Л3
Б43

А.И. Белолюбцев, В.А. Сенников

БИОКЛИМАТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ АГРОЭКОСИСТЕМ



Москва 2012

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ – МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА

А.И. Белолюбцев, В.А. Сенников

БИОКЛИМАТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ АГРОЭКОСИСТЕМ

Допущено Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по агрономическому образованию в качестве учебного пособия для подготовки магистров по направлению 110400 «Агрономия»

ФГБОУ ВО РГАУ — МСХА
имени К.А. Тимирязева
Центральная научная библиотека
Фонд учебной литературы

Москва
Издательство РГАУ-МСХА
2012

УДК 551.586:[574.4:63]
ББК 40.22:4128
Б 63

Белолюбцев А.И., Сенников В.А. Биоклиматический потенциал агроэкосистем: Учебное пособие / А.И. Белолюбцев, В.А. Сенников. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. 160 с.

Материал Учебного пособия представлен в соответствии с программой дисциплины «Биоклиматический потенциал агроэкосистем». Издание рекомендовано Учебно-методическим объединением по агрономическому образованию.

Содержит описание ресурсной составляющей биоклиматического потенциала территорий, оказывающей влияние на процессы в сельском хозяйстве и продуктивность выращиваемых культур.

Изложены рекомендации по оценке и анализу агроклиматических ресурсов отдельных территорий, методы оценки биоклиматического потенциала агроэкосистем и обработки агроклиматических наблюдений, рассмотрены современные изменения агроклиматических условий в связи с потеплением климата и меры по адаптации к нему.

Предназначено для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений обучающихся по агрономическим специальностям.

ISBN 978-5-9675-0642-0

© Белолюбцев А.И.,
Сенников В.А., 2012
© ФГБОУ ВПО РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева, 2012
© Издательство РГАУ-МСХА, 2012

ВВЕДЕНИЕ

Сельское хозяйство относится к числу наиболее климатозависимых отраслей экономики, где продукционный процесс агроландшафтов находится под постоянным воздействием складывающихся погодных условий. Поэтому, несмотря на известные достижения современной агрономической науки и совершенствование агротехнологий, оно по-прежнему остается уязвимым к неблагоприятным факторам внешней среды

Кроме того, постоянно увеличивающиеся масштабы антропогенного давления на агроэкосистемы приводят к развитию процессов деградации сельскохозяйственных объектов, особенно отчетливо проявляющиеся в годы с экстремальными погодными условиями. Они проявляются в снижении урожайности большинства сельскохозяйственных культур, в существенно возросших масштабах потерь плодородия, разрушения и деградации почв, экологической уязвимости производства и высокой зависимости валовых сборов зерна от погодных условий. Прогрессирующая деградация почвенного покрова, обусловленная нерациональным использованием естественных природных ресурсов территорий и низким уровнем хозяйствования, по мнению ученых, стала в последние годы самой острой проблемой земледелия. По материалам Государственного доклада о состоянии и использовании земель РФ, скорость прироста эродированных почв в течение последних 40 лет достигла 6-7% на каждые 5 лет и составляет 0,4-1,5 млн га в год.

Во многих регионах страны сложившаяся ситуация создала серьезную экологическую напряженность, что послужило основанием для развития новых адаптивно-ландшафтных систем земледелия. К важнейшим достоинствам новых систем земледелия следует отнести организацию территории на ландшафтной основе; типизацию земель по ресурсам тепла, влаги и почвенного плодородия; адаптацию сельскохозяйственных культур и технологий их возделывания к агроэкологическим особенностям земель, а также отчетливо выраженную природоохранную направленность. По оценкам специалистов, адаптация систем земледелия до уровня агроландшафта позволит максимально использовать ресурсный потенциал территории, значительно уменьшить деградационные процессы, существенно повысить продуктивную устойчивость агроландшафтов и всего сельскохозяйственного производства.

Формирование систем земледелия на ландшафтной основе начинается с адаптивно-ландшафтной организации территории и оценки ее естественного биоклиматического потенциала (ресурсов света,

тепла, влаги и почвенного плодородия). Только после этого происходит выбор наиболее оптимального способа использования имеющихся ресурсов. Выделение однотипных территорий и экологически безопасное их использование базируются на комплексной оценке всех факторов, решающим среди которых является уровень адаптивности и рентабельности возделывания сельскохозяйственных культур на соответствующей территории.

Важнейшим условием дифференциации территории, оказывающим решающее влияние на распределение факторов природной среды по элементам агроландшафта, является рельеф. При этом микроклиматические различия даже в пределах одного севооборота могут превышать средние различия по фоновым показателям климата между пунктами, расположенными на расстоянии 300-400 км по широте. Поэтому вопросы, связанные с правильной оценкой и учетом биоклиматического потенциала природной среды, приемов его оптимизации, а также особенностей адаптивных реакций культур при возделывании их в различных почвенно-климатических условиях, приобрели в настоящее время особую актуальность. Решение этих проблем в современных условиях потепления климата и существенного роста его экстремальности, а также всё возрастающей климатической составляющей в формировании величины и качества урожая большинства сельскохозяйственных культур имеет большое народнохозяйственное значение. Это является важнейшим условием безопасного функционирования, повышения экологической и продуктивной устойчивости агроландшафтов к действию абиотических и биотических факторов.

ГЛАВА 1
РЕСУРСНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ БИОКЛИМАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА АГРОЭКОСИСТЕМ

Решение задачи стабильного экологически безопасного производства продуктов питания высокого качества для населения требует учета новейших достижений аграрной науки в области структурной и технологической адаптации землепользования к природным условиям. Это предполагает необходимость оценки современного экологического состояния земельных ресурсов, в составе которой, кроме анализа применяемых земледельческих технологий, содержится анализ природных условий их формирования.

Эффективное решение этой комплексной проблемы выдвигает в число приоритетных проблему мониторинга биоклиматического потенциала территорий (БКП). Реализация ее с помощью современных технических и технологических средств позволит получить серьезное информационное обоснование при разработке мероприятий по обеспечению устойчивого развития сельскохозяйственного производства, поднять на новый уровень продовольственную безопасность страны.

Применение БКП позволяет дать сравнительную межрегиональную оценку земель России через относительные значения биоклиматического потенциала, синтезирующего влияние на биологическую продуктивность основных факторов климата: тепла и влаги. Комплексное изучение биоклиматического потенциала позволит выбрать оптимальную структуру производства, прогнозировать риски и принимать решения по их предотвращению или минимизации ущерба, а также выработать соответствующие рекомендации и адаптивные меры, направленные на повышение устойчивости и безопасности агроэкосистем в любых условиях их функционирования.

1.1. Биоклиматический потенциал природной среды: понятия, методы, определения

В общепринятом понимании БКП характеризует природное богатство определенных территорий и предназначен для сравнительной оценки биологической продуктивности и продуктивности сельскохозяйственных культур, почвенного плодородия и др.

Основные понятия и методы расчета БКП даются в фундаментальной монографии, посвященной этим вопросам: «Биоклиматический потенциал России: теория и практика» авторов А.В. Гордеева, А.Д. Клещенко, Б.А. Чернякова, О.Д. Сиротенко (2006).

Впервые понятие о БКП в научную теорию и практику было введено П.И. Колосковым (1962, 1971). Он считал, что этот комплексный показатель характеризует общую потенциальную продуктивность земли и влияние таких важных климатических факторов, как температура, увлажненность и инсоляция.

Расширяя предложенное выше определение, Д.И. Шашко (1967, 1985) выделял комплекс других факторов, способствующих оптимизации сельскохозяйственного производства: набор культур, их биологическая продуктивность, эффективность производственно-хозяйственных издержек, уровень специализации и др. А количественным показателем, описывающим БКП данной среды, он считал относительные величины биологической продуктивности, отражающие влияние соотношения тепла и влаги.

В работах С.А. Сапожниковой (1963, 1979) для определения БКП использованы такие термины, как «сельскохозяйственный бонитет климата» или «сельскохозяйственная продуктивность климата». Автор впервые ввела их в практику для определения степени благоприятствования климата сельскохозяйственному производству, и прежде всего растениеводству, причем в качестве критерия благоприятствования она предложила использовать урожайность зерновых культур.

Оценка продуктивности природных условий, выраженная в количественных показателях (баллах), по мнению Д.И. Шашко (1967), составляет предмет их бонитировки. Разработанный им способ бонитировки по климатическим факторам (в баллах фактической и потенциальной продуктивности) весьма сходен с определением БКП, предложенным П.И. Колосковым (1962, 1971). Различия между ними заключены только в определении показателей оценки. Так, Д.И. Шашко считает, что максимальная биологическая продуктивность определяется суммами активных температур. При этом относительный показатель (коэффициент) биологической продуктивности он рассчитывает по данным фактической урожайности зерновых в условиях различного увлажнения и полагает, что урожай сельскохозяйственных культур определяется комплексом физико-географических условий, уровнем агротехники, максимально способствующим использованию растениями условий внешней среды, биологическими особенностями возделываемых культур, а также продолжительностью вегетационного периода, видовыми и сортовыми различиями растений.

Существуют и другие точки зрения, не исключающие указанные, но дополняющие их. Например, Ф.З. Батталов (1980) под сельскохозяйственной продуктивностью климата понимает комплекс метеорологических факторов, положительно влияющих на рост и развитие растений. По его мнению, это серьезный агрометеорологический ре-

сурс, причем сельскохозяйственная продуктивность климата может быть оценена для отдельной культуры или группы культур. Он считает, что использование урожая в качестве условного критерия при расчетах сельскохозяйственной продуктивности климата является неприемлемым, так как урожай зависит не только от климатических условий, но и от плодородия почвы.

В работах Е.К. Зоидзе (Зоидзе, 1993; Зоидзе, Овчаренко, 2000) БКП определяется как «сельскохозяйственный бонитет климата», или «сельскохозяйственный потенциал климата». Согласно его концепции под сельскохозяйственным потенциалом климата (СПК) следует понимать максимальные сельскохозяйственные возможности природной среды, комплексно определяемые на основе общих показателей тепло- и влагообеспеченности, радиационного режима, неблагоприятных агроклиматических явлений, плодородия почвы и рельефа. При этом конечный результат может быть представлен в виде обобщенных баллов бонитета по всем видам ресурсов, по их отдельным группам (блокам) и бонитировочным показателям.

Для сравнительной межрегиональной оценки земель Д.И Шашко (1985) считает необходимым установить их потенциальную биологическую продуктивность. В качестве такого критерия может служить относительное значение биоклиматического потенциала, характеризующее влияние на биологическую продуктивность основных факторов климата: тепла и влаги. В своих работах Д.И. Шашко (1967, 1985) провёл сравнительную оценку производительности земель на основе относительных значений биоклиматического потенциала. Опираясь также на других авторов, он сформулировал следующие положения:

1. Производительность земель при прочих равных условиях определяется количеством поступающей солнечной энергии. Она всецело зависит от географического местоположения и соотношения тепла и влаги.

2. В сельскохозяйственном производстве все большее значение в межрегиональном разрезе приобретает сравнительная оценка земель по факторам роста. Она должна проводиться с учетом комплекса природных условий, так же, как и плодородия почв.

3. Необходимо различать сравнительную оценку земель по природным факторам (биологической продуктивности) с их хозяйственной оценкой, поскольку первая характеризует ее биоклиматический потенциал, а вторая учитывает уровень урожайности, экономическое плодородие почв, степень использования биоклиматического потенциала. Оценка хозяйственного использования земель базируется на оценке их по природным факторам.

При этом сравнительная оценка биологической продуктивности земель проводится по сопоставимым показателям определенно-

го (обычно среднего) уровня сельскохозяйственного производства; оценка хозяйственного использования земель проводится с учетом показателей, отражающих фактическое состояние производства, т.е. при разных его уровнях.

При характеристике продуктивности земледелия следует учитывать также неблагоприятные климатические и погодные условия (низкие и высокие температуры, заморозки, суховеи др.), механический состав, кислотность и засоленность почв, особенности рельефа и др.

Значения биоклиматического потенциала, рассчитанные по приходу и соотношению тепла и влаги, используются для общей оценки биологической продуктивности и для частной оценки продуктивности экологических типов сельскохозяйственных культур. При применении расчетных значений биоклиматического потенциала для частной оценки могут вводиться поправки на сопутствующие факторы, лимитирующие развитие и рост растений. Они, кроме того, могут ограничивать ареалы возделывания определенных экологических типов сельскохозяйственных культур. В связи с вышеуказанными обстоятельствами частная оценка биологической продуктивности по расчетным значениям биоклиматического потенциала может применяться только в границах ареала возделывания конкретных культур.

На основе вышеизложенных положений (Шашко, 1985) разработана методика сравнительной оценки земель в межрегиональном разрезе. Она основывается на объективных показателях биологической продуктивности, т.е. относительных значениях биоклиматического потенциала, учитывающих влияние тепла, влаги и почвы на биологическую продуктивность растении при сопоставимых уровнях интенсивности земледелия. Биологическая продуктивность растительных организмов измеряется количеством биомассы (т/га), производимой в единицу времени на единице площади (обычно за год или за вегетационный период).

Кроме тепла и влаги, биологическая продуктивность растений определяется: почвенным плодородием; уровнем интенсивности земледелия, обеспечивающим дополнительное поступление в почву питательных веществ; биологическими особенностями экологических типов сельскохозяйственных культур, в т.ч. их реакцией на окружающие условия развития и роста растений. При межрегиональной оценке земель тепло и влага, почвенное плодородие, интенсивность земледелия, биологические особенности культур рассматриваются как основные факторы биологической продуктивности.

