не совпадает с температурным оптимумом для накопления органического вещества. Поэтому не всегда температурные условия, способствующие наибольшей скорости роста, являются наилучшими для получения крепкого и здорового растения; не всегда при развитии растений в оптимальных для роста температурных условиях наибольшим оказывается и урожай.

Влияние *света* на рост растения выявляется значительно менее определенно, чем влияние температуры. Солнечная энергия, являясь основной энергией для создания органических веществ, несомненно, способствует росту зеленых растений. Известно, что при недостаточном освещении рост растений угнетен и поэтому обычно идет значительно хуже, чем в хорошо освещенных местах. Зеленые органы растений, выросшие в сильно затененных местах, обнаруживают значительные отклонения от своей нормальной формы: стебли их вытягиваются, механические ткани стеблей недостаточно развиваются, задерживается одревеснение клеточных стенок. Такие длинные вытянутые стебли с неразвитыми механическими тканями оказываются слабыми, мало устойчивыми и легко полегают. Очень сильное затенение, граничащее почти с полной темнотой, не только влечет изменение формы, но и вызывает потерю затененными органами зеленой окраски. Растения становятся этиолированными.

То обстоятельство, что выросшие при недостатке света растения сильно вытягиваются, а при хорошем освещении дают более короткие, здоровые и упругие стебли, привело физиологов

к убеждению, что свет оказывает на рост задерживающее действие. Это подтвердилось и рядом тщательно поставленных исследований над изменением роста растений как в лабораторных, так и в полевых условиях. Влияние света, таким образом, оказывается противоположным влиянию температуры. Оно настолько велико, что создает определенную суточную периодичность роста: растение ночью растет гораздо интенсивнее, чем днем. Лишь при низких ночных температурах это ускоряющее влияние отсутствия света не может преодолеть задерживающего влияния пониженной температуры, и рост приостанавливается.

Третьим фактором, сильно влияющим на процессы роста растения, является *водоснабжение* растений в сочетании его с температурой среды и светом. Это обуславливается тем, что биохимические и физиологические процессы в растительных клетках могут проходить только в водных растворах. Всякий недостаток воды приводит к угнетению, к замиранию этих процессов.

Недостаток воды в почве или усиленная транспирация, при которой трата воды растением не успевает восполниться за счет поступления ее через корневую систему, обычно приводит к образованию мелкоклеточных и низкорослых растений. Особенно четко это проявляется в районах искусственного орошения: растения, выросшие в условиях орошаемого поля, имеют больший рост, чем растения, развивающиеся в обстановке неполивного поля.

### **5.1.3. Развитие растений**

Наряду с количественными происходят и существенные качественные преобразования как всего растения в целом, так и отдельных его органов, т. е. растение не только растет, но и развивается. Общий процесс индивидуального *развития растения* представляет собой тесно взаимосвязанные последовательные *количественные* и *качественные изменения* структуры и функций растения, происходящие в организме и ведущие в конечном счете к воспроизведению себя в потомстве.

Последовательные качественные изменения в точках роста при развитии растений, в которых происходит деление клеток меристемы с последующим их увеличением и дифференцирова-

нием, обеспечивают специализацию тканей и органов. При этом происходят изменения в структуре и функциональной активности растения и его частей – клеток, тканей и органов, возникающие в процессе роста растений в онтогенезе, ведущие в конечном счете к органообразовательным процессам (фазам) и к воспроизведению себя в потомстве. Возникновение качественных различий между клетками, тканями и органами получило название *дифференцировка* (от фр. differentiation – разделение, расчленение целого на различные части). В понятие «развитие» входят также и возрастные изменения, наблюдаемые в онтогенезе.

В *цикле развития высших растений* выделяют *четыре возрастных этапа*: эмбриональный (юность), ювенильный (молодость), репродуктивный (зрелость) и старение (старость).

*Эмбриональный этап* охватывает период от формирования и развития зародыша (зигота, которая образуется в результате слияния мужского гаметофита с яйцеклеткой зародышевого мешка – женского гаметофита) до созревания семени. На последнем этапе созревания семени теряют значительное количество воды и у большинства видов умеренного климата переходят в состояние покоя.

*Ювенильный этап* начинается с прорастания семян или вегетативных зачатков (например, клубней) и характеризуется быстрым накоплением вегетативной массы. Прорастание семян делится на фазы: набухание семян; проклевывание семян; гетеротрофный рост проростка (за счет запасных питательных веществ в эндосперме); переход к автотрофному способу питания. Период покоя у семян заканчивается при поглощении воды благодаря повышенной проницаемости семенных покровов (у большинства видов). Происходит физиологическое давление при набухании эндосперма, в результате чего покровы семени разрываются. Набухание практически не зависит от температуры, освещенности и (на первых этапах этого процесса) от содержания кислорода. Проклевывание начинается, когда семена достигают критической влажности (40–65 % в пересчете на сырую массу). Происходит рост растяжением самого зародышевого корня или гипокотилия, в результате чего кончик корешка выталкивается из семени (например, горох). Выход корешка обеспечивает закрепление прорастающего семени

в почве и улучшает поглощение воды. Затем начинается рост побега. Прорастание происходит в темноте (в почве), и корень, и побег ориентируются по гравитационному вектору, при этом корень растет по направлению к центру Земли, т. е. углубляется в почву, а побег – от центра, т. е. направляется к свету. Такой специализированный рост поддерживается различными фитогормонами. Рост зародышевого корня в зоне деления происходит за счет растяжения и дифференциации клеток. Побег удлиняется благодаря растяжению гипокотилия (у бобов, тыквы и др.) или мезокотилия (у злаков) (рисунок 5.1). Благодаря дальнейшему росту главного, боковых и придаточных корней и формированию побега, роста листовых пластинок, утолщения стебля растение к концу ювенильного периода накапливает значительную вегетативную массу. Зачастую у растений проростки по многим внешним признакам не похожи на взрослые особи, (например, форма листьев у огурца, хлопчатника и др). Для этого периода развития характерна значительно большая способность к образованию корней, что обычно используется в практике садоводства. Продолжительность ювенильного периода у разных типов растений различна: от нескольких недель (однолетние травы) до нескольких лет (древесные породы). Этап молодости характеризуется полным отсутствием цветения благодаря тому, что растение не производит на этом этапе закладку органов полового и вегетативного размножения. Переход от ювенильного типа роста к зрелому наиболее отчетливо прослеживается у древесных растений (рисунок 5.2).