В условиях равной теплообеспеченности продуктивность растений определяется степенью влагообеспеченности, и наоборот. Поэтому в практическом плане важно учитывать комплексное влияние тепло-

и влагообеспеченности на продуктивность растений. Такое влияние рассчитывается по формуле, определяющей величину биоклиматического потенциала. БКП в этом случае представляет отношение суммы среднесуточных температур воздуха за период активной вегетации к аналогичной сумме для реперной территории, умноженной на коэффициент, отражающий влияние влагообеспеченности на урожай.

На территории бывшего СССР средняя продуктивность зерновых культур соответствовала БКП=1,9, который был принят в качестве базового (100 баллов). Поэтому переход от БКП к баллам осуществляется умножением значения БКП на соответствующий коэффициент пропорциональности.

Значительный вклад в развитие теории и практики изучения и определения БКП природной среды внесла С.А. Сапожникова (Сапожникова, 1963, 1979; Сапожникова, Шашко, 1959; Сапожникова, Бринкен, 1970). По ее мнению, исторически сложились два взаимодополняющих направления в агроклиматических исследованиях, особенности которых достаточно хорошо демонстрируются их результатами. В одном случае заключительным этапом становится районирование агроклиматических ресурсов (тепла, влаги) или опасных явлений (суровости зимы, засух, заморозков), в другом – районирование систем сельскохозяйственного производства и их составляющих (растений, агротехнических приемов, удобрений) в зависимости от климата.

Районирование указанных ресурсов или стихийных явлений базируется преимущественно на количественной дифференциации универсальных показателей (сумм температур выше 10°С, коэффициентах увлажнения, длине безморозного периода). При районировании конкретных элементов сельскохозяйственного производства, как правило, подбираются соответствующие специфические показатели, что дает преимущество при оценке климатической обеспеченности данного элемента. Однако это затрудняет сравнительную оценку, например, эффективности разных агротехнических приемов, что необходимо при выборе оптимального варианта. Оба направления исследований рассматривают раздельно ресурсы света, тепла и влаги, а их обобщение осуществляется лишь в процессе картографирования.

Необходимость интегральной количественной оценки климата применительно к ведущим культурам в целом возникла еще в конце 50-х гг. XX в. При огромном климатическом многообразии территории страны оказалось совершенно необходимым, наряду с сельскохозяйственным бонитетом почвы, учитывать и сельскохозяйственный бонитет климата. Если при дифференциации «цены гектара» в пределах отдельных хозяйств, административных районов, а иногда и областей ведущая

роль принадлежит бонитету почвы, то в пределах республик, краев и крупных областей решающее значение приобретает бонитет климата.

В основу расчета бонитета климата С.А. Сапожниковой положена оценка тепло- и влагообеспеченности урожая зерновых, поскольку зерновые культуры занимают ведущее место не только в России, но и во многих других странах мира.

Чтобы учесть тот факт, что урожайность сельскохозяйственных культур определяется комплексом факторов, в том числе агротехнических, и при одной и той же тепло- и влагообеспеченности может существенно различаться, была использована единая условная шкала для исключения влияния неоднородности агротехнического уровня. Она была получена исходя из средней урожайности зерновых за период с 1960 по 1968 гг. на Государственной сортоиспытательной сети бывшего СССР. Предложенная шкала выгодно отличается тем, что охватывает весь диапазон возможной тепло- и влагообеспеченности всех территорий при сравнительно однородном уровне агротехники.



Рис. 1.1. **Блок-схема оценки сельскохозяйственного потенциала климата** (Зоидзе, 1993; Зоидзе, Овчаренко, 2000).

Термин «биоклиматический потенциал» используется не всеми учеными и исследователями. Так, в работах Е.К. Зоидзе (Зоидзе, 1993; Зоидзе, Овчаренко, 2000) этот термин заменен понятием сельскохозяйственного потенциала климата (СПК). Однако совершенно

очевидно, что речь идет о классическом подходе к исследованию биоклиматического потенциала среды. Даже основа предлагаемого подхода к оценке СПК – комплексный учет основных составляющих природной среды – говорит об этом (рис. 1.1).

Как известно, ведущим фактором природной среды является климат. Поэтому характер воздействия различных факторов среды на растение в значительной мере определяется агроклиматическим (климатическим) режимом, а также плодородием почвы, которая в свою очередь является продуктом климата. Следует при этом отметить роль рельефа, который, особенно на микро- и мезоуровне, может корректировать даже общециркуляционные процессы. С переходом к оценке СПК на более мелких, чем субъект РФ, территориальных образованиях, например, в административных районах, роль факторов почвы и микроклимата будет усиливаться. Принцип приоритетности в настоящей методике осуществляется с помощью более широкого и полного представления того или иного компонента природной среды, а также с помощью более высоких весовых коэффициентов при них.

Естественное плодородие почвы оценивается по режиму питания, гранулометрическому составу и агрогидрологическим свойствам почвы. Рельеф местности характеризуется высотой над уровнем моря, площадью водной поверхности и заболоченных территорий. Наконец, собственно агроклиматический потенциал можно оценить по термическому, влажностному, радиационному режимам и неблагоприятным агроклиматическим условиям.

Очевидно, что свет, тепло и влага всегда оказывают основное влияние на растение, и это следует учитывать при сельскохозяйственной бонитировке климата. Однако стихийные гидрометеорологические явления могут существенно снизить сельскохозяйственный потенциал климата, и без их учета достаточно проблематично составить реальное представление о сельскохозяйственном потенциале территории по ресурсам климата (Kleschenko, 2004; Kleschenko et al., 2005). С целью реализации этого положения в блок-схеме сельскохозяйственной бонитировки климата неблагоприятные агроклиматические условия представлены отдельным блоком.

Важнейшей проблемой сельскохозяйственной бонитировки климата является формирование системы бонитировочных показателей, характеризующих как в целом сельскохозяйственный потенциал климата какого-либо таксономического образования, так и его отдельные блоки. Их качественный и количественный состав во многом зависит от целей и задач бонитировки, информационной базы и т.д. Решение этой сложной проблемы во многом облегчается, если использовать достижения науки по разработке агроклиматических показателей.

Для агроклиматического районирования и для оценки БКП обычно используются следующие агроклиматические показатели.

1. Для оценки термических условий (теплообеспеченности) вегетационного периода чрезвычайно важны:

а) даты начала и конца вегетационного периода и его продолжительность;

б) суммы активных температур воздуха за вегетационный период и динамика их накопления по отдельным периодам (фазам) вегетации растений;

в) даты ранних и поздних заморозков различной интенсивности и различной степени вероятности, вероятность (%) опасных заморозков за вегетационный период;

г) снижение сумм активных температур за счет весенних и осенних заморозков с учетом зональности климатических условий;

д) температура воздуха за самый теплый месяц для оценки уровня летних температур;

е) средние из абсолютных годовых максимумов температуры воздуха, особенно для жарких районов.

2. Для оценки обеспеченности влагой вегетационного периода:

а) даты начала и конца сухого и засушливого периодов и их продолжительность;

б) показатель обеспеченности осадками по месяцам вегетационного периода и фазам развития растений;

в) вероятность недостаточной и избыточной обеспеченности влагой вегетативного и репродуктивного подпериодов;

г) суммы активных температур воздуха, обеспеченных влагой;

д) вероятность наибольшего периода без осадков в течение вегетационного периода и его продолжительность;

е) вероятность суховеев.

3. Для оценки условий перезимовки:

а) даты начала и конца периода покоя и его продолжительность;

б) температура воздуха самого холодного месяца;

в) средние из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха;

г) вероятность годовых минимумов температуры воздуха в определенных пределах, определяемых на основании средних из абсолютных годовых минимумов температуры;

д) абсолютный минимум температуры воздуха;

е) средние и крайние даты начала и конца устойчивого снежного покрова;

ж) глубина снежного покрова в наиболее холодный месяц или в наиболее холодный период;

з) наибольшая глубина снежного покрова в конце зимы;

и) средние из абсолютных годовых минимумов температуры почвы на различных глубинах, и особенно на глубине узла кущения;

к) вероятность годовых минимумов температуры почвы на различных глубинах и по типам почв.

4. Для оценки световых ресурсов целесообразно учитывать продолжительность дня и ночи по фазам развития.

1.2. Оценка термических ресурсов и теплообеспеченности сельскохозяйственных культур

Определяющими климатическими составляющими БКП являются тепло- и влагообеспеченность, радиационный режим, условия перезимовки. Отсюда, для достижения агроклиматических целей, изучение климата складывается в основном из оценки:

- термических и световых ресурсов вегетационного периода и его подпериодов;
- условий влаго- и водообеспеченности почвы и атмосферы за те же периоды;
- условий перезимовки озимых и многолетних культур.

Под термическими ресурсами в агроклиматологии понимают то количество тепла, которым располагает территория, где произрастают сельскохозяйственные культуры. Термические ресурсы вегетационного периода чаще всего оценивают суммой температур воздуха. Для их расчета можно использовать непосредственно радиационные характеристики. Но таких материалов наблюдений, как правило, мало. В то же время доказана хорошая связь радиационного баланса с суммами температур теплого периода года.

Один из основоположников методов оценки термических ресурсов Г.Т. Селянинов считает, что сумму температур за вегетационный период или за какую-то часть его можно рассматривать как приближенный интеграл всех воздействий термического фактора на растение в период вегетации, как простой и удобный климатический показатель термических ресурсов вегетационного периода.

Наиболее широкое применение в агроклиматологии нашли два вида сумм температур, различающихся методом расчета и назначением:

Сумма активных температур – показатель, характеризующий количество тепла, выраженный суммой средних суточных температур воздуха или почвы, превышающих биологический минимум температуры, установленный для определенного периода развития растений.

Таблица 1.1

Биологические минимумы и хозяйственные оптимумы температуры воздуха (°С) в разные периоды развития полевых культур (Степанов, 1957)

	Минимум				Оптимум			
Культура	Появление всходов	Формирование вегетативных органов	Формирование генеративных органов и цветение	Плодоношение	Появление всходов	Формирование вегетативных органов	Формирование генеративных органов и цветение	Плодоношение
Зерновые								
Пшеница	4-5	4-5	10-12	12-10	6-12	12-16	16-20	16-22
Рожь	4-5	4-5	10-12	12-10	6-12	12-16	16-20	16-22
Ячмень	4-5	4-5	10-12	12-10	6-12	12-16	16-20	16-22
Овес	4-5	4-5	10-12	12-10	6-12	12-16	16-20	16-22
Кукуруза	10-12	10-12	12-15	12-10	15-18	16-20	20-24	18-24
Просо	10-11	10-11	12-15	12-10	15-18	16-20	18-22	18-24
Рис	14-15	14-15	18-20	15-12	18-22	18-27	22-27	20-25
Гречиха	7-8	7-8	10-12	12-10	16-18	16-20	16-20	17-21
Зерновые бобовые								
Вика	4-5	4-5	10-12	12-10	6-12	12-16	16-20	16-22
Горох	4-5	4-5	10-12	12-10	6-12	12-16	16-20	16-22
Чечевица	4-5	4-5	12-15	12-10	6-12	12-16	17-21	17-22
Чина	4-5	4-5	10-12	12-10	6-12	12-16	17-21	19-23
Бобы	5-6	5-6	8-10	10	9-12	12-16	16-20	16-22
Нут	5-6	5-6	12-15	15-12	9-12	17-18	17-21	20-24
Фасоль	12-13	12-13	15-18	15-12	15-18	16-26	18-25	20-23
Соя	10-11	10-11	15-18	12-10	15-18	15-18	18-22	18-22
Люпин	5-6	5-6	8-10	10	9-12	14-16	16-20	16-20

Окончание табл. 1.1

Корнеплоды и клубнеплоды								
Сахарная свекла	6-7	6	-	-	15-17	20-22	-	-
Картофель	7-8	-	-	21	18-25	20-25	20-25	16-18*
Масличные								
Подсолнечник	7-8	7-8	12-15	12-10	9-12	15-18	19-23	16-22
Арахис	14-15	14-15	18-20	15-12	18-22	18-22	22-27	20-25

Биологический минимум температуры – это минимальное значение температуры воздуха (почвы), при котором начинается вегетация сельскохозяйственных растений. Для различных растений он неодинаков. Так, для зерновых культур биологический минимум составляет 5°С, для кукурузы – 10°С, для хлопчатника – 13°С (у южных сортов хлопчатника – 15°С). Более детально биологический минимум температуры представлен в таблице 1.1.

Сумма эффективных температур – показатель, характеризующий количество тепла, выраженный суммой средних суточных температур воздуха или почвы, уменьшенных на величину биологического минимума температуры.

Суммы активных температур выше 10°С ($\sum t_{ак}>10°C$) чаще всего применяются для:

- оценки ресурсов тепла территории;
- оценки потребности в тепле сельскохозяйственных культур за весь период вегетации (от посева до созревания) или по отдельным фазам развития;
- расчетов обеспеченности теплом сельскохозяйственных культур (различных по скороспелости) по термическим ресурсам территории, где они уже произрастают или предполагается их выращивание.

Суммы активных температур установлены для многих сельскохозяйственных культур. При этом принято, что они являются постоянными для данного сорта (гибрида) как для отдельных периодов их развития, так и за весь период вегетации. Они характеризуют суммарную потребность в тепле различных сортов и гибридов, отличающихся по скороспелости (табл. 1.2).

Сумму температур воздуха выше 10°С (или какого-либо предела) за вегетационный период определяют:

- суммированием средних суточных температур от даты перехода температуры через 10°С весной до даты перехода температуры через этот предел осенью;
- с помощью графика хода средних месячных температур воздуха за рассматриваемый период.

Таблица 1.2

Потребность в тепле основных культур за вегетационный период

Культура	Скороспелость сортов	Температура, °С		Потребность культуры в тепле $\Sigma t_{ак}$ >10°С
		начала роста	созревания	
Озимая рожь	среднеспелые	5	10	1350
	позднеспелые	5	10	1400
Озимая пшеница	среднеспелые	5	10	1450
	позднеспелые	5	10	1500
Яровая пшеница	раннеспелые	5	10	1400
	среднеспелые	5	10	1500
	позднеспелые	5	10	1700
Ячмень	среднеспелые	5	10	1350
	позднеспелые	5	10	1450
Овес	среднеспелые	5	10	1450
	позднеспелые	5	10	1550
Горох	раннеспелые	5	10	1250
	среднеспелые	5	10	1400
Фасоль	раннеспелые	12	12	1500
	среднеспелые	12	12	1700
	позднеспелые	12	12	1900
Картофель	раннеспелые	10	-	1200
	среднеспелые	10	-	1500
	позднеспелые	10	-	1800
Кукуруза	раннеспелые	10	10	2200
	среднеспелые	10	10	2500
	позднеспелые	10	10	2900
	на силос	10	-	1300
Соя	раннеспелые	10	10	2150
	среднеспелые	10	10	2550
	позднеспелые	10	10	3050

Окончание табл. 1.2

Подсолнечник	раннеспелые	8	10	1850
	среднеспелые	8	10	2000
	позднеспелые	8	10	2300
Рис	раннеспелые	15	15	2500
	позднеспелые	15	15	3350
Хлопчатник	раннеспелые	12	15	3100
	позднеспелые	12	15	4000
Огурцы	ранние	-	-	1200
	поздние	-	-	1450
Томаты	ранние	-	-	1500
	поздние	-	-	1750
Морковь	ранняя	-	-	1500
	поздняя	-	-	1750
Свекла столовая	ранняя	-	-	1500
	поздняя	-	-	1750

Значения температуры ниже 10°С в расчет не входят. Суммы температур за декады или месяцы получают путем умножения средней декадной или месячной температуры на число дней декады или месяца.

Суммы активных температур можно рассчитать по графику годового хода температуры воздуха, построенному по данным Метеорологической обсерватории им. В.А. Михельсона (рис. 1.2).

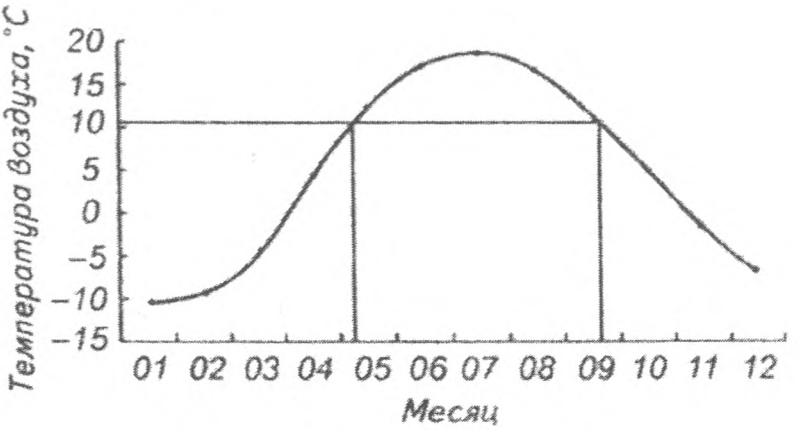


Рис. 1.2. **График годового хода температуры воздуха по данным Метеорологической обсерватории им. В.А. Михельсона**

Сумму активных температур за неполные месяцы вычисляют по формуле:

$$\Sigma t_{ак} >10° = \frac{t_{10} + t}{2} \cdot n, \qquad (1.1)$$

где $\Sigma t_{ак} >10°C$ – сумма температур за неполный месяц в начале вегетационного периода, °С; t_{10} – температура воздуха (°С) на дату перехода температуры через 10°С; t – температура на последний день месяца, °С; n – период (число дней), за который подсчитывается сумма.

П р и м е р. Переход температуры воздуха через 10°С весной приходится на 7 мая, а на 31 мая температура воздуха составила 15°С. Продолжительность периода с температурой выше 10°С составляет 24 дня (31-7=24). Сумма температур в мае за период с температурой выше 10°С, рассчитанная по формуле (1.1):

$$\Sigma t_{ак} >10° = \frac{10.0 + 15.0}{2} \cdot 24 = 300°C.$$

Итоговую сумму активных температур получают путем суммированием температур за все периоды от даты перехода температуры через 10°С весной до даты перехода температуры через этот предел осенью.

Сумма температур, рассчитанная в целом за вегетационный период, не дает представления о динамике ее накопления, тогда как для решения ряда задач необходимо это знать. Для этого Ф.Ф. Давитая предложил номограмму (рис. 1.3), при помощи которой можно определить накопление той или иной суммы температур на определенную дату. По оси абсцисс отложены дни вегетационного периода и накопленная сумма температур выше 10°С к той или иной дате; по оси ординат – средние многолетние суммы температур за вегетационный период. На номограмме первая кривая, соответствующая нулевой сумме, указывает на начало периода с температурой выше 10°С, а последняя замыкающая кривая – на конец этого периода.

Зная среднюю многолетнюю сумму активных температур выше 10°С для данного района, по номограмме можно определить дату накопления определенной суммы активных температур. Также можно рассчитать продолжительность периода активной вегетации и средние сроки наступления различных фаз развития сельскохозяйственных культур, в том числе и сроки их созревания в различных географических районах.

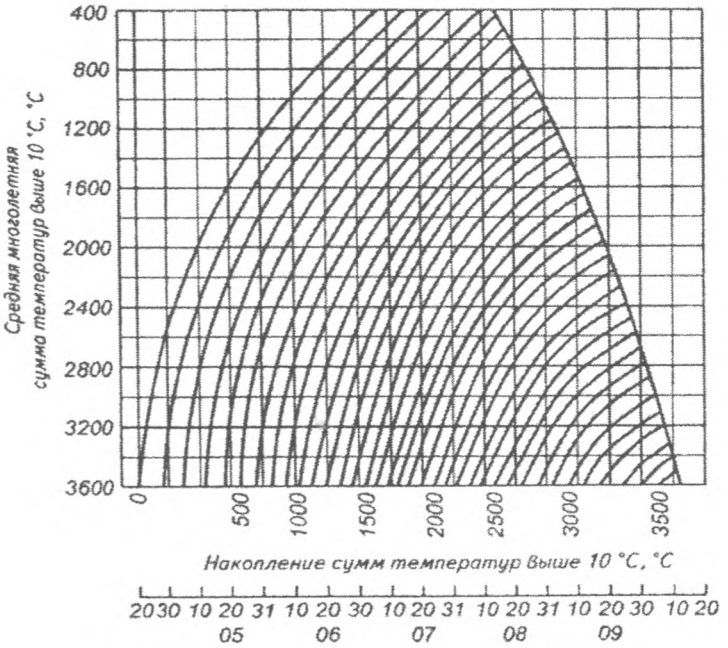


Рис. 1.3. **Даты накопления сумм температур выше 10°С в зависимости от средних многолетних сумм (Ф.Ф. Давитая)**

П р и м е р. Средняя многолетняя сумма активных температур составляет 3500°С. Определить дату накопления сумм температур 1000°С. Для решения этой задачи на оси ОУ находим сумму температур 3500°С, затем проводим горизонтальную прямую до пересечения с кривой накопления суммы 1000°С и, опуская перпендикуляр из этой точки на ось ОХ, определяем искомую дату. Эта дата – 16 июня.

Наряду с суммами температур для оценки термических условий необходимо учитывать уровень температуры в отдельные периоды вегетации, в особенности среднюю температуру самого теплого месяца.

Общую оценку термических условий вегетационного периода дают по суммам активных температур. В отдельные годы суммы активных температур за вегетационный период могут существенно отличаться от средних многолетних.

Чтобы установить, обеспечена ли сельскохозяйственная культура теплом в большинстве лет в данном месте, следует определить повторяемость сумм температур, требуемых растением.

Обеспеченность вегетационного периода суммой температур выше 10°С определяют по графику Ф.Ф. Давитая (рис. 1.4). На графике показаны кривые обеспеченности вегетационного периода суммой температур выше 10°С: I – в климатах неустойчивого типа, II – в климатах устойчивого типа, III – в климатах особо устойчивого типа.

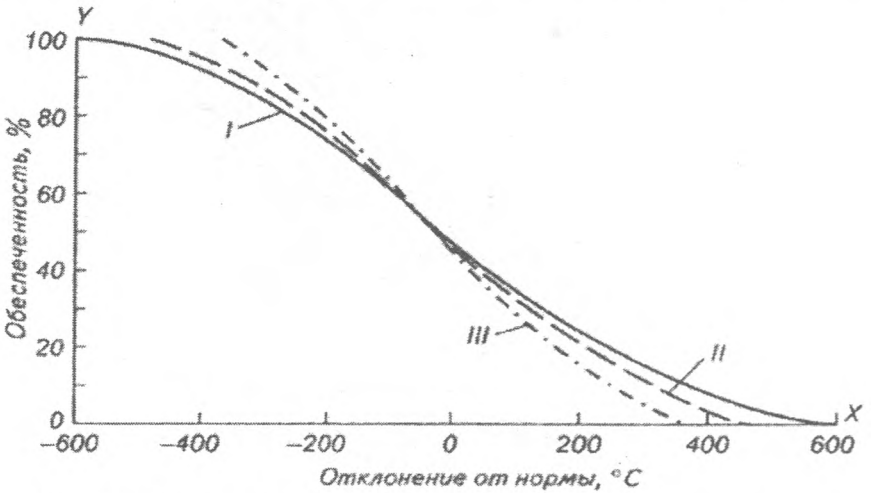


Рис. 1.4. **Кривая обеспеченности вегетационного периода суммой температур выше 10°С:**
/— в климатах неустойчивого типа; //— в климатах устойчивого типа; ///— в климатах особоустойчивого типа

По графику можно определить теплообеспеченность любой культуры. Для этого надо знать потребность культуры в тепле и климатическую сумму температур для данной территории.

П р и м е р. В районе Подмосковья средняя многолетняя сумма температур за период активной вегетации равна 2000°С, а для полного вызревания какой-то конкретной культуры требуется 1900°С (фасоль позднеспелая) (табл. 1.2). Данная культура созревает столько раз, сколько раз будут повторяться суммы выше 1900°С в этом районе при оптимальном увлажнении. Чтобы ответить на этот вопрос, следует найти разность 1900-2000= -100°С и от полученного отклонения -100°С на оси абсцисс (рис. 1.4) провести прямую, параллельную ординате. По точке пересечения этой прямой с кривой и данного типа климата (*I*) находим обеспеченность в процентах. В нашем примере обеспеченность равна 60%, т.е. фасоль позднеспелая в этом районе будет вызревать в 6 годах из 10.

Возделывание культуры считают целесообразным, если она обеспечена теплом не менее чем на 80%, т.е. в 8 годах из 10 .

П р и м е р. Потребность в тепле картофеля среднеспелого сорта составляет 1500°С, ресурсы тепла в Подмосковье – 2000°С (сумма активных температур). Находим разность между потребностями картофеля в тепле и термическими ресурсами территории: 1500°- 2000°= - 500°С. Обеспеченность теплом картофеля раннеспелого составляет ≈ 99,5%, т.е. он будет вызревать ежегодно. Выращивать такой картофель целесообразно.

Таблица 1.3

Суммы активных температур воздуха выше 10°С ($\sum t_{ак} > 10°С$) по областям Центрального Нечерноземья, обеспеченные в 90% лет, и продолжительность периода с температурой выше 10°С (Гордеев и др., 2006)

№ пп	Область	Сумма активных температур ($\sum t_{ак} > 10°С$), °С	Период с t > 10°С, дней
1	Владимирская	1745	110
2	Брянская	1950	136
3	Ивановская	1655	105
4	Костромская	1560	100
5	Калужская	1800	121
6	Московская	1795	118
7	Орловская	2250	121
8	Рязанская	2025	120
9	Смоленская	1469	114
10	Тверская	1594	108
11	Тульская	1900	121
12	Ярославская	1560	105

Ресурсы тепла, выраженные суммами активных температур выше 10°С, для Центральных районов Нечерноземной зоны приведены в таблице 1.3. Суммы температур представлены в осреднении по областям, обеспеченные в 90% лет. Если принять, что области, располагающие суммами температур выше 10° до 1500°С включительно, относятся к группе с недостаточной теплообеспеченностью, а с 1500-2500°С – к группе с достаточной теплообеспеченностью, то можно предположить, что практически все области относятся ко второй группе.

Таблица 1.4

Обеспеченность созревания и достижения хозяйственно-ценных фаз развития (в 90% лет) (Чирков, 1969)

Показатель ресурсов тепла (сумма температур выше 10°С), °С		Культура
ЕЧС, Западная Сибирь	Восточная Сибирь, Дальний Восток	
Менее 400	Менее 400	Овощные культуры в защищенном грунте
400	400	Редис, салат, шпинат, лук на перо
Менее 800	Менее 700	Репа, турнепс, капуста (р), картофель (р) при спецагротехнике
1000	800	Ячмень (р), озимая рожь (р) на более теплых участках
1200	1000	Ячмень (р), горох (р), лен (р) на волокно
1400	1200	Овес (р), ячмень (с)
1600	1400	Яровая пшеница (р), озимая пшеница, кукуруза (с) в фазе выметывания, сахарная свекла на корм
1800	1600	Ячмень (п), овес (п), кукуруза (п) на силос в фазе выметывания, просо (р)
2000	1800	Яровая пшеница (п), подсолнечник (р) на семена, сахарная свекла на сахар
2200	2000	Кукуруза (р) на зерно, сахарная свекла (р), фасоль (р), просо (п)
2400	2200	Кукуруза (с) в фазе молочно-восковой спелости, рис (р), соя (р), виноград (р)
2600	2400	Абрикос (р), фасоль (п), подсолнечник (п) на семена
2800	2600	Кукуруза (с) на зерно, кукуруза (п) в фазе молочно- восковой спелости, сорго (р)
3000	-	Кукуруза (с, п) на зерно, виноград (с)
3200	-	Кукуруза (п) на зерно, грецкий орех, каштан
3400	-	Соя (п), арахис (р), сорго (п), инжир, гранат, хурма

Окончание табл. 1.4

3600	-	Хлопчатник (р), лимон, мандарин
4000	-	Хлопчатник (с), рис (п), виноград (п)
4400	-	Маслины, апельсин
4800	-	Хлопчатник (п), джут

Примечание. Сокращения в 3-й графе таблицы означают: р – ранние сорта, с – средние, п – поздние.