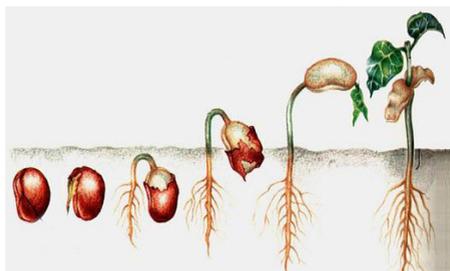


Рисунок 5.1 – Прорастание семени бобовых культур

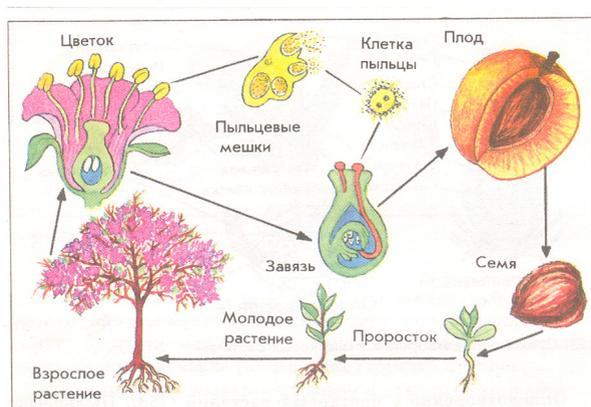


Рисунок 5.2 – Этапы онтогенеза и фазы развития покрытосеменных растений

**Репродуктивный этап** (зрелости и размножения) охватывает период от закладки и роста генеративных органов до формирования семян и плодов. В этот период растение достигает состояния наибольшей жизнеспособности, поскольку имеет сформировавшуюся вегетативную массу, обеспечивающую рост и развитие цветков, семян и плодов.

**Этап старения** охватывает период от полного прекращения плодоношения до естественного отмирания особи. На этом этапе наблюдается прогрессирующее ослабление всех функций жизнедеятельности растений. Старение и смерть растения – завершающие этапы онтогенеза, однако в процессе эволюции выработаны различные типы старения. Однолетние растения отмирают целиком. У многолетних трав ежегодно полностью отмирают надземные органы (стебли, листья, генеративные органы), а корневая система и другие подземные органы остаются жизнеспособными. У многих растений в процессе роста стареют и отмирают нижние, ранее образовавшиеся листья и побеги (ветви). У листопадных деревьев осенью одновременно стареют и опадают все листья.

По признаку **общей продолжительности жизненного цикла** все высшие растения делят на одно-, дву- и многолетние формы.

К **однолетним** растениям относится несколько групп:

- *эфемеры* (от греч. ephemeros – однодневный, недолговечный) – растения засушливых регионов, заканчивающие полный цикл развития «от семени до семени» за короткий период (обычно несколько месяцев), в течение которого сохраняются необходимые условия увлажнения и температуры;

- *яровые однолетние формы* имеют надземные и подземные органы, жизненный цикл которых ограничен весенне-летними месяцами вегетации. Растения отмирают (засыхают) после созревания семян. Среди сельскохозяйственных культур эта группа представлена многими зерновыми и зернобобовыми, большинством овощных, масличных, прядильных и бахчевых культур;

- вегетационный период *озимых однолетних* форм не превышает в общей сложности один год, но он начинается с осени и завершается летом следующего года созреванием семян, после чего растение отмирает; в зимние месяцы озимые растения находятся в состоянии покоя. К этой группе относятся озимые пшеница, рожь, ячмень и др.

У группы **двухлетних растений** в первый год жизни обычно формируются только вегетативные органы (корни, побеги, листья), а на второй год – генеративные органы (бутоны, цветы, плоды), после созревания которых растение отмирает. К этой группе растений относятся многие корнеплоды, имеющие специальный запасающий орган, обычно это утолщенный корень (например, свекла, морковь, репа, дайкон) или стебель (капуста и др.).

**Многолетние растения** характеризуются самой различной продолжительностью жизненного цикла: от нескольких лет (многие плодово-ягодные культуры, виноград, сеяные травы, например клевер, люцерна, костер, ежа сборная и др.) до сотен и даже тысяч лет. Продолжительность жизни хвойных и листопадных деревьев составляет у секвойи 5 000 лет, у дуба 1 500 лет, у ели 1 200 лет, у липы до 1 000 лет, у сосны до 500 лет и т. п.

Еще в 30–60-е годы XX века в СССР получили широкое развитие исследования скорости развития растений, позволившие агрометеорологам количественно определять суммы температур, необходимые для прохождения основных фаз развития возделываемых культур.

ваемых культур и их сортов. Теоретическим обоснованием вопроса о связи скорости развития растений с температурой воздуха за различные межфазные периоды и весь жизненный цикл растений «от семени до семени» стали исследования А.В. Федорова (1935), А.А. Скворцова и Л.Н. Бабушкина (1938–1953; 2004) и др.

В основу предложенного ими метода легло предположение о наличии количественной связи между средней температурой воздуха (почвы) и скоростью развития растений, близкой к прямолинейной. Известно, что физический смысл скорости есть отношение пройденного расстояния (пути) к единице времени. Скорость развития растения – это «путь», пройденный растением в своем развитии за единицу времени. Если межфазный период (или весь период онтогенеза) продолжается  $n$  суток, то путь, пройденный растением в одни сутки (скорость развития), будет равен  $1/n$ . Например, продолжительность межфазного периода от даты посева до даты всходов составила 8 сут., тогда среднесуточная скорость развития растения за одни сутки будет равна  $1/8 = 0,125$ . Общий вид связи скорости развития со средней суточной температурой воздуха за искомый межфазный период представлен формулой

$$1/n = (T_{\text{сред}} - B) / A,$$

откуда

$$A = (T_{\text{сред}} - B) / 1/n,$$

где  $B$  – нижний предел эффективных температур растения для данного межфазного периода, °С;  $A$  – сумма эффективных температур за этот же межфазный период, °С;  $n$  – число суток.

Этот метод в агрометеорологической науке и практике называется методом Скворцова – Бабушкина. Он был широко апробирован при оперативном агрометеорологическом обеспечении возделывания основных сельскохозяйственных культур, в том числе плодовых, цитрусовых, винограда и пастбищной растительности. Метод используется в оперативном режиме при составлении информации о ходе развития посевов и ожидаемых сроков наступления основных фаз развития растений – всходов, цветения, созревания и т. п., что имеет большое значение для работников сельскохозяйственного производства.

**Состояние растений.** Для характеристики состояния растений не всегда удается найти какой-нибудь один объективный и вполне надежный признак. В настоящее время прибегают к систематическому учету отдельных внешних, признаков, так или иначе отражающих состояние и в сумме дающих возможность получить относительную, более или менее условную оценку его состояния по пятибалльной шкале (состояние *отличное, хорошее, удовлетворительное, неудовлетворительное, плохое*). Обычно учитываются:

- 1) мощность растений, оцениваемая чаще всего высотой роста или сухим весом;
- 2) равномерность развития растений в сообществе (дружность прохождения фаз);
- 3) равномерность распределения растений по площади и густота стояния;
- 4) полнота и степень развития органов плодоношения.

Дополнительно для культурной растительности принимается во внимание степень засоренности участков и т. д.

В агрометеорологии, главным образом при оперативной агрометеорологической работе, обычно оценка состояния производится для данного поля, данного пастбища в целом, а не для отдельного растения. Но иногда может оцениваться также состояние и отдельных растений.

Оценка состояния растений преследует цель уже заранее, до окончания периода вегетации, получить представление о том, чего можно ожидать от заданного участка в отношении урожая. Отличное или хорошее состояние растений в течение вегетационного периода обуславливает получение полноценного хорошего урожая; при удовлетворительном состоянии можно ожидать среднего по количеству и качеству урожая; при неудовлетворительном или плохом состоянии урожай оказывается значительно ниже среднего.

Систематическая характеристика состояния растений в агрометеорологических исследованиях завершается учетом так называемого биологического урожая. В настоящее время хорошо разработана методика учета биологического урожая только для зерновых культур.

## 5.2. Фенологические наблюдения и фазы развития сельскохозяйственных растений. Этапы органогенеза

### 5.2.1. Фенологические наблюдения и фазы развития различных сельскохозяйственных культур

Наблюдения за формированием органов у растений в процессе прохождения жизненного цикла дали основание выделить различные фазы развития и роста, так называемые *фенологические фазы развития*. Это – последовательные этапы индивидуального развития растения, характеризующиеся внешне различимыми морфологическими признаками появления новых органов. Названия фаз соответствуют морфологическим признакам (например, кущение, колошение, цветение и т. п.) или признакам, характеризующим состояние растения (засыхание, пожелтение, опад листьев и др.). Наблюдения за фазами развития растений называются *фенологическими*, они регулярно проводятся на сети станций и постов в национальных гидрометеорологических службах стран СНГ в рамках добровольной фенологической сети Фенологического сектора Географического общества России и ряда других стран мира.

Целью проведения регулярных фенологических наблюдений является регистрация даты наступления признаков той или иной фазы развития растений. Точность наблюдений определяется строгой периодичностью осмотра растений (ежедневно или через день), знанием наблюдателя признаков наступления фаз и соблюдением методики наблюдений, детально описанных в ряде действующих Наставлений (1985; 2007); Инструкций (1978, 2000) и Руководства (2001).

У сельскохозяйственных культур на протяжении всего периода их развития отмечаются следующие фазы: *всходы, появление очередных листьев, появление боковых побегов (кущение), рост стебля (стеблевание), появление бутонов и соцветий (бутонизация), раскрытие цветков, формирование семян и плодов, созревание семян и плодов, засыхание (прекращение вегетации)*. Российскими учеными-фенологами (В.А. Батмановым, Н.Т. Нечаевой, А.И. Руденко, А.А. Шиголевым, Л.Н. Бабушкиным и др.) была

разработана и внедрена в систему ботанических и агрометеорологических наблюдений методика определения фенологических фаз развития для большинства сельскохозяйственных культур и многих видов дикорастущих растений. С признаками наступления фаз развития дикорастущих растений, произрастающих в различных почвенно-климатических зонах бывшего СССР, а также основных сельскохозяйственных культур можно познакомиться в специальной литературе и научно-методических документах. В зависимости от видовых особенностей растений (в том числе и сельскохозяйственных культур) программами наблюдений предусмотрен определенный набор фаз, характерных для тех или иных объектов наблюдений.

Многолетние материалы фенологических наблюдений после определенной статистической обработки используются при составлении фенологических карт, календарей сезонного развития природы, при разработке фенологических индикаторов, показывающих синхронную связь между отдельными сезонными явлениями и «сигнализирующих» о необходимости проведения тех или иных хозяйственных мероприятий в лесоводстве, виноградарстве и других отраслях растениеводства. Такие материалы используются также при картографировании природных явлений, в том числе с помощью дистанционных методов, при оценке крупных антропогенных нарушений ландшафтов, связанных с освоением новых территорий и изменяющих естественные циклы развития природы. Фенологические данные необходимы при разработке фенологических прогнозов в растениеводстве и лесоводстве, при разработке современных методов математической фенологии и в других научно-практических областях знания.

На агрометеорологических станциях наблюдения за фазами развития растений проводятся через один день, по четным числам на определенных наблюдательных участках. Вследствие неодновременного наступления фаз развития всех растений на участке следует производить подсчет растений с признаками конкретной фазы. Для полевых *непропашных* культур (зерновые) достаточно осматривать 40 растений. С этой целью в четырех частях участка,

занятого непропашной культурой, осматривают по 10 растений и определяют, у скольких из них имеются признаки наступившей фазы.

На участках с *пропашными* культурами (кукуруза, картофель) наблюдения производят в течение всего периода вегетации на одних и тех же растениях. Например, для наблюдений над фазами развития хлопчатника в четырех частях участка выбирают по 10 растений подряд в двух смежных рядках.

После осмотра растений на участках и подсчета числа растений, вступивших в очередную фазу, результаты наблюдений заносят в книжку КСХ-1.

В Кыргызстане на больших площадях культивируются следующие сельскохозяйственные культуры: зерновые, хлопчатник, табак, сахарная свекла, кукуруза, картофель, рис, бахчевые, томаты и др. За этими культурами ведутся фенологические наблюдения, а также наблюдения за фазами развития сеяных трав (люцерна, эспарцет и др.), теплолюбивыми культурами, косточковыми и семечковыми плодовыми культурами.

Рассмотрим фазы развития основных сельскохозяйственных культур, выращиваемых в Кыргызстане.

**1. Зерновые культуры** – важнейшая в хозяйственной деятельности человека группа возделываемых растений, дающих зерно, основной продукт питания человека, сырье для многих отраслей промышленности и корма для сельскохозяйственных животных. Возделываемые в современном мире зерновые культуры подразделяются на хлебные и зернобобовые. Хлебные зерновые культуры относятся к четырем ботаническим семействам: Злаки (пшеница, рожь, рис, овес, ячмень, кукуруза, сорго, просо, чумиза, могар, пайза, дагусса), Гречишные (гречиха), Амарантовые (мучнистый амарант) и Маревые (киноа). Зернобобовые культуры (горох, фасоль, соя, вика, чечевица, бобы и др.) принадлежат к семейству Бобовые.

Зерно хлебных зерновых культур содержит много углеводов (60–80 % на сухое вещество), белков (7–20 % на сухое вещество), ферменты, витамины группы В (В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>), РР и провитамин А,

чем и определяется высокая питательность его для человека и ценность для кормового использования.