Дополнительной характеристикой теплообеспеченности служит продолжительность периода с температурой выше 10°С, т.е. периода активной вегетации большинства сельскохозяйственных культур этого региона. Он измеряется от 105 дней в Ярославской области до 136 дней в Брянской области.

В зональном разрезе перечень культур, обеспеченных теплом в 90% лет, представлен в таблице 1.4.

1.3. Оценка условий увлажнения (ресурсов влаги) и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур

Влага является одним из незаменимых факторов жизни растений, определяющим успешность сельскохозяйственного производства. Всю территория по увлажнению делят на три зоны: влажную, засушливую и сухую. Во влажной зоне количество осадков за год превышает возможное испарение, или испаряемость. Значительное снижение урожая в этой зоне из-за недостатка влаги маловероятно. В засушливой зоне осадки за год меньше возможного испарения. Здесь растения часто испытывают недостаток во влаге, вследствие чего для этой зоны характерны значительные колебания урожая по годам. В сухой зоне (полупустыни и пустыни) количество осадков так мало, что земледелие без орошения нерентабельно.

Растения используют в основном влагу, содержащуюся в почве. Поэтому так важны сведения о влажности почвы, закономерностях ее формирования и изменения во времени и в пространстве в различных климатических зонах. Установление зависимости формирования урожая от запасов почвенной влаги имеет значение для оценки состояния посевов и насаждений, для определения эффективности агротехнических мероприятий.

Ресурсы влаги любого региона чаще всего оцениваются количеством выпадающих осадков. При этом используются средние многолетние суммы осадков (нормы), различающиеся во временном отношении: годовые, теплого и холодного периодов, месячные, декадные.

Количество атмосферных осадков на территории оценивают средними многолетними суммами за месяц и представляют в форме графика, называемого гистограммой (рис. 1.5). Гистограмма состоит из смежных прямоугольников, основаниями которых являются месяцы, а высотами – суммы осадков.

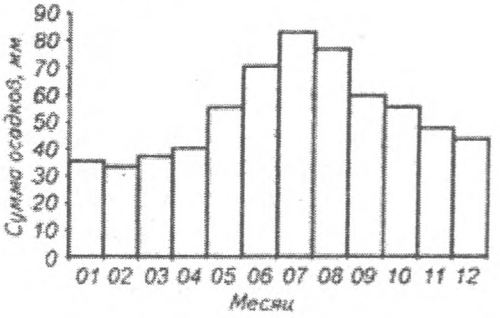


Рис. 1.5. **График годового хода осадков по данным Метеорологической обсерватории им. В.А. Михельсона**

Среднее многолетнее количество осадков в данном районе дает представление о 50%-ной их обеспеченности. Поэтому для правильного суждения об увлажненности территории необходим расчет осадков различной обеспеченности. Для этого можно воспользоваться графиком А.Н. Лебедева (рис. 1.6).

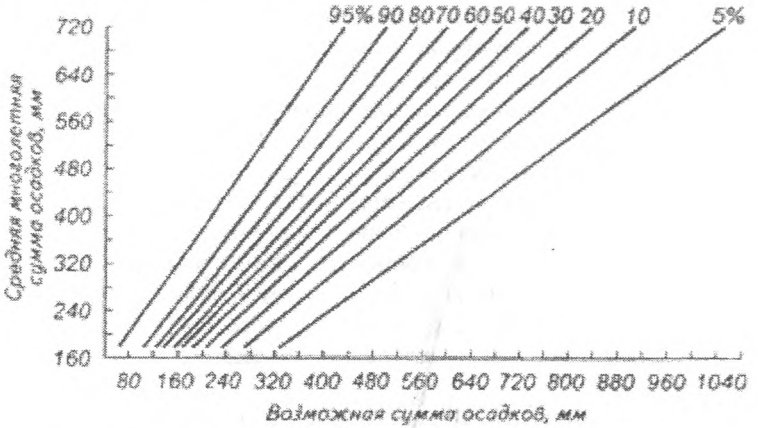


Рис. 1.6. **График для расчета годовых сумм осадков различной обеспеченности (по А.Н. Лебедеву)**

На графике по оси ординат нанесены средние многолетние суммы осадков за теплый период, по оси абсцисс – возможные суммы осадков в отдельные годы, в поле графика даны линии различной обеспеченности.

П р и м е р. Определить количество осадков, выпадающих в большинстве лет (в 8 годах из 10) при средней многолетней сумме за год 636 мм, по данным за 100-летний период наблюдений метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона.

На оси ординат находят значение 636 мм, из этой точки проводят горизонтальную прямую до пересечения с линией 80% и опускают перпендикуляр на ось абсцисс – получают 480 мм и более. Таким же путем рассчитывают 10%-ную обеспеченность (1 год из 10). Получается более 800 мм, т.е. в редкие годы возможно и такое большое количество осадков.

Оценку сложившихся агрометеорологических условий увлажнения можно провести методом сравнения количества выпавших осадков в текущем году с многолетними средними суммами осадков, наблюдаемыми в данном районе. Первую величину получают по данным метеорологической станции или декадных бюллетеней, вторую – из агроклиматического справочника по области. Путем сравнения количества осадков определяют отклонения выпавших осадков в процентах от многолетней нормы. Если получится более 100%, значит, в текущем году осадков выпало больше нормы, если менее 100% – значит, меньше нормы и т.д. О недостатке осадков свидетельствует 30-40% их количества от нормы, об избытке – 150-200%. Однако общие суммы осадков за год, за отдельные сезоны или периоды развития растений не могут дать правильного представления о степени обеспеченности растений влагой. Можно выделить следующие причины этого:

а) расход количества влаги на создание единицы сухого вещества различный;

б) сток и инфильтрация в глубине почвенного горизонта уменьшают значение общего количества влаги;

в) величина усвояемой растениями влаги различна в зависимости от физических свойств самой почвы;

г) велико испарение влаги с поверхности почвы (непродуктивное испарение);

д) роль осадков различных периодов неравнозначна для самих растений.

Следовательно, суммы осадков – величина, недостаточно точная для практических целей.

Оценка условий увлажнения по суммам осадков недостаточна для характеристики ресурсов влаги территории еще и потому, что осад-

ки являются лишь одной из составляющих приходной части водного баланса. Этим, в частности, объясняется тот факт, что при одинаковой сумме осадков в различных районах увлажнение бывает разное. Например, на севере России (зона тундры) и на юге (степная зона) осадков выпадает около 350 мм в год, но на севере наблюдается избыток влаги, а на юге – недостаток ее, что обусловлено различной испаряемостью в этих зонах. Поэтому в агрометеорологии для оценки условий увлажнения территории используют коэффициенты увлажнения, представляющие собой отношение количества осадков к испаряемости. Наиболее широкое применение получил гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова. Гидротермический коэффициент применяется для оценки условий увлажнения в теплый период, когда средняя суточная температура воздуха превышает 10°С.

$$\text{ГТК} = \frac{X}{0.1\sum t > 10^{\circ}C}, \qquad (1.2)$$

где X – сумма осадков, мм; $\sum t > 10$°С – сумма среднесуточных температур воздуха выше 10°С.

По рассчитанному ГТК Селянинова для Нечерноземной зоны можно оценить степень увлажнения по месяцам и за вегетационный период, используя критерии его увлажненности (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Критерии увлажненности вегетационного периода по гидротермическому коэффициенту Селянинова (применительно для Нечерноземной зоны)

Значение ГТК	Характеристика увлажненности
> 2.0	Переувлажнение
1.5 – 2.0	Достаточное увлажнение
1.3 – 1.5	Близкое к среднему
0.7 – 1.3	Недостаточное увлажнение
< 0.7	Засушливые условия

ГТК рассчитывают за период не меньше одного месяца или за весь период с температурами выше 10°С. Многолетние коэффициенты увлажнения применительно к Европейской части России показывают разделение территории соответственно по зонам от избыточно влажной до засушливой.

ГТК является балансом влаги, в таком смысле он и рассматривался Селяниновым в одной из последних своих работ. Он хорошо согласуется с зональным распределением почвенно-растительного покрова. Преимущество ГТК состоит в том, что его сравнительно легко рассчитывать по любой территории т.к. основные параметры – температура и осадки – измеряются на всех станциях. Последнее послужило одной из причин широкого использования ГТК для районирования и агроклиматических расчетов.

Основным недостатком ГТК является неучёт осадков за период с температурой воздуха ниже 10°С, т.е. весь холодный сезон и значительную часть теплого сезона весной и осенью (до и после перехода температуры через 10°С). Увлажнением этого периода, как известно, нельзя пренебрегать, т.к. оно оказывает существенное влияние на рост и развитие многих сельскохозяйственных культур.

Для оценки условий влагообеспеченности применяют многолетние показатели (табл. 1.6). Они используются разнопланово: оценивают степень увлажненности территории и условий выращивания отдельных сельскохозяйственных культур.

Д.И. Шашко в качестве показателя увлажнения (КУ) предложил отношение суммы осадков за год $\sum r$ к сумме дефицитов влажности воздуха $\sum d$ за этот период, выраженный в миллиметрах:

$$КУ = \frac{\sum r}{\sum d}, \qquad (1.3)$$

Знаменатели в коэффициентах увлажнения численно равны испаряемости, измеряемой в миллиметрах.

Таблица 1.6

Оценка условий увлажнения по значениям ГТК Селянинова и коэффициента увлажнения Шашко

Зона увлажнения	Средний многолетний		Вероятность различно увлажненных лет, %					
	ГТК	КУ	сухих	очень засушливых	Засушливых	слабо засушливых	влажных	Избыточно влажных
Избыточно влажная	>1.6	>0.60	0	0	5	10	25	60
Влажная	1.6…1.3	0.60…0.45	0	5	10	25	30	30

Окончание табл. 1.6

Слабо-засушливая	1.3…1.0	0.45…0.35	0	15	25	30	20	10
Засушливая	1.0…0.7	0.35…0.25	10	25	35	20	5	5
Очень засушливая	0.7…0.4	0.25…0.15	35	45	15	5	0	0
Сухая	<0.4	0.15…0.10	75	20	5	0	0	0

Климатическая величина показателя увлажнения, равная 0,45, соответствует полосе сбалансированных годовых осадков и испарения (северная граница лесостепи), величина менее 0,15 – полоса, где земледелие без орошения нерационально (полупустыня, пустыня). Таким образом, величины показателя более 0,45 будут характеризовать влажную и избыточно влажную обстановку роста, в пределах 0,45-0,15 – обстановку роста в условиях недостаточного увлажнения, менее 0,15 – в сухих условиях (табл. 1.7).

Методы расчета многочисленных показателей влагообеспеченности (увлажнения) приведены в таблице 1.8.

Таблица 1.7

Шкала классификации климата по условиям влагообеспеченности

№ пп	Область по типам годового увлажнения	Зоны увлажнения	Значение показателя увлажнения в форме отношения			Вероятность различно увлажненных лет (%)					
			$\frac{P}{\sum d}$	$\frac{P}{f}$	$\frac{f}{P}$	сухих	засушливых	полузасушливых	полувлажных	влажных	избыточно влажных
1	Область достаточного увлажнения (осадки превышают испаряемость или возможное испарение)	Избыточно влажная (тайга преимущественно на глеево-подзолистых почвах)	>0.60	>1.33	<0.75	0	1	5	10	20	64
		Влажная (тайга и лиственные леса на подзолистых и бурых почвах)	0.60-0.45	1.33-1.00	0.75-1.00	0	5	12	21	32	30

Окончание табл. 1.7

2	Область недостаточного увлажнения (осадки меньше испаряемости): а) слабозасушливая	Полувлажная (лесостепь)	0.45-0.35	1.00-0.77	1.00-1.28	2	11	25	30	24	8
		Полузасушливая (типичная степь на обыкновенных черноземах)	0.35-0.25	0.77-0.55	1.28-1.80	7	26	40	19	7	1
	б) засушливая	Засушливая (степь на южных черноземах)	0.25-0.20	0.55-0.44	1.80-2.25	18	50	25	6	1	0
		Очень засушливая (степь на темно-каштановых почвах)	0.20-0.15	0.44-0.33	2.25-3.00	41	47	11	1	0	0
3	Область незначительного увлажнения (испаряемость значительно превышает осадки, земледелие возможно только при искусственном орошении)	Полусухая (полупустыня на светло-каштановых почвах)	0.15-0.10	0.33-0.22	3.00-4.50	75	24	1	0	0	0
		Сухая (пустыня на бурых почвах)	0.10-0.05	0.22-0.12	4.50	96	4	0	0	0	0
		Очень сухая (пустыня на серобурых почвах)	0.05	0.12	-	100	0	0	0	0	0

Примечание. P – осадки за год; $\sum d$ – сумма среднесуточных значений дефицита влажности воздуха за год; f – испаряемость за год ($f = 0{,}45\sum d$).

Исследования агрометеорологов направлены на получение оценок влагообеспеченности сельскохозяйственных культур с исполь-

зованием более информативных коэффициентов увлажнения. Так, для кукурузы в степной зоне Ю.И. Чирков предложил формулу:

$$КУ = \frac{0{,}5\,r_{10...03} + r_{04...08}}{0{,}18\Sigma t > 10^{\circ}}, \qquad (1.4)$$

где $r_{10...03}$ и $r_{04...08}$ – сумма осадков соответственно за октябрь-март и апрель-август, мм; $\sum t > 10^{\circ}$ – сумма среднесуточных температур воздуха за апрель-август, °С.