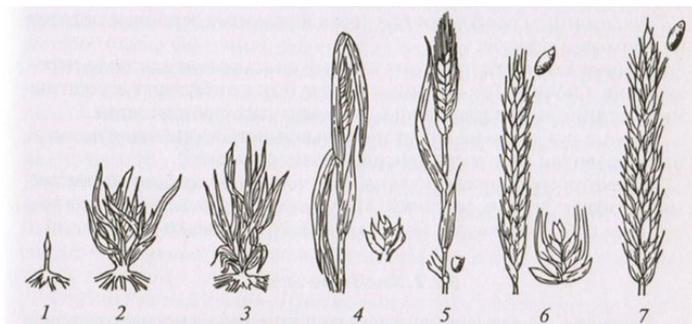


Рисунок 5.3 – Фазы развития озимой пшеницы:

1 – всходы; 2 – кущение; 3 – выход в трубку; 4 – колошение; 5 – цветение; 6 – молочная спелость; 7 – восковая спелость

Наблюдаемые фазы развития (рисунок 5.3):

а) *прорастание зерна* – для его установления в четырех частях участка выкапывают и осматривают по пять зерен. Появление первых корней считается признаком прорастания. Дата наступления отмечается в тот день, когда первые корни появились не менее чем у пяти зерен из 20 выкопанных;

б) *всходы* – отмечают *единичные* всходы, когда развернутся верхушки листочков у первых растений, и *массовые* всходы, когда первые развернувшиеся листочки будут на большей части растений;

в) *третий лист* – признаком наступления фазы является начало разворачивания третьего листа. После массового разворачивания третьего листа надо отмечать лишь массовое наступление всех последующих фаз;

г) *образование узловых корней* – вместе с фазой третьего листа у растений появляются вторичные придаточные корни, которые называются узловыми. Выкапывают по пять растений и определяют образование узловых корней;

д) *кущение* – эту фазу считают начавшейся, если кончики первых листьев боковых побегов появились из влагалищ листьев

главного побега. Кущение происходит только при наличии доступной для растений влаги в верхнем слое почвы на глубине узла кущения. В фазе кущения озимые культуры уходят в зиму. Признаком возобновления вегетации озимых культур является появление свежей зелени, при переходе среднесуточной температуры через +5 °С. С этого дня приступают к наблюдениям;

е) *выход в трубку* (стеблевание) – под этим понимают начало роста стебля, т. е. начало удлинения нижнего междоузлия соломины, расположенного над узлом кущения. К этому времени происходит образование зачаточного колоса с заложением на нем зачатков колосков;

ж) *появление нижнего стеблевого узла соломины над поверхностью почвы* – узел обнаруживается путем прощупывания на главном стебле утолщения на высоте 0,5 см над поверхностью почвы;

з) *колошение* (выметывание) – его считают начавшимся, когда колос наполовину выдвинулся из влагалища верхнего листа;

и) *цветение* – определяют по раскрытию цветковых чешуй и появлению снаружи их пыльников;

к) *молочная спелость* – зерно в длину достигает такой же величины, как и окончательно сформировавшееся, имеет зеленую окраску, при сжатии выделяется «молочко»;

л) *восковая спелость* – происходит изменение зеленой окраски на желтую и пожелтение листьев. Зерно теряет упругость, при надавливании на зерно остается след, содержимое зерна выдавливается с трудом и легко скатывается в шарик;

м) *полная спелость* – зерно становится твердым и раскалывается.

**2. Кукуруза** – важнейшее однолетнее кормовое, продовольственное и техническое растение, относится к семейству злаковых. Окультурено было в древности в Америке (Мексика, Гватемала), в России с XVII века. Возделывается везде, кроме Антарктиды, на зерно, силос, зеленую массу. Из зерна получают муку, крупу, консервы, крахмал, спирт, пиво, глюкозу, патоку, масло, витамин Е, аскорбиновую кислоту, из пестичных столби-

ков делают настои для лечения заболеваний печени и почек. Районировано свыше 110 сортов.

Кукуруза имеет следующие фазы развития (рисунок 5.4):

а) *прорастание семян* – признаком прорастания является заметное выдвигание (2–3 мм) зародышевого корешка из зерновки кукурузы;

б) *всходы* – разворачивание первого листочка у единичных растений, а затем наступление массовых всходов;

в) *образование листьев* – начиная с третьего листа отмечается появление каждого следующего нечетного листа: 5, 7, 9-го и т. д. до выметывания метелки;

г) *выметывание метелки* – завершает период листообразования кукурузы, признаком выметывания является появление верхней части метелки из влагалища последнего листа;

д) *цветение метелки* – отмечается по появлению пыльников на главной ветви метелки;

е) *цветение початка* – отмечается по появлению из обертки початка нитевидных столбиков, несущих рыльце;

ж) *молочная спелость* – нитевидные столбики побурели и подсохли, но обертка початка остается зеленой;

з) *восковая спелость* – характеризуется восковой консистенцией зерна и приобретением цвета, свойственного данному сорту, при разрезании зерна выделение жидкости не происходит, обертка початка теряет зеленую окраску и подсыхает;

и) *полная спелость* – определяется по затвердению зерна в средней части початка, при нажиме зерно раскалывается.

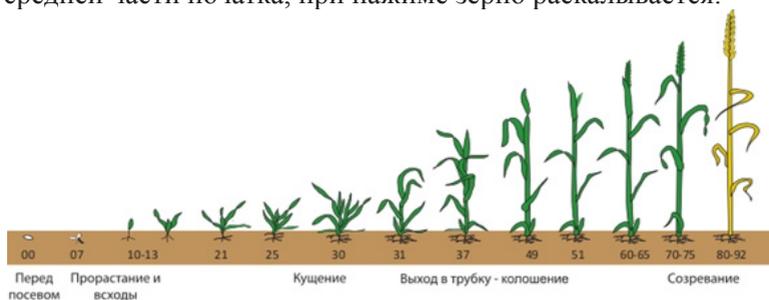


Рисунок 5.4 – Фазы развития кукурузы

3. *Хлопчатник* – род семейства Мальвовые, включающий более 50 видов древесных и травянистых, одно-, дву- и многолетних растений, происходящих из тропических и субтропических районов Азии, Америки, Африки и Австралии. Культурные формы в промышленных масштабах выращивают по всему свету как прядильные растения. Является источником растительных волокон для текстильной промышленности – хлопка. Стебель прямой, прочный, высотой 1–3 м, образует два типа ветвей – ростовые (2–3 ветви) и плодовые (16–18 ветвей), цветки, плод – коробочка с волокном. Из волокна хлопчатника вырабатывают различные ткани, из 1 кг волокна – 12 м ситца, 20 м батиста, 140 катушек ниток. Из короткого волокна – подпушка (линт) – изготавливают вату, фетр, высокосортную бумагу, кинофотопленку, пластмассу, нитролак, искусственную кожу. Из семян изготавливают хлопковое масло, маргарин, мыло, глицерин, стеарин, олифу.