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

$$КУ = \frac{0{,}36\,r_1 + r_2}{0{,}1\Sigma t > 10^{\circ}C}, \qquad (1.5)$$

где r_1 – сумма осадков вневегетационного периода, мм; r_2 – сумма осадков за период вегетации данной культуры, мм; $\sum t > 10^{\circ}C$ – сумма среднесуточных температур больше 10°С за период активной вегетации, °С.

Для оценки условий увлажнения яровой пшеницы на юго-востоке Западной Сибири В.А. Сенников предложил коэффициент увлажнения:

$$КУ = \frac{W + r_{05-06}}{0.65\sum d}, \qquad (1.6)$$

где W – запасы продуктивной влаги метрового слоя почвы весной на начало вегетации пшеницы, мм; r – сумма осадков за май – июнь, мм; 0,65Σd – испаряемость, рассчитанная по сумме дефицитов влажности, мм.

Полнее оценить влагообеспеченность сельскохозяйственных культур можно по запасам продуктивной влаги в почве. Продуктивная влага является важным комплексным показателем увлажнения сельскохозяйственных полей, т.к. она есть результат взаимодействия погодных, почвенных и агротехнических условий. Этот интегральный показатель включает в себя осадки, сток, влагообмен почвы по вертикали, испарение и поэтому может характеризовать действительные ресурсы влаги, находящиеся в распоряжении растений.

Степень соответствия потребности растений в почвенной влаге для формирования высокой продуктивности имеющимся запасам продуктивной влаги в почве называют влагообеспеченностью растений. Принято считать, что оптимальной для растений является влажность почвы в интервале 70…100% наименьшей влагоемкости. Периоды с влажно-

стью, равной или большей наименьшей влагоемкости, считаются избыточно увлажненными. Избыточное увлажнение нарушает газообмен корнеобитаемых слоев почвы и резко ослабляет их аэрацию.

Таблица 1.8

Агроклиматические показатели влагообеспеченности (Хомякова, Зоидзе, 2001)

№ пп	Автор	№ ф-лы	Показатель оценки влагообеспеченности	Условные обозначения в формулах
1	Г.Т. Селянинов	3.4	$ГТК = \frac{\sum r_2}{0{,}1\sum t>10°C}$	$\sum_r$ – сумма осадков за год (3.5, 3.6, 3.7, 3.8)*; $\sum_{r1}$ – сумма осадков за осенне-зимний период (3.8) $\sum_{r\,2}$ – сумма осадков за период вегетации с температурой воздуха выше 10°С (3.4, 3.9, 3.10, 3.12) $\sum_{rT}$ – сумма осадков весной до времени максимального урожая травостоя (3.11) $\sum_{t>10}$ – сумма температур за период вегетации с температурой воздуха выше 10°С (3.4, 3.8, 3.9, 3.10) $\sum_{dcp}$ – сумма среднемесячных величин дефицита влажности воздуха за год (3.5) $\sum_d$ – сумма дефицитов влажности воздуха за год (3.7); $\sum_{dT}$ – сумма дефицитов влажности воздуха весной до времени максимального урожая травостоя (3.11) $\sum_{d\,в}$ – сумма дефицита влажности воздуха за период вегетации (3.12) $\sum_\upsilon$ –сумма среднемесячной испаряемости за год (3.6); ύ=0,0018(t+25)2(100-a), где t – средняя температура за месяц, а – средняя относительная влажность за месяц; $W_в$, $W_в$ – запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в начале периода вегетации весной (3.10, 3.11, 3.12); $W_к$ – запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в конце вегетации; K_i – биологический коэффициент испарения (3.12) с – коэффициент поглощения осенне-зимних осадков;
2	П.И. Колосков	3.5	$W = \frac{\sum r}{\sum d_{cp}}$	
3	Н.Н. Иванов	3.6	$K = \frac{\sum r}{\sum \upsilon}$	
4	Д.И. Шашко	3.7	$K = \frac{\sum r}{\sum d}$	
5	М.И. Будыко	3.8	$K = \frac{\sum r}{0{,}18\sum t>10°C}$	
6	Д.А. Бринкен, С.А. Сапожникова, Ю.И. Чирков	3.9	$K = \frac{0{,}5\sum r_1 + \sum r_2}{0{,}18\sum t>10°C}$	
7	Н.В. Бова	3.10	$K = \frac{10(W_в + \sum r_2)}{\sum t>10}$	

8	А.П. Федосеев	3.11	$K = \frac{W_в + r_m}{\sum d_m}$	$\sum_{r_1}$ — сумма осенне-зимних осадков; $\sum_{r2}$ — сумма осадков за вегетационный период; $0{,}1\sum t>10°C$ – сумма температур выше 10°С, уменьшенная в 10 раз (3.13); $W_н$ – весенние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы; $R_{нс}$ – сумма осадков за период от возобновления вегетации до восковой спелости; $0{,}1\sum t_{в.с.}$ – сумма активных температур воздуха выше 5°С за период возобновление вегетации – восковая спелость озимой пшеницы, уменьшенная в 10 раз (3.14) $W_н$ – весенние влагозапасы в метровом слое почвы; $X_{V\text{-}VI}$ – сумма осадков за май-июнь; $E_{oV\text{-}VI}$ – испаряемость за май-июнь (3.15) $W_{0\text{-}100(i\text{-}1)}$ – запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см на конец предыдущего периода тому периоду, за который оценивается влаго обеспеченность (мм); $W_{0\text{-}100(i)}$ – то же, но на конец того же периода за мэторый оценивается впагообеспеченность (мм); $\sum d_i$ – сумма дефицитов влажности воздуха за тот же период, за который оценивается влагообес-печенность (3.16); K, V – коэффициент влагообеспеченности; O – сумма осадков за период (мм); W – запасы продуктивной влаги в слои почвы 0-100 см (мм) за рассматриваемый период; $\sum D$ – сумма дефицитов влажности воздуха за период (гПа) (3.17).
9	А.М. Алпатьев	3.12	$K = \frac{W_н - W_к + r_2}{K_1 \sum d_в}$	
10	Л.С. Кельчевская	3.13	$K = \frac{c\sum r_1 + \sum r_2}{0{,}1\sum t>10°}$	
11	Е.С. Уланова	3.14	$K = \frac{W_в + R_{в.с.}}{0.1\sum t_{в.с.}}$	
12	А.П. Слядневв, В.А. Сенников	3.15	$K_{у.т.} = \frac{W_в + X_{V-VI}}{E_{O_{V-VI}}}$	
13	А.В. Процеров	3.16	$K = \frac{W_{0-100(i-1)} - W_{0-100(i)}}{0.375 d_i} 100$	
14	Н.И. Калинин	3.17	$K = \frac{O + W}{0{,}4\sum D}$	

Оценку запасов влаги в почве в летний период для зерновых культур можно проводить, исходя из следующих величин. С.А. Вериго установила, что в период от всходов до кущения зерновых в пахотном слое (0-20 см) оптимальными считаются запасы влаги 25…30 мм, хорошими –20…25 мм, удовлетворительными – 15…20 мм, плохими – менее 10 мм. В период развития злаков от выхода в трубку до

цветения решающее значение приобретают запасы влаги метрового слоя почвы. Они оцениваются по величине продуктивной влаги в метровом слое почвы следующим образом: хорошие – 120 мм и более, удовлетворительные – 120…80 мм, неудовлетворительные – менее 80 мм.

В период от цветения до восковой спелости потребность растений в воде несколько уменьшается. Условия влагообеспеченности в этот период оценивают следующим образом: оптимальные запасы влаги в метровом слое почвы – 80…100 мм, удовлетворительные – 40…80 мм, неудовлетворительные – 30…40 мм, плохие – менее 25 мм и более 125 мм. Раздельная градация в последнем случае объясняется тем, что влагозапасы менее 25 мм являются резко недостаточными, а влагозапасы более 125 мм вызывают значительное полегание растений и развитие болезней.

Запасы продуктивной влаги оказывают существенное влияние на густоту стояния посевов. При запасах продуктивной влаги в декаду посева 30…40 мм число растений ко времени прекращения вегетации на 1 кв. м составляет около 500 (отличное состояние посевов); при запасах влаги 25…30 или 40…45 мм число растений уменьшается до 400 мм (состояние посевов озимых может быть оценено как хорошее). При дальнейшем уменьшении или увеличении запасов влаги в пахотном слое почвы густота всходов озимых уменьшается. На полях с запасами продуктивной влаги в пахотном слое почвы менее 15 мм посев озимых культур проводить до выпадения значительных осадков нецелесообразно, т.к. при таких запасах озимые по времени прекращения вегетации оказываются изреженными (менее 200 растений на 1 м^2).

Средние многолетние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы при посеве озимых зерновых культур показаны на рисунке 1.7.

Более подробно сведения о запасах продуктивной влаги в почве приведены в «Атласе запасов влаги под озимыми и ранними яровыми зерновыми культурами на европейской части России», составленном сотрудниками Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной метеорологии.

Сопоставление фактических запасов продуктивной влаги в почве с потребностью растений в ней позволяет дать количественную оценку влагообеспеченности растений.

По результатам исследований влияния запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы на урожайность озимой пшеницы Е.С. Уланова установила различные градации запасов влаги и дала их оценку в основные периоды весенне-летней вегетации (табл. 1.9).



Рис. 17. **Средние многолетние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы ко времени возобновления вегетации озимых зерновых культур:**
1 – >220 мм; *2* – 200...220; *3* – 180...200; *4* – 160...180; *5* – 140...160; *6* – 120...140 мм

Таблица 1.9

Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в основные периоды весенне-летней вегетации озимой пшеницы

Период вегетации	Запасы продуктивной влаги, мм			
	хорошие	удовлетворительные	недостаточные	плохие
Возобновление вегетации	150-200	120-150	100-120	<100
Выход в трубку	140-180	100-140	80-100	<80
Колошение	80-140	60-80	40-60	<40
Налив зерна	80-100	40-80	30-40	<25

В целом анализ сложившихся агрометеорологических условий должен содержать оценку степени благоприятности их в текущем году для различных сельскохозяйственных культур (озимых, ранних и поздних яровых и др.) и рекомендации по применению различных агротехнических мероприятий, направленных на максимальное использование благоприятных и уменьшение влияния неблагоприятных метеорологических факторов.

Контрольные вопросы

1. Предмет, цель и задачи дисциплины «Биоклиматический потенциал агроэкосистем».
2. Понятия и методы расчета БКП.
3. Что включает в себя характеристика продуктивности земель?
4. Чем определяется биологическая продуктивность растений?
5. Как рассчитывают сельскохозяйственный бонитет климата?
6. Какие показатели используют для оценки теплообеспеченности вегетационного периода?
7. Какие показатели используют для оценки условий увлажнения вегетационного периода?
8. Методы оценки термических ресурсов.
9. Суммы температур. Их расчет и критерии оценки.
10. Как определить целесообразность выращивания сельскохозяйственных культур по теплообеспеченности вегетационного периода?
11. Как делится территория по РФ по степени увлажнения?
12. Как рассчитывают осадки различной обеспеченности?
13. Коэффициенты увлажнения. Как рассчитывают ГТК?
14. Какие значения имеют критерии увлажнения территории Нечерноземной зоны?
15. Почему общие суммы осадков не дают правильного представления о степени обеспечения растений влагой?
16. Продуктивная влага в почве: определение, значение и расчет.
17. Какие осадки называют эффективными?

ГЛАВА 2
ВЛИЯНИЕ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА БИОКЛИМАТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ АГРОЭКОСИСТЕМ

По оценкам экспертов ООН, ущерб, наносимый мировой экономике неблагоприятными условиями погоды, составляет 70% от ущерба, который регистрируется после воздействия природных катастроф и стихийных бедствий в целом. В России, где гидрометеорологические и климатические условия подвержены большим колебаниям, ущерб от опасных гидрометеорологических явлений составляет 80-90% (Бедрицкий и др., 2004).

Сельское хозяйство считается одной из самых климатозависимых отраслей экономики. Несмотря на принимаемые меры по снижению чувствительности и уязвимости сельскохозяйственного производства от воздействия неблагоприятных условий погоды природная среда по-прежнему оказывает существенное отрицательное влияние на экологическую и продуктивную устойчивость агроэкосистем. Сельскохозяйственная отрасль в последние годы испытывает на себе все более возрастающую «агрессивность» природных факторов. Это воздействие проявляется прежде всего в виде ежегодно увеличивающихся экономических потерь, которые могут исчисляться уже многими десятками миллиардов рублей, что самым негативным образом влияет на социально-экономический уклад и хозяйственный уровень в стране.

2.1. Неблагоприятные агроклиматические явления теплого периода года

2.1.1. Заморозки

На обширной территории России заморозки наблюдаются ежегодно, принося значительный ущерб сельскохозяйственному производству. Снижению вредного воздействия заморозков на сельскохозяйственные культуры, применению рациональных приемок защиты от них способствует своевременный прогноз наступления этого неблагоприятного явления.

Заморозок определяют как кратковременное понижение температуры воздуха или почвы до 0°С и ниже на фоне положительных среднесуточных температур воздуха. Заморозки характерны для теплого периода года, и обычно их наблюдают весной и осенью.