Хлопчатник имеет следующие фазы развития:

а) *прорастание семян*;

б) *всходы*;

в) *первый настоящий лист*;

г) *третий настоящий лист*;

д) *пятый настоящий лист*;

е) *восьмой настоящий лист*. Первый настоящий лист бывает простым (овально-серцевидной формы), последующие листья приобретают расчлененную форму. Признаком наступления фазы является разворачивание соответствующей листовой пластинки. После того как у всех 40 растений наступит фаза восьмого настоящего листа, следует определить место закладки первой плодовой ветви;

ж) *цветение* – фазу считают тогда, когда расцвел первый цветок;

з) *раскрытие первой коробочки* – по мере созревания коробочки теряют влагу, происходит растрескивание коробочки и ее раскрытие сверху вниз, створки заворачиваются наружу и обнажают содержимое коробочки – сырец, затем происходит подсыхание и распушение сырца;

и) *созревание* – коробочка считается созревшей, если волокно в ней хорошо распушилось и легко вынимается;

к) *прекращение вегетации* – происходит под действием осенних заморозков.

**4. Сахарная свекла (свекловица)** – группа разновидностей обыкновенной свеклы, техническая культура, в корнях которой содержится много сахарозы. Это двулетнее корнеплодное растение, возделываемое для получения сахарозы, а также на корм животным. Сахарная свекла появилась в результате работы селекционеров. В 1747 году Андреас Маргграф выяснил, что сахар, который до того получали из сахарного тростника, содержится и в свекле. В то время ученый смог установить, что содержание сахара в кормовой свекле составляло 1,3 %. В современных сортах сахарной свеклы, выведенных селекционерами, оно превышает 20 %.

Сахарная свекла имеет следующие фазы развития:

а) *всходы*;

б) *первая пара настоящих листьев* (первый настоящий лист) – это появление между семядолями первого и второго листьев;

в) *вторая пара настоящих листьев* (третий настоящий лист) – появление в точке роста третьего настоящего листа;

г) *третья пара настоящих листьев* (пятый настоящий лист) – разворачивание пятого настоящего листа;

д) *начало роста корнеплода* – признаком начала роста корнеплода служит появление трещин на кожице корня и увеличение его в толщину.

Кроме того, глазомерно определяют смыкание растений в рядах, закрытие и пожелтение наружных листьев.

**5. Ароматичный табак** – род одно- и многолетних растений семейства Пасленовые, стебель высотой 1–2 м, листьев до 20–50 штук, цветки обоеполые, плод – многосеменная, двугнездная коробочка. Содержит никотин, культивируется как наркотическое средство, вызывающее кратковременную эйфорию. Употребление табака в различных видах и различными способами (куре-

ние, жевание, нюхание) вызывает зависимость. Растение родом из Южной Америки, в Евразии появилось в XVI веке как лекарственное и декоративное растение. Употребляется для изготовления табачных изделий, чистого никотина, применяется в фармацевтике и для защиты растений от вредителей.

Табак имеет следующие фазы развития:

- а) *всходы* – происходит появление семядолей;
- б) *первый настоящий лист* – появление между семядолями первого листа;
- в) *третий настоящий лист* – появление между первым и вторым листьями третьего листа;
- г) *5, 6, 7-й* и следующие листья;
- д) *рост стебля* – начало удлинения нижнего междоузлия;
- е) *образование первых пасынков* – в пазухах листьев появились первые пасынки с развернувшимся первым листом;
- ж) *образование соцветий* – появление первых бутонов, обнаруживающихся при отгибании верхних листочков;
- з) *цветение* – раскрытие первых цветков в соцветиях;
- и) *техническая спелость листьев* – технически зрелым лист считается тогда, когда он становится плотным и хрупким, окраска бледнеет, края и верхняя часть пластинки завертываются вниз, на ней появляются первые желтые пятна. Собирают табак по листьям нижнего, среднего и верхнего ярусов.

**6. Картофель**, или **Паслен клубненосный** – вид многолетних клубненосных травянистых растений из рода Паслен семейства Пасленовые. Родина картофеля – Южная Америка, где до сих пор можно встретить дикорастущий картофель. Введение картофеля в культуру (сначала путем эксплуатации диких зарослей) было начато примерно 7–9 тысяч лет тому назад на территории современной Боливии. Клубни картофеля являются важным пищевым продуктом, в отличие от ядовитых плодов, содержащих гликоалкалоид соланин. Клубни картофеля имеют свойство зеленеть при хранении на свету, что является индикатором повышенного содержания соланина в них.

Основные фазы картофеля (рисунок 5.5):

а) *всходы* – разделяют первые всходы (появление ростков на поверхности почвы в отдельных местах участка), и массовые всходы – (то же на большей части участка, при этом обозначаются рядки);

б) *появление боковых побегов* – в пазухах нижних листьев начинается удлинение боковых побегов;

в) *появление соцветий* – появление зачатков соцветий на верхушках стеблей;

г) *цветение* – раскрытие первых цветков в соцветиях;

д) *конец цветения* – отцветание (увядание) лепестков у большинства растений;

е) *увядание ботвы* – пожелтение, побурение большей части листьев у большинства растений, растения прекращают вегетацию.

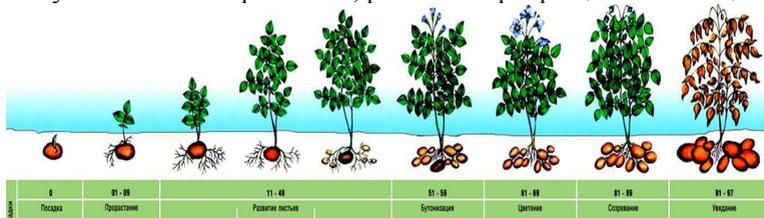


Рисунок 5.5 – Фазы развития картофеля

Периоды, в которые растения резко реагируют на аномальные отклонения агрометеорологических условий (света, тепла, влаги) от нормы, называются критическими. Для большинства зерновых культур *критическим периодом* по отношению к влаге считается период от кущения до выметывания метелки, а по отношению к теплу – от цветения до восковой спелости.

### 5.2.2. Этапы органогенеза

Многолетние наблюдения ученых за анатомо-морфологическими изменениями, происходящими в индивидуальной жизни растения, показали, что из участков недифференцированных тканей (меристемы), независимо от возраста растений, возникают, формируются и развиваются их органы: корни, стебли, листья,

цветки и семена (плоды). Этот процесс органогенеза называется *органогенезом* (от греч. genesis – происхождение, возникновение).

Глубокие анатомо-морфологические исследования были выполнены в Лаборатории развития растений в МГУ им. М.В. Ломоносова профессором Ф.М. Куперман и ее учениками в 1936–1980 гг. В специальной литературе ею были детально описаны особенности 12 выделенных этапов органогенеза. Чтобы наглядно проследить всю сложность формирования тканей и органов растения, не различимую при проведении визуальных фенологических наблюдений, приведем упрощенную схему (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Схема формирования элементов продуктивности озимой пшеницы на разных фазах и этапах органогенеза (по Ф.М. Куперман, Ю.И. Чиркову и др.) [25, 26, 64]

Фенофазы	Этапы органогенеза	Элементы продуктивности
Прорастание – всходы	I этап – клеточно-тканевая дифференциация меристемы	Прорастание семян, всхожесть, густота стояния растений на 1 м <sup>2</sup>
Третий лист – кущение	II этап – дифференциация основания стебля на зачаточные узлы, междоузлия и стеблевые листья	Габитус растения, коэффициент кущения, зимостойкость
	III этап – дифференциация главной оси зачаточного соцветия, члеников колоса, корзинки, початка	Число члеников колосового стержня
Начало выхода в трубку	IV этап – образование конусов нарастания второго порядка (колосовых бугорков)	Число колосков в колосе и продуктивная кустистость

Выход в трубку – начало стеблевания. Колошение.	V этап – закладка покровных органов цветка, тычинок, пестика (дифференциация цветка)	Число цветков в колосках
Начало бутонизации	VI этап – формирование пыльников и завязи	Готовность цветка к опылению (фертильность)
	VII этап – рост в длину вегетативных органов соцветия	
Завершение колошения, бутонизации	VIII этап – завершение процессов формирования всех органов соцветия и цветка	
Цветение, начало налива зерна	IX этап – цветение и оплодотворение	Озерненность колоса, начало формирования плодов
	X этап – рост и формирование зерновки и плодов	Величина зерновки, плодов
Налив, молочная спелость	XI этап – рост и формирование зерновки и плодов	
Восковая и полная спелость	XII этап – превращение питательных веществ в запасные вещества в зерновке и плодах	Масса зерновки и плод

Эти исследования показали, что все виды однолетних яровых, озимых, а также дву- и многолетних травянистых и древесно-кустарниковых растений, несмотря на специфические видовые особенности, проходят в своем развитии 12 этапов формирования тканей и органов. Ф.М. Куперман принадлежит заслуга открытия закона единства этапов органогенеза высших растений. Основные положения этого закона заключаются в следующем:

- всем цветковым растениям присуще единство процессов формирования побегов, выражаемое в последовательности прохождения 12 этапов органогенеза;

- различия в продолжительности этапов органогенеза побегов характеризуют основное разнообразие жизненных форм цветковых растений и их долголетие;

- для всех жизненных форм цветковых растений характерно формирование побегов с различными циклами этапов органогенеза;

- закон единства органогенеза проявляется в онтогенетической изменчивости строения органов растений и в морфологической, ярусной изменчивости строения побегов; он отражает количественные и качественные различия биохимических и физиологических процессов, присущих каждому этапу.

Благодаря этому закону выявилась возможность унификации наблюдений за всеми сельскохозяйственными культурами. Единство этапов органогенеза различных видов растений позволило разработать дополнительно к фенологическим наблюдениям новый метод диагностики состояния растений – экспресс-метод биологического контроля. Наблюдения за формированием зачаточных органов позволяют на ранних этапах развития достаточно быстро диагностировать заболевания растений, определять степень повреждения их вредителями, выявлять повреждения в период перезимовки, повреждения от засух и суховеев, ранних осенних и поздних весенних заморозков, пыльных бурь и других неблагоприятных для возделываемых культур условий погоды. Практическое использование этого экспресс-метода значительно повышает оперативность получения информации о состоянии посевов, особенно в районах, оказавшихся под воздействием опасных для посевов погодных явлений.

Известно, что кардинальным, переломным моментом в жизни каждого растительного организма является переход от вегетативного к генеративному развитию и плодоношению. Согласно представлению известного физиолога растений Д.А. Сабинина (1963), продуктивность растения определяется не только интенсивностью

ростовых процессов, но и главным образом развитием. Это определение было убедительно подтверждено исследованиями профессора Ф.М. Куперман на анатомо-морфологическом уровне в процессе исследования этапов органогенеза высших растений.

*Стадии развития растений.* В 20–40-х годах XX столетия в СССР в циклах развития многих сельскохозяйственных культур были выявлены так называемые *стадии развития*. Согласно теории стадийного развития, растения в течение своего онтогенеза проходят определенные, следующие друг за другом стадии: *яровизации, световую, плодоношения*, для которых характерен специфический обмен веществ. Внутри каждой стадии выделяются фазы, отмечаемые по морфологическим признакам. Видимым внешним морфологическим изменениям в ходе развития растения предшествуют скрытые внутренние качественные сдвиги, осуществляющиеся при определенном сочетании внешних и внутренних условий (в современном понимании – этапы органогенеза). Стадийные изменения, осуществляющиеся в точках роста, определяются внутренними физиологическими изменениями и передаются всем тканям, образующимся из этих почек. На основе этих стадий осуществляется развитие отдельных органов и признаков растения.

Первой стадией развития растительного организма считается *стадия яровизации* – процесс, протекающий в озимых формах одно- и двулетних растений под воздействием низких положительных температур определенной длительности, способствующий последующему ускорению развития этих растений [45]. Растения, нуждающиеся в яровизации, называются *озимыми*, а развивающиеся без этой стадии – *яровыми*. В условиях умеренного климата Северного полушария главным фактором, определяющим прохождение растением стадии яровизации, является температурный режим. Например, у озимых сортов пшеницы эта стадия проходит при пониженных температурах воздуха и почвы, в пределах 0...+4 °С. Для теплолюбивых растений оптимальны более высокие температуры – около 10–13 °С. Длительность воздействия пониженными температурами, необходимая для про-

хождения озимыми стадиями яровизации, у разных видов и сортов одного и того же вида составляет обычно от 36 до 60 (90) суток. Необходимым условием для прохождения стадии яровизации является сочетание пониженных температур, влажности почвы (воздуха) с периодической сменой светлой и темной частей суток. Яровизация вегетирующей озимой пшеницы проходит нормально при пониженных температурах в условиях «длинного» дня, а при повышенных температурах – при «коротком» световом дне.

После завершения стадии яровизации растение должно пройти вторую стадию, главная роль при прохождении которой принадлежит фактору освещенности – *световая стадия*. Фотопериодические воздействия на растения возможны только при наличии на них листьев. Роль света на этой стадии ученые-физиологи усматривают при накоплении богатых энергией ассимилятов и воздействии на скорость их передвижения из листьев в точки роста стебля. Кроме этого, фактор света является регулятором процессов дифференциации точек роста и органогенеза в целом. У растений средних и высоких широт световая стадия (необходимые изменения в точках роста, являющиеся основой дальнейшего развития организма) наступает в условиях либо круглосуточного освещения, либо «длинного» дня, прерываемого относительно небольшими периодами ночной темноты. Растения южных широт успешно проходят световую стадию при небольшой продолжительности дня [50].

Рядом ученых предложены и другие стадии развития, например: первая стадия *эмбриональная*, далее, после описанных выше стадий, наступает стадия *генеративная*, когда происходит закладка генеративных органов растения. Однако сведения о природе таких стадий пока весьма ограничены.