По условиям образования различают три типа заморозков:

1 - адвективные, вызываемые вторжением на территорию холодных арктических масс воздуха. Сопровождаются нередко сильными

ветрами и резким понижением температуры не только в ночные, но и в дневные часы. Охватывают большие районы и могут продолжаться несколько суток подряд. Чаще всего характерны для ранней весны и поздней осени, когда уже прекращается вегетация многих сельскохозяйственных культур, поэтому они менее опасны;

2 - радиационные, которые обусловлены интенсивным ночным излучением подстилающей поверхности, обычно наблюдаемом при тихой безоблачной погоде. Вначале понижается температура поверхности почвы (или травостоя) до отрицательной, затем – в прилегающем слое воздуха. При этом наблюдается инверсия температуры. Эти заморозки характеры для периода, когда большинство сельскохозяйственных культур активно вегетируют, поэтому они более опасны;

3 - адвективно-радиационные (смешанные), образуются в результате совместного действия двух причин, т.е. адвекции холодного воздуха северного происхождения и последующего ночного выхолаживания за счет интенсивного излучения подстилающей поверхности. К этому типу относятся преимущественно поздние весенние и ранние осенние заморозки, представляющие наибольшую опасность для сельскохозяйственных культур.

Наиболее продолжительны заморозки первого типа. Прогревание холодной массы воздуха занимает 3...4 сут. Заморозки второго типа часто называют «утренниками», так как они возникают в течение ночи (5...6 ч, иногда до 8... 10 ч). Третий тип заморозков длится обычно 3...4 ч, наблюдается с половины ночи или под утро.

Интенсивность заморозков различна: при адвективных температура снижается до −8...−10°С, при смешанных − соответственно до −2...−3°С. При этом в припочвенных слоях воздуха и на почве температура отрицательная, а на высоте 2 м (метеобудка) может быть положительной.

По интенсивности заморозки делят на слабые: от 0 до −2 °С; средние: от −3 до −5 °С; сильные: от −5 °С и ниже.

В зависимости от местных условий интенсивность заморозков может значительно изменяться (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Изменение вероятности и интенсивности заморозков в зависимости от местоположения (по И.А. Гольцберг)

Местоположение	Вероятность заморозков[1], %	Изменение интенсивности заморозков[2], °С
Вершины и верхние части склонов	–30	Около +2
Долины в холмистой местности	+20	–1,5…–2
Долины в горах	+30	–2

Окончание табл. 2.1

Котловины	+40	–4…–5
Поляны	+30	Около –2
Острова и побережья	–35	+2
Города	–20	+2…+3

[1] Плюс означает увеличение вероятности заморозков, минус – уменьшение ее на указанный процент.

[2] Плюс означает повышение температуры, минус – понижение ее по сравнению с ровным открытым участком.

Радиационные и смешанные заморозки чаще всего возникают и становятся большей силы в пониженных местах: долинах, лощинах, замкнутых котлованах, лесных полянах, где застаивается холодный воздух. Развитию заморозков способствуют сухие и разрыхленные почвы, осушенные болота. В целом все пониженные формы рельефа отличаются большей заморозкоопасностью. В отличие от них вероятность и интенсивность заморозков на возвышенностях и склонах уменьшается, и они там наступают реже.

Таблица 2.2

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

Культура	Температура (°С), повреждающая растения в фазы		
	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	–2… (3	–3… –4
Чечевица	–7… –8	–2… –3	–2… –4
Чина	–7… –8	–2… –3	–2… –4
Кориандр	–8… –10	–2… –3	–3… –4
Устойчивые к заморозкам			
Люпин	–6… –8	–3… –4	–3… –4
Вика яровая	–6… –7	–3… –4	–2… –4
Бобы	–5… –6	–2… –3	–3… –4

Окончание табл. 2.2

Подсолнечник	–5… –6	–2… –3	–2… –3
Горчица белая	–6… –4	–2… –3	–3… –4
Лен	–5... –7	–2… –3	–2.. –4
Свекла сахарная	–6… –7	–2… –3	—
Свекла кормовая	–6… –7	—	—
Морковь	–6… –7	—	—
Турнепс	–6… –7	—	—
Среднеустойчивые к заморозкам			
Капуста	–5… –7	–2… –3	–6… –9
Соя	–3… –4	–2… –3	–2… –3
Могар	–3… –4	–1… –2	–2… –3
Люпин желтый	–4… –5	–2… –3	—
Малоустойчивые к заморозкам			
Кукуруза	–2… –3	–1… –2	–2… –3
Просо	–2… –3	–1… –2	–2… –3
Сорго	–2… –3	–1… –2	–2… –3
Картофель	–2… –3	–1… –2	–1… –2
Неустойчивые к заморозкам			
Гречиха	–1… –2	–1… –2	–1,5… –2
Фасоль	–1… –1,5	–0,5… –1	–2
Хлопчатник	–0,5… –1	–0,5… –1	–1
Бахчевые	–0,5… –1	–0,5… –1	–0,5… –1
Рис	–0,5… –1	–0,5… –1	—
Арахис	–0,5… –1	—	—
Огурцы	0… –1	0… –1	0… –1
Томаты	0… –1	0… –1	0… –1

Устойчивость растения к заморозкам определяется, с одной стороны, характером заморозка (время наступления, интенсивность, продолжительность), а с другой – состоянием самого растения (культуры, сорта, фазы развития, агротехники).

Температуру, ниже которой наблюдается повреждение или гибель растений, называют *критической.*

По степени стойкости полевых растений к заморозкам, начиная от периода полных всходов, выделено 5 экологических групп (табл. 2.2):

1. Наиболее устойчивые, выдерживающие понижение температуры до –8…–10°С.

2. Устойчивые, выдерживающие понижение температуры до –6…–8°С.

3. Среднеустойчивые, выдерживающие заморозки до –3…–4°С.

4. Малоустойчивые, выдерживающие заморозки до –2…–3°С.

5. Неустойчивые, повреждающиеся легкими заморозками при –0,5…–1°С.

2.1.2. Засухи и суховеи

Для земледельческой зоны большей части России характерны засушливые явления, приносящие значительный вред сельскохозяйственному производству. Засухи и суховеи снижают урожайность, иногда приводят к гибели посевов.

Засуха возникает вследствие отсутствия осадков в сочетании с высокой температурой и пониженной влажностью воздуха, вызывает угнетение или гибель растений (ГОСТ 17713-89).

В более широком понятии засуха связана «с длительным отсутствием осадков (или значительным их сокращением по сравнению со средними многолетними нормами) в сочетании с повышенными температурами воздуха, почвы и ветрами, приводящими к резкому снижению относительной влажности воздуха, истощению запасов почвенной влаги, нарушению водного баланса растений и животных, недобору сельскохозяйственной продукции, а в экстремальных условиях – к гибели всего урожая, с.-х. животных» [54].

Различают засуху атмосферную и почвенную. Атмосферная засуха характеризуется отсутствием осадков, высокими температурами и пониженной влажностью воздуха, т.е. состоянием атмосферы. Почвенная засуха определяется иссушением корнеобитаемого слоя почвы. Почвенная и атмосферная засуха может проявляться одновременно.

По времени возникновения принято различать засуху весеннюю, летнюю и осеннюю.

Весенняя засуха проходит при сравнительно невысоких температурах воздуха, но с низкой относительной влажностью и сильными иссушающими почву ветрами. Такое сочетание погодных условий приводит к быстрому иссушению верхнего горизонта почвы, что отрицательно сказывается на состоянии яровых зерновых в начале их развития или на возобновлении вегетации озимых.

Летняя засуха отличается высокой температурой, низкой влажностью воздуха, большой испаряемостью и дефицитом влаги в почве, усиливается суховейными явлениями. Вред от летней засухи наибольший, т.к. происходит резкое падение урожая сельскохозяйственных культур и снижение качества полученной продукции.

Осенняя засуха наблюдается на фоне низких температур и влажности воздуха. К этому периоду года большая часть зерновых культур убрана, однако наступает время сева озимых, семена которых попадают в сухую почву и к наступлению холодов озимые бывают плохо развитыми.

Для оценки засух применяются количественные показатели (критерии), которые в разное время разработаны учеными: А.В. Процеровым, А.И. Руденко, Н.В. Бова, М.С. Куликом; Е.С. Улановой и др. Эти критерии можно объединить в три группы: метеорологические, агрометеорологические, агрономические.

Метеорологическим критерием засухи служит недостаток осадков или их полное отсутствие продолжительное время (2…3 декады подряд). При сумме осадков за вегетационный период менее 50% от нормы наблюдаются очень сильные засухи; 50…70% осадков от нормы свидетельствуют о сильной засухе; 71…80% от нормы – о средней засухе. При этом отмечается положительная аномалия температуры воздуха от 1…1,5 до 3…4°С (температура выше нормы).

Агрометеорологические критерии засухи – содержание влаги в почве и коэффициенты увлажнения.

Уменьшение запасов продуктивной влаги в пахотном горизонте почвы (0-20 см) до 20 мм и ниже можно принять за начало засухи, менее 10 мм – сильная засуха, 0 мм (иссушение пахотного горизонта почвы) – очень сильная засуха. Этот критерий наиболее надежен, т.к. показывает дефицит влаги непосредственно под сельскохозяйственным растением.

Коэффициент увлажнения, представляющий собой отношение осадков к испаряемости за определенный промежуток времени, также удобно применять в качестве показателя степени засушливости. Наиболее часто используется для этих целей гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК).

Таблица 2.3

Оценка степени засушливости по ГТК Селянинова

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

Значение ГТК $\leq 0,7$ для лесостепной и подтаежной зоны и $\leq 0,6$ для степной зоны принимают за критерий засухи. Более дифференцированно по ГТК степень засушливости можно определить по таблице 2.3 (дается для юго-восточных районов Европейской части России, но относительно возможно применение и для других территорий).

Агрономическим критерием засухи считают снижение урожайности ведущих сельскохозяйственных культур как следствие воздействия засухи. Если урожайность в оцениваемом году снизилась по сравнению со средней за несколько лет до 20% – значит, слабая засуха, от 20 до 50% – средняя, более 50% – сильная.

Более объективная оценка засух получается при одновременном использовании двух-трех критериев: например, запасов продуктивной влаги и урожайности; гидротермического коэффициента, запасов влаги и урожайности и т.д.

Суховей – ветер при высокой температуре и большом недостатке насыщения воздуха влагой, вызывающий угнетение или гибель растений.

Таблица 2.4

Интенсивность суховеев в зависимости от дефицита влажности воздуха в 13 ч и повреждения зерновых культур (по Е.А. Цубербиллер)

Тип суховеев	Дефицит влажности в 13 ч, гПа	Степень повреждения растений
Слабые	20–29	Легкое снижение тургора
Средней интенсивности	30–39	Значительное снижение тургора листьев, их скру- чивание, пожелтение, подсыхание, у незакаленных растений возможен небольшой захват зерна через 3-5 дней
Интенсивные	40–49	Сильное увядание и усыхание вегетативной массы, захват зерна через 2-3 дня, у незакаленных растений – через 1-2 дня
Очень интенсивные	≥50	Быстрое и сильное повреждение вегетативной массы, захват зерна через 1-2 дня

Обоснованию этого неблагоприятного явления, выделению критериев *по метеорологическим параметрам* посвящены работы ряда исследователей (Каминский А.А., Кулик М.С., Цубербиллер Е.А., Пасечнюк Л.Е., Сенников В.А. и др.). Наибольшее распространение получил *агрономический критерий суховея*: температура воздуха в 13 ч выше 25°С, относительная влажность в тот же срок <30%, скорость ветра >5 м/с по флюгеру.

Оказалось, что в совокупности эти три названных параметра соответствуют дефициту влажности воздуха 20 гПа. Поэтому за суховейный день принимается такой, в котором дефицит влажности в 13 ч равен 20 гПа и более. При этом чем выше значение дефицита, тем интенсивнее суховей (табл. 2.4).

2.2. Неблагоприятные агроклиматические явления холодного периода года

Основными причинами повреждения и гибели озимых культур в период зимовки являются следующие (по В.А. Моисейчик):

- действие сильных морозов при небольшой высоте или полном отсутствии на полях снежного покрова, вызывающее вымерзание растений;
- длительное пребывание растений под большим снежным покровом, образовавшимся на полях в начале зимы при слабом промерзании почвы, что ведет к выпреванию;
- застой талых вод на полях и полное затопление посевов в пониженных местах рельефа, вызывающее вымокание растений;
- длительное залегание на полях с озимыми притертой ледяной корки, вызывающее механическое повреждение и удушение растений;
- неоднократное оттаивание и замерзание почвы в районах с неустойчивой зимой, приводящее к механическому повреждению корней и выпиранию узлов кущения растений;
- выдувание и механическое повреждение растений пыльными бурями;
- зимняя засуха, вызывающая сильное иссушение растений при длительном отсутствии на полях снежного покрова, отрицательной температуре воздуха и глубоком промерзании почвы.

Агроклиматические условия перезимовки озимых культур определяются продолжительностью и суровостью зимы, характеристиками снежного покрова, температурным режимом воздуха и почвы на глубине залегания узла кущения растений, глубиной промерзания почвы, суммами осадков за осенний и зимний периоды и др.

Кроме того, перезимовка озимых культур определяется их биологическими особенностями: зимостойкостью и состоянием посевов осенью, отражающим уровень агротехники (качество обработки почвы, сроки сева, влияние предшественников и др.).

Для общей оценки агроклиматических условий перезимовки озимых культур используют средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха. Для расчета такого показателя абсолютные минимумы по годам суммируют и полученный результат делят на число лет наблюдений. Преимущество средних из абсолютных годовых минимумов температур перед абсолютными минимумами заключается в том, что на их основании можно судить о повторяемости критических температур ниже любых пределов. С помощью кривой (рис. 2.1) рассчитывают повторяемость отклонений минимальной температуры от нормы в отдельные годы в данном районе.



Рис. 2.1. **Повторяемость отклонений годовых минимумов температуры в зависимости от среднего из абсолютных годовых минимумов**

П р и м е р. Средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха равен –30°С. Определить, как часто в данной местности минимальная температура опускается до –28° и –32°С. Находим отклонение этих температур от нормы. Соответственно они будут составлять 2 и –2°С. По рисунку 2.1 такие отклонения имеют повторяемость соответственно 75 и 20%. И если –28 и –32°С – критические температуры для крон сливы и яблони, то слива будет вымерзать в 7 годах из 10, а яблоня – в 2 годах из 10 лет.

Для агроклиматической оценки зимних условий, кроме минимальной температуры воздуха, используют данные о снежном покрове, особенно о его высоте в период с наиболее низкой температурой воздуха.

Для характеристики зимнего периода А.М. Шульгин дает комплексный показатель, связывающий суровость зимы со средним из абсолютных минимумов температуры воздуха и высотой снежного покрова:

$$K = t_м / h, \qquad (2.1)$$

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

По значению комплексного показателя можно оценить степень суровости зимы. Если К<1, то зима мягкая (мало суровая), при К от 1 до 3 – суровая, при К>3 – очень суровая.

Г.Г. Белобородова условия перезимовки плодовых культур предложила оценивать по коэффициенту суровости зимы:

$$K = \frac{П}{n}, \qquad (2.2)$$

где $П$ – число дней с минимальной температурой воздуха, вызывающей повреждения плодовых культур за период зимовки; n – продолжительность холодного периода, сутки.

Коэффициент суровости зимы характеризует «насыщенность» холодного периода критическими температурами для плодовых культур. Чем больше значения K, тем хуже условия перезимовки.

Г.Г. Белобородовой установлено, что осенне-зимние и зимние сорта яблони в большинстве случаев хорошо переносят зимы при K<0,07 – слабоморозостойкие сорта; K<0,05 – среднеморозостойкие и K<0,03 – сорта повышенной морозостойкости.

В.А. Моисейчик для оценки агроклиматических условий перезимовки озимых культур в степной зоне предложила комплексный показатель, характеризующий влияние основных факторов:

$$\overline{K} = 0{,}4844\,\frac{\bar{t}_{\min}}{t_{kp}} + 1{,}3081\frac{\overline{H}}{\overline{n}} - 0{,}6071, \qquad (2.3)$$

где $\bar{t}_{min}$, – многолетняя средняя минимальная температура воздуха, °С; $t_{кр}$ – критическая температура вымерзания различных сортов озимых культур; H – многолетняя средняя максимальная глубина промерзания почвы, см; n – многолетняя средняя продолжительность периода со снежным покровом, сутки.

Для лесной и лесостепной зон уравнение имеет следующий вид:

$$\overline{K} = 0{,}4934\,\frac{\bar{t}_{\min}}{t_{kp}} + 1{,}4181\frac{\overline{H}}{\overline{n}} - 0{,}7015, \qquad (2.4)$$

Комплексный показатель агроклиматических условий перезимовки озимых культур $\overline{K}$ – безразмерная величина, косвенно характеризующая площадь по территории, на которой озимые погибают в холодный период года.

Изменения значений $\overline{K}$ хорошо согласуются с процентом площадей погибших озимых посевов (табл. 2.5).

При $\overline{K}$ >1 условия перезимовки резко ухудшаются, в результате чего озимые гибнут на площади до 30% и более в степной зоне, до 20% – в лесной и лесостепной зонах.

Важный агроклиматический показатель перезимовки озимых культур – минимальная температура почвы на глубине узла кущения. Понижение ее до критической температуры вымерзания растений даже в течение одного дня, особенно после оттепели, приводит к значительному изреживанию посевов, а более длительное (до 3 дней и более) и интенсивное понижение – к полной гибели посевов. Такое понижение температуры почвы на глубине узла кущения наблюдается в периоды сильных морозов при отсутствии или небольшом снежном покрове и глубоком промерзании почвы.

Таблица 2.5

Количественная оценка условий перезимовки озимых по показателю К

Оценка условий перезимовки	Показатель К								
	<0,30	0,30-0,45	0,46-0,65	0,66-0,75	0,76-0,90	0,91-1,00	1,01-1,15	1,16-1,20	>1,20
Лесная и лесостепная зоны									
Средняя многолетняя площадь погибших озимых Sв, %	<20	16-20	8-15	6-7	0-5	6-7	8-15	16-20	<20
Оценка условий, баллы	1	2	3	4	5	4	3	2	1
Оценка условий перезимовки	Показатель К								
	0,70		0,70-0,85		0,86-0,95		0,96-1,10		>1,10
Степная зона									
Средняя многолетняя площадь погибших озимых Sв, %	<10		11-15		16-20		21-30		>30
Оценка условий, баллов	5		4		3		2		1

Агрометеорологические условия, при которых озимые посевы вымерзают, создаются в первой половине зимы до образования на полях достаточного снежного покрова. Во второй половине зимы вымерзание озимых культур возможно лишь в отдельные годы в районах с неустойчивым снежным покровом.

Степень повреждения растений от вымерзания зависит от интенсивности и длительности опасных морозов и состояния самих растений.

Решающий фактор при вымерзании озимых культур – степень повреждения морозами узла кущения. Сильное повреждение узла кущения неминуемо вызывает гибель всего растения. Температура, при которой погибает узел кущения растений, различна не только для разных озимых зерновых культур и их сортов, но и для одних и тех же сортов в зависимости от состояния растений осенью (фазы развития, глубины узла кущения, степени кущения, степени закалки, состояния конуса нарастания в момент прекращения вегетации и др.) и изменения их морозостойкости под влиянием агрометеорологических условий в зимний период.

Хорошо развитые и закаленные посевы озимой ржи, находясь в состоянии покоя, могут выдерживать понижение температуры на глубине узла кущения до –24°С и ниже. Узлы кущения озимой пшеницы менее морозостойки. Растения озимой пшеницы полностью погибают при температуре почвы на глубине узла кущения ниже –22°С. Растения слабоморозостойких сортов погибают в момент их максимальной морозостойкости при минимальной температуре почвы на глубине узла кущения –16…–18°С, озимый ячмень – при –13…–16°С.

Наиболее часто озимые культуры вымерзают на возвышенных участках поля, а также на западных и южных склонах, где высота снежного покрова меньше, а промерзание почвы больше.

Минимальную температуру почвы на глубине узла кущения можно косвенно определить по связи с минимальной температурой воздуха и высотой снежного покрова (рис. 2.2).

П р и м е р. При минимальной температуре воздуха –20°С и высоте снежного покрова 10 см на эту дату, минимальная температура почвы на глубине узла кущения (3 см) составит –12°С.

Основные факторы, определяющие температуру почвы на глубине 3 см, количественно исследованы В.А. Моисейчик и выражены следующими уравнениями.

Для Черноземной зоны:

$$t_3 = 0{,}618T - 0{,}082H + 0{,}658h - 0{,}008h^2 + 0{,}0007P - 0{,}366, \qquad (2.5)$$

где t_3 – минимальная температура почвы на глубине 3 см.

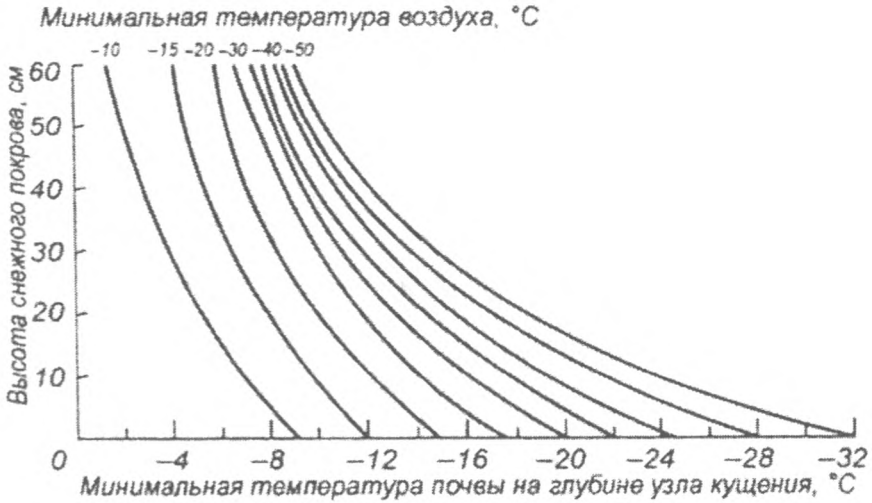


Рис. 2.2. **Связь минимальной температуры почвы на глубине узла кущения озимых культур (3 см) с минимальной температурой воздуха и высотой снежного покрова** (по А.М. Шульгину)

Пределы, при которых уравнение действительно: для минимальной температуры воздуха T от –10 до –30°С; для высоты снежного покрова h = 0…30 см; для глубины промерзания почвы H = 20…150 см; для числа стеблей осенью на 1 м² у озимых P=500…2000.

Для центральных и северных районов Нечерноземной зоны с суглинистой почвой:

$$t_з = 0{,}274T - 0{,}052H + 0{,}444h - 0{,}003h^2 + 0{,}0004P - 5{,}960 \qquad (2.6)$$

Пределы, при которых уравнение действительно: для T от –10 до –40°С; для h = 0…40 см; для H = 20…150 см, P = 200…2000.

Для западных районов нечерноземной зоны с супесчаными хорошо увлажненными почвами:

$$t_з = 0{,}372T - 0{,}057H + 0{,}425h - 0{,}003h^2 + 0{,}0005P - 2{,}328 \qquad (2.7)$$

Пределы, при которых уравнение действительно: для T от –10 до –30°С; для h = 0…20 см; для H = 20…100 см, P=300…1500.

При отсутствии снежного покрова на температуру почвы на глубине узла кущения (*3 см*) в основном влияет температура воздуха *T* и глубина промерзания почвы *H*.

Используют следующее уравнение по В.А. Моисейчик.
Для глубины промерзания почвы менее 30 см:

$$t_з = 0{,}76T + 2{,}88 \qquad (2.8)$$

Для глубины промерзания почвы более 30 см:

$$t_з = 0{,}81T + 0{,}26 \qquad (2.9)$$

При образовании на полях снежного покрова минимальная температура почвы на глубине узла кущения будет зависеть уже и от его высоты, что отражено в уравнениях для различной высоты снежного покрова

5 см $t_з = 0{,}64T - 0{,}07H + 5{,}2;$ (2.10)

10 см $t_з = 0{,}25T - 0{,}06H + 0{,}48;$ (2.11)

15 см $t_з = 0{,}17T - 0{,}06H + 1{,}9;$ (2.12)

20 см $t_з = 0{,}12T - 0{,}05H + 1{,}56;$ (2.13)

Точность решения уравнений близка к 1°С.

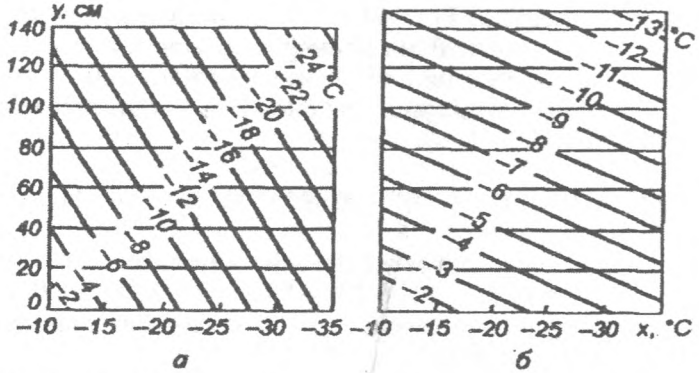


Рис. 2.3. **Зависимость минимальной температуры почвы на глубине узла кущения озимых культур (3 см) от минимальной температуры воздуха и глубины промерзания почвы при высоте снежного покрова 5 см (а) и 10 см (б)**

Расчеты минимальной температуры почвы на глубине узла кущения можно косвенно определить по связи с минимальной температурой воздуха и высотой снежного покрова (рис. 2.3).

2.2.1. Оценка (районирование) территорий по условиям перезимовки сельскохозяйственных культур

В качестве показателей при оценке условий перезимовки с.-х. культур принимают абсолютный минимум температуры, средние из абсолютных минимумов, средние по минимальной температуре, среднемесячные температуры, среднюю температуру наиболее холодного месяца, различные коэффициенты морозоопасности.

Основным агроклиматическим показателем является предложенный Г.Т. Селяниновым средний из годовых абсолютных минимумов температуры:

- воздуха (для общей характеристики морозоопасности места и оценки условий перезимовки субтропических и плодовых культур);
- почвы: на глубине узла кущения (для оценки условий перезимовки озимых культур); 20-40 см (плодовых культур); 25 см (винограда).

А.М. Шульгин, обобщив материалы 600 метеостанций за 10 лет, впервые составил схематическую карту распределения среднего из абсолютных минимумов температуры почвы на глубине 3 см. Вся территория разделена по агроклиматическим условиям перезимовки на 7 районов (табл. 2.6).

Аналогичные карты составлены для отдельных районов бывшего СССР: для Алтайского края (А.М. Шульгин), Украины (В.М. Личикаки).

В.М. Личикаки использует коэффициент морозоопасности, равный отношению минимальной температуры почвы на глубине 3 см к критической температуре вымерзания. Для агроклиматической оценки территории Украины по степени морозоопасности озимой пшеницы вычислена вероятность числа случаев значительной гибели посевов (свыше 30%), что соответствует коэффициенту морозоопасности 0,81 и более. Представлена карта вероятности гибели озимой пшеницы свыше 30% от вымерзания для групп сортов средней и низкой морозоустойчивости.