Таким образом, стадийное развитие – это прохождение растительным организмом определенных, следующих друг за другом стадий (яровизации, световой, плодоношения и др.), характеризующихся специфическим обменом веществ. В пределах каждой стадии выделяются фазы развития, отмечаемые по внешним морфологическим признакам. Как связаны этапы органогенеза

со стадийным развитием растения? Развитие и рост отдельных органов растения подчинены развитию и росту всего организма. У растения, стадийно подготовленного к образованию какого-либо органа, это образование может не происходить, если отсутствуют необходимые для роста данного органа условия. С другой стороны, даже самые благоприятные для роста органа условия не обеспечивают его образования организмом. Так, у растений, не завершивших стадию яровизации, не наблюдается сегментации конуса нарастания, т. е. закладки генеративных органов не произойдет. В период прохождения световой стадии у злаков осуществляется интенсивная сегментация вытягивания конуса нарастания и дифференциация лопастей соцветия, но к закладке самих органов плодоношения (V этап органогенеза) растение приступит только после световой стадии.

Экспериментальные исследования показали, что возможно управление процессом органогенеза. Например, воздействуя на определенном этапе органогенеза температурой, светом определенной интенсивности и составом, можно изменить число междоузлий, тип ветвления, строение цветка, число семян в завязи и т. п. у злаковых растений. Для растений южных широт (в условиях «короткого» дня) процессам органогенеза больше благоприятствуют коротковолновые лучи. Для растений «длинного» дня более благоприятными оказываются длинные лучи (красные) светового спектра. По мере перехода от одного этапа органогенеза к другому в растении изменяются состав пигментов, интенсивность фотосинтеза, скорость роста и другие физиологические процессы. Все эти важные биологические «детали» развития и роста растительного организма чрезвычайно важны при проведении селекционных работ, в частности создания новых сортов, гибридов и генотипов сельскохозяйственных культур. Вполне понятно, что при изучении агрометеорологических вопросов влияния погодных условий на рост, развитие и формирование продуктивности сельскохозяйственных культур, пастбищной растительности и сеяных трав биологические особенности различных растений имеют первостепенное значение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агроклиматические ресурсы Ошской области Киргизской ССР. Л.: Гидрометелиздат, 1975. 215 с.
2. *Алпатьев А.М.* Влагооборот культурных растений. Л.: Гидрометеиздат, 1954. 248 с.
3. *Бабушкин Л.Н.* Метеорологические факторы и растение // Тр. САГУ. Биологические науки. Новая серия. Вып. 35, кн. 13. 1953.
4. *Бабушкин Л.Н.* Основы агрометеорологии в Узбекистане. Ташкент: Изд-во Отд-ния НИГМИ, Узгидромет, 2004. 288 с.
5. *Бабушкин Л.Н.* О климатической характеристике летней воздушной засухи и суховеев в хлопковой зоне Узбекистана // Суховеи, их происхождение и борьба с ними. М.: Изд-во АН СССР, 1957. С. 59–64.
6. *Бабушкин Л.Н.* Агроклиматическое описание Средней Азии // Тр. ТашГУ. Сер. 236. Ташкент, 1964. Кн. 28. С. 5–185.
7. *Берлянд М.Е., Красилов П.Н.* Предсказание заморозков и борьба с ними. Л.: Гидрометеиздат, 1960. 148 с.
8. *Бихеле З.Н.* и др. Математическое моделирование транспирации растений при недостатке почвенной влаги / З.Н. Бихеле, Х.А. Молдау, Ю.К. Росс. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 223 с.
9. *Бокова П.А.* Град // Опасные гидрометеорологические явления в Средней Азии. Л.: Гидрометеиздат, 1977. С. 203–222.
10. *Будыко М.И.* Климат и жизнь. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 472 с.
11. *Бучинский И.Е.* Засухи и суховеи. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 214 с.
12. *Вериго С.А., Разумова Л.А.* Почвенная влага. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 328 с.
13. *Гордеев А.В.* и др. Биоклиматический потенциал России: теория и практика / А.В. Гордеев, А.Д. Клещенко, Б.А. Черняков, О.Д. Сиротенко. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. 512 с.

14. *Гольцберг И.А.* Агроклиматическая характеристика заморозков в СССР и методы борьбы с ними. Л.: Гидрометеоздат, 1961. 198 с.
15. *Грингоф И.Г., Клещенко А.Д.* Основы сельскохозяйственной метеорологии. Т. 1: Потребность сельскохозяйственных культур в агрометеорологических условиях и опасные для сельскохозяйственного производства погодные условия. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2011. 808 с.
16. *Грингоф И.Г., Пасечнюк А.Д.* Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения: учеб. для гидрометеорологических средних специальных учебных заведений Росгидромета. СПб., 2005. 552 с.
17. *Дроздов О.А.* Засухи и динамика увлажнения. Л.: Гидрометеоздат, 1980. 95 с.
18. *Ермакова Л.Н., Ермаков В.М.* Агрометеорология: учеб. пособие. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2004. 222 с.
19. *Захаров П.С.* Пыльные бури. Л.: Гидрометеоздат, 1965. 164 с.
20. *Звонков В.В.* Водная и ветровая эрозия земли. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 175 с.
21. *Зоидзе Е.К., Овчаренко Л.И.* Сравнительная оценка сельскохозяйственного потенциала климата территории РФ и степени использования ее агроклиматических ресурсов сельскохозяйственными культурами. СПб.: Гидрометеоздат, 2000. 75 с.
22. *Исаев А.А.* Экологическая климатология. М.: Науч. мир, 2001. 456 с.
23. *Константинов А.Р.* Погода, почва и урожай озимой пшеницы. Л.: Гидрометеоздат, 1978. 263 с.
24. *Коровин А.И.* Растения и экстремальные температуры. Л.: Гидрометеоздат, 1984. 271 с.
25. *Куперман Ф.М.* Биологические основы культуры пшеницы. М.: Изд-во МГУ, ч. 1, 1950; ч. 2, 1953; ч. 3, 1956.
26. *Куперман Ф.М., Дворянкин Ф.А.* Этапы формирования органов плодоношения злаков. М.: Изд-во МГУ, 1955. 318 с.

27. *Куперман Ф.М., Моисейчик В.А.* Вызревание озимых культур. Л.: Гидрометеоздат, 1977. 168 с.
28. *Курбаткин В.П., Ушинцева В.Ф.* Активные воздействия на гидрометеорологические процессы в Средней Азии / Среднеазиат. науч.-исслед. гидрометеоролог. ин-т. Ташкент: 2003. 145 с.
29. *Лебедев С.И.* Физиология растений: учеб. для с/х вузов. 2-е изд. М.: Колос, 1982. 463 с.
30. *Личикаки В.М.* Перезимовка озимых культур. М.: Колос, 1974. 208 с.
31. *Лосев А.П., Журина Л.Л.* Агрометеорология: учеб. для студентов вузов по агр. специальностям. М.: Колос, 2001. 301 с.
32. *Максимов Н.А.* Избранные работы по засухоустойчивости растений. Т. 1–2. М.: Изд-во АН СССР, 1952.
33. *Максимов Н.А.* Краткий курс физиологии растений: учеб. для с/х вузов. 8-е изд., перераб. М.; Л.: ОГИЗ-Сельхозгиз, 1948. 496 с.
34. *Махмудов К.М.* Град и хлопчатник / Среднеазиат. науч.-исслед. гидрометеоролог. ин-т им. В.А. Бугаева. Ташкент, 1999. 105 с.
35. *Моисейчик В.А., Шавкунова В.А.* Агрометеорологические условия перезимовки и формирования урожая озимой ржи. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 165 с.
36. *Муминов Ф.А.* Погода, климат и хлопчатник. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 191 с.
37. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 11. Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. Ч. 1. Основные агрометеорологические наблюдения. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 316 с.
38. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер.3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 32: Киргизская ССР. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 375 с.
39. *Ничипорович А.А.* и др. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах / А.А. Ничипорович, Л.Е. Строгонова, С.Н. Чмора, М.П. Власова. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 133 с.
40. *Остапюк Е.Д.* Причины вымокания растений. Киев: Наукова думка, 1977. 188 с.

41. *Пасечнюк А.Д.* Погода и полегание зерновых культур. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 212 с.
42. *Пасечнюк Л.Е., Сенников В.А.* Агроклиматическая оценка суховея и продуктивность яровой пшеницы. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 128 с.
43. *Перейра Л.* и др. Эвапотранспирация растений / Л. Перейра, Р. Аллен, Д. Раес, М. Смит. Ташкент, 2001. 296 с.
44. *Полевой А.Н.* Сельскохозяйственная метеорология: учеб. для студ. вузов, обучающихся по специальности агрометеорология / под ред. И.Г. Грингофа. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 424 с.
45. *Полевой В.В.* Физиология растений. М.: Высш. шк., 1989. 464 с.
46. *Полуэктов Р.А.* и др. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур / Р.А. Полуэктов, Э.И. Смоляр, В.В. Терлеев, А.Г. Топаж. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2006. 394 с.
47. Порядок действий организаций и учреждений Росгидромета при возникновении опасных природных (гидрометеорологических и гелиогеофизических) явлений. СПб.: Гидрометеоиздат, 2000. 31 с.
48. РД 52.04.563–96 Инструкция. Критерии стихийных гидрометеорологических явлений и порядок подачи штормового сообщения. М.: Росгидромет. 1996. 15 с.
49. *Роде А.А.* Почвоведение: учеб. пособие для лесохозяйственных факультетов вузов. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1955.
50. *Рубин Б.А.* Курс физиологии растений: учеб. для студентов биол. специальностей вузов. 4-е изд. М.: Высш. шк., 1976. 576 с.
51. *Синицина Н.И.* и др. Агроклиматология: учеб. пособие для студентов гидрометеорологических специальностей вузов / Н.И. Синицина, И.А. Гольцберг, Э.А. Струнников; под ред. И.А. Гольцберг. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 344 с.
52. *Соловьева М.А.* Зимостойкость плодовых культур при разных условиях выращивания. М.: Колос, 1967. 238 с.
53. *Страшная А.И.* Агрометеорологические условия перезимовки и формирования урожая семян многолетних сеяных трав на европейской части СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 157 с.

54. Сельскохозяйственный энциклопедический словарь. М.: Сов. энциклопедия, 1989. 656 с.
55. *Тимирязев К.А.* Жизнь растения. Десять общедоступных чтений с приложением четырех публичных лекций / под ред. чл.-кор. РАСХН В.М. Баутина. М.: Изд-во МСХА, 2006. 319 с.
56. *Туманов И.И.* Физиологические основы зимостойкости культурных растений. М.; Л.: Сельхозгиз, 1940. 366 с.
57. Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии / под ред. И.Г. Грингофа и А.М. Шамена. СПб.: Гидрометеоздат, 2002. 471 с.
58. *Тооминг Х.Г.* Солнечная радиация и формирование урожая. Л.: Гидрометеоздат, 1977. 200 с.
59. *Уланова Е.С.* Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 302 с.
60. *Уланова Е.С.* Методы оценки агрометеорологических условий и прогнозов урожайности зерновых культур. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 53 с.
61. *Утешев А.С.* Атмосферные засухи и их влияние на природные явления. Алма-Ата, 1972. 175 с.
62. *Цубербиллер Е.А.* Агроклиматическая характеристика сушоев. Л.: Гидрометеоздат, 1959. 119 с.
63. *Чудновский А.Ф.* Заморозки. Л.: Гидрометеоздат, 1949. 124 с.
64. *Чирков Ю.И.* Агрометеорология: учеб. для студентов вузов по агр. специальностям / под ред. И.Г. Грингофа. 2-е изд. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 296 с.
65. *Хромов С.П., Петросяну М.А.* Метеорология и климатология. М.: Изд-во МГУ, 2001. 519 с.
66. *Шарапов Н.И., Смирнов В.А.* Климат и качество урожая. Л.: Гидрометеоздат, 1966. 128 с.
67. *Шашко Д.И.* Агроклиматические ресурсы СССР. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 248 с.
68. *Шиголев А.А.* Температура как количественный показатель скорости развития растений и некоторых элементов его продуктивности // Тр. ЦИП. 1957. Вып. 53.

69. Шульгин А.М. Агрометеорология и агроклиматология: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности метеорология. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 200 с.

70. Шульгин А.М. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур // С/х биология. 1970. Т. 5, № 4. С. 533–541.

71. Шульгин И.А. Растение и Солнце. Л.: Гидрометеоиздат, 1973.

72. Шульгин И.А. Солнечные лучи в зеленом растении. Физиолого-метеорологические аспекты. М., 2009. 213 с.

73. Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации. СПб.: Гидрометеоиздат, 2005. 319 с.

74. Яковлев Н.Н. Климат и зимостойкость озимой пшеницы. Л.: Гидрометеоиздат, 1966. 419 с.

**Ольга Михайловна Стрижанцева**

**СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ**

Учебник

Редактор *И.В. Верченко*

Компьютерная верстка *А.С. Шабалиной*

Подписано в печать 13.11.2017

Печать офсетная. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Объем 14,25 п. л. Тираж 100 экз. Заказ 69

Издательство КРСУ

720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44

Отпечатано в типографии КРСУ

720048, г. Бишкек, ул. Горького, 2



### **Стрижанцева Ольга Михайловна**

Кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии, экологии и охраны окружающей среды Кыргызско-Российского Славянского университета. Специалист в области синоптической метеорологии, агрометеорологии и климатологии. Автор монографии «Загрязнение атмосферы Юго-Западного Кыргызстана», учебников «Сельскохозяйственная метеорология», «Рекреационные и туристские ресурсы Кыргызстана», а также более 30 научных статей.