Таблица 2.6

Агроклиматические условия перезимовки зерновых культур

№ района	Климат почвы зимой	Оценка условий перезимовки	Абсолютный минимум температуры почвы на глубине узла кущения,°С		
			средний	наибольший	наименьший
I	Очень мягкий	отличные	-4,-8	-1,-3	-11,-14
II	Мягкий	хорошие	-8,-12	-1,-8	-12,-20
III	Умеренно холодный	удовлетворительные	-12,-16	-2,-10	-22,-24

Окончание табл. 2.6

IV	Холодный	ниже удовлетво-рит.	-16,-20	-10,-15	-20,-30
V	Очень холодный	плохие	-20,-24	-12,-17	-25,-30
VI	Суровый	плохие	-24,-28	-15	-30
VII	Очень суровый	плохие	-28,-32	-15	-35

Примечание. Критическая температура почвы на глубине узла кущения для озимой пшеницы –16°, для ржи –20°.

Для оценки условий перезимовки плодовых культур С.А. Сапожникова дифференцирует территорию (кроме районов Дальнего Востока) по величине среднего из абсолютных минимумов температуры воздуха (табл. 2.7). Кроме того, ею по этим областям приводится процент зим с абсолютным минимумом температуры воздуха ниже –50°С, т.к. эта температура опасна для перезимовки многих плодовых.

Л.С. Гайворонской для земледельческих районов Сибири и Северного Казахстана были построены карты-схемы среднего из абсолютных годовых минимумов температуры почвы на глубине 20, 40 и 80 см, которые позволяют производить оценку агроклиматических условий перезимовки плодовых насаждений. Критической температурой вымерзания корней дикой яблони Гайворонская считает –18, –19°С на глубине 20 см и –16°С на глубине 40 см.

Таблица 2.7

Агроклиматические условия перезимовки плодовых культур (температура воздуха)

№ пп	Типы зим (по средним многолетним данным)	Абсолютный минимум температуры воздуха (То),°С	% зим со средн. из абсолютных минимумов -30°С	Культуры, обеспеченные благоприятной перезимовкой
1	Очень мягкая	> -10	0	Субтропические
2	Мягкая	-10,-20	0	Грецкий орех, персик, зимовка винограда без укрытия в более теплых районах
3	Умеренно мягкая	-20,-25	0-10	Абрикосы, южные сорта яблонь, груш и слив, холодостойкие сорта персиков

Окончание табл. 2.7

4	Умеренно холодная	-25,-30	10-50	Среднехолодостойкие сорта яблонь груш и слив, холодостойкие сорта абрикосов
5	Холодная	-30,-35	50-70	Среднерусские и мичуринские сорта яблонь, груш, абрикосов более холодостойких сортов
6	Очень холодная	-35,-40	70-100	Холодостойкие сорта яблонь, вишен, слив
7	Суровая	-40,-45	100	Яблони ранетки, более холодостойкие сорта вишен и слив, стелющиеся и прикаточные формы яблонь
8	Очень суровая	< -45	100	Наиболее холодостойкие формы тех же культур с применением специальной агротехники

При агроклиматическом районировании субтропиков Западного Закавказья, проведенном Г.Т. Селяниновым, группировка культур по требованию к климату в основном проводилась по их морозостойкости, которая конкретно увязывалась с показателем морозоопасности в виде среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха. Вся территория субтропического пояса Черноморского побережья Кавказа разбивается на следующие зоны: цитрусовых со средним из абсолютных минимумов до –6°С; зону чая, маслины, лавра –6, –8°С; зону пробкового дуба, хурмы, граната, лавровишни, кипариса –8, –10°С.

Успешная перезимовка винограда зависит от температуры как воздуха (повреждение лозы), так и почвы (повреждение корневой системы). За возможную северную границу не закрываемых на зиму виноградников можно считать изолинию средних из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха –15°С. Повреждения корневой системы виноградной лозы наблюдаются при температуре почвы от –5, –6°С для корней европейских сортов до –9, –11°С для корней американских лоз. По данным ряда исследователей, полная гибель корней европейских сортов происходит в ноябре и декабре при температуре почвы от –9 до –10°С, а в январе и феврале – от –10 до –11°С.

Ф.Ф. Давитая составил карты средних из абсолютных годовых минимумов температуры почвы на глубинах 25 и 40 см по европейской территории бывшего СССР. Рассматривая карту распределения низких температур в почве на глубине 25 см, где расположена значительная часть корневой системы винограда, автор приходит к определенному хозяйственному выводу: в районах, очерченных изолинией –7, –8°С и ниже, следует культивировать сорта на более холодостойких подвоях, способствовать большему накоплению снега на виноградниках и закрывать лозу.

2.3. Влияние неблагоприятных агроклиматических явлений на урожайность сельскохозяйственных культур

Климат является ключевым фактором для производства продовольствия, контролируя влажность почвы, количество солнечного света и термические условия среды. Климат в значительной мере определяет уровень урожая и его межгодовую изменчивость, а также пространственную структуру национального и мирового сельскохозяйственного производства.

Россия – одна из крупнейших зернопроизводящих стран мира, в которой сосредоточено 8% мировых посевов зерновых. Однако производство зерна в нашей стране составляет лишь около 4% от мирового. Это несоответствие связано с низкой урожайностью зерновых культур, которая для пшеницы в 2 раза ниже среднемирового уровня, в 1,7 раза ниже, чем в США, в 4,8 раза – по сравнению с Англией и в 4,3 раза – по сравнению с Францией (ФАО, 1985-1991 гг.).

Россия – страна с одним из самых суровых климатов на планете для сельскохозяйственного производства. При этом основные массивы пахотных земель расположены в районах рискованного и критического земледелия. Среднероссийский уровень биоклиматического потенциала агросферы России на 40% меньше западноевропейского и близок к среднему уровню БКП стран Северной Европы: Швеции, Норвегии и Финляндии (Клещенко и др., 2011).

Резкое отставание современной продуктивности зернового хозяйства России от Англии, Франции и Германии, а тем более от стран Северной Европы, нельзя объяснить только различием почвенно-климатических условий, которое характеризуется биоклиматическим потенциалом. Основная причина отставания России от лидирующих по уровню развития аграрного производства стран заключается в малой эффективности использования БКП. Для России отношение урожайности зерновых культур к БКП в среднем составляет 15% (изменяясь от 26% для Северного Кавказа до 12% – для Северо-Западного региона). Для развитых стран Западной Европы этот показатель в 3 раза выше среднероссийского уровня (Клещенко и др., 2011).

2.3.1. Оценка снижения урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от неблагоприятных агроклиматических условий на территории РФ

Новая концепция оценки агроклиматических ресурсов территории России предложена В.А. Жуковым (1989). Она основана на расчете потерь урожая из-за неблагоприятных погодных условий, на получении

их вероятностных характеристик, и в конечном счете – на определении климатически обеспеченной урожайности сельскохозяйственных культур в каждом регионе страны.

По мнению автора, в естественных условиях оценить в явном виде степень снижения урожайности конкретной культуры достаточно сложно, а подчас и невозможно из-за влияния погоды, поскольку растения обладают механизмом саморегулирования и адаптации к конкретным условиям. Кроме того, влияние неблагоприятных погодных условий на выход продукции растениеводства существенно зависит от условий периода, предшествующего неблагоприятному, а также от тенденций их изменения. Хорошо известно, что наибольший ущерб растениям наносят неблагоприятные условия погоды, складывающиеся в критический период развития культуры, как правило, совпадающий с периодом закладки репродуктивных органов: от кущения до колошения у зерновых культур. Именно поэтому влияние неблагоприятных погодных условий на урожайность культур следует оценивать в динамике, поскольку требования культур к одним и тем же факторам существенно меняются в течение вегетационного периода.

В этой связи авторы концепции рассматривают погодную ситуацию в течение декады с точки зрения ее влияния на рост и развитие культуры и с учетом ее требований к факторам внешней среды на соответствующем этапе развития. При этом допускается, что в каждой декаде система «Погода-урожай» находится в одном из несовместных состояний:

1) условия благоприятны для роста и развития культуры;

2) растения угнетаются из-за недостатка влаги;

3) растения угнетаются из-за недостатка тепла на фоне переувлажнения;

4) растения угнетаются из-за недостатка тепла и влаги (холодные засухи весной и осенью);

5) растения угнетаются болезнями и вредителями; и т.д.

При использовании данного подхода возникает задача адаптации к фактическим условиям, в том числе к выявлению и формальному описанию встречающихся неблагоприятных ситуаций применительно к возделываемым культурам и их сортам в конкретной местности. В такой постановке диагностика системы «Климат-урожай» в каждом конкретном году, как считает В.А. Жуков (Жуков и др., 1989), является типичной задачей распознавания образов «с учителем».

Теория распознавания образов является одной из активно развивающихся областей прикладной математики. Основные принципы и методы этой теории разработаны и обобщены в целом ряде работ отечественных и зарубежных ученых.

Территория Российской Федерации располагает большим разнообразием почвенно-климатических условий для производства сельскохозяйственной продукции. В соответствии с этим значительно различается набор культур, возделываемых в различных природно-экономических районах России. Благодаря этому наша страна способна ежегодно получать сельскохозяйственную продукцию в необходимых объемах и большого ассортимента, правда, при условии, что в каждом природно-экономическом районе приоритет будет отдан культурам, наиболее приспособленным к его условиям. Имеющие место значительные колебания по годам урожайности отдельных культур и валовых сборов продукции растениеводства, по мнению В.А. Жукова, указывают на то, что такие приоритеты еще не везде определены.

Устойчивости к неблагоприятным погодным условиям и значительного повышения валовых сборов продукции можно достичь в силу научно-обоснованного размещения сельскохозяйственных культур. С этой целью предварительно оценивается природно-ресурсный потенциал территории применительно к возделыванию конкретной культуры, выраженный в климатически обеспеченной урожайности данной культуры.

Для расчета климатически обеспеченной урожайности необходимо оценить потери урожая каждой сельскохозяйственной культуры из-за неблагоприятных условий погоды и дать им вероятностную интерпретацию.

Исходными данными для таких расчетов послужили материалы сопряженных наблюдений за параметрами внешней среды и фенологией сельскохозяйственных культур за период с 1946 по 1990 гг., а также сведения по урожайности культур за этот же период. Результаты расчетов показали, что на начало 1990-х гг. основные сельскохозяйственные культуры в различных регионах России подвергались воздействию следующих наиболее часто отмечавшихся неблагоприятных погодных ситуаций:

1) вымерзание и выпревание озимых культур и многолетних трав в период зимовки;

2) весенние заморозки;

3) засуха в различные периоды вегетации культур;

4) возврат холодов в теплый период года и переувлажнение, вызывающее полегание посевов;

5) неблагоприятные условия уборки.

В таблице 2.8 приведены обобщенные оценки потерь урожайности и их вероятностные характеристики.

Таблица 2.8

Вероятность *(Р, %)* снижения урожайности сельскохозяйственных культур из-за погодных аномалий и средние потери урожая *(С, т/га)* на территории Нечерноземной зоны

№ пп	Область	Культура											
		Озимая пшеница		Озимая рожь		Яровая пшеница		Овес		Ячмень		Гречиха	
		Р	*С*	*Р*	*С*	*Р*	*С*	*Р*	*С*	Р	С	Р	С
1	Брянская	50	0,22	47	0,17	65	0,39	56	0,41	59	0,37	67	0,33
2	Владимирская	65	0,46	65	0,28	62	0,43	59	0,36	62	0,38	61	0,37
3	Ивановская	74	0,30	79	0,26	59	0,32	62	0,47	56	0,53	39	0,36
4	Тверская	50	0,39	50	0,34	66	0,22	66	0,30	66	0,37	50	0,32
5	Калужская	55	0,33	38	0,21	71	0,26	71	0,31	68	0,31	72	0,29
6	Костромская	68	0,37	79	0,26	71	0,30	68	0,43	71	0,45	82	0,25
7	Московская	61	0,34	59	0,34	44	0,59	47	0,57	47	0,46	62	0,45
8	Орловская	58	0,47	50	0,31	50	0,20	71	0,50	71	0,47	77	0,44
9	Рязанская	44	0,40	50	0,31	50	0,20	53	0,28	53	0,32	61	0,32
10	Смоленская	32	0,25	68	0,16	62	0,22	56	0,26	56	0,37	64	0,22
11	Тульская	71	0,43	65	0,32	56	0,26	59	0,44	59	0,24	58	0,46
12	Ярославская	79	0,42	76	0,33	59	0,30	68	0,39	62	0,42	86	0,20

Предложенная В.А. Жуковым концепция оценки агроклиматических ресурсов продуктивности сельскохозяйственных культур, базирующаяся на определении климатически обеспеченной урожайности, существенно дополняет современную теорию количественной оценки продукционного процесса агроландшафтов, особенно в новых экологических условиях их функционирования.

2.3.2. Агроклиматическая оценка состояния и продуктивности зимующих сельскохозяйственных культур

Рассуждая о роли климата и влиянии неблагоприятных погодных ситуаций на урожайность сельскохозяйственных культур, а также на продукционный процесс агроландшафтов в целом, рассмотрим их на примере возделывания основной зерновой культуры – озимой пшеницы. Она считается одной из наиболее зависимых по времени и воздействию от агрометеорологических условий в период возделывания.

Успешность возделывания зимующих культур (озимая рожь, озимая пшеница, многолетние травы и др.) зависит от внешних условий как теплого, так и холодного периодов года.

Своевременные и дружные всходы – одно из важнейших условий почвозащитной эффективности, успешной перезимовки и высоких урожаев озимой пшеницы. В настоящее время общепризнанным является вывод о том, что скорость появления всходов зависит от температуры воздуха и влажности верхних слоев почвы. Наименьшая продолжительность (5-7 дней) периода посев-всходы озимой пшеницы наблюдается при температуре 14…20°С и запасах влаги пахотного слоя 30…60 мм, а при температуре 7…8°С – только через 17-20 дней. При той же температуре, но с уменьшением запасов продуктивной влаги до 6…7 мм, – через 20-25 дней (Уланова, 1975). Влажность определяет и состояние всходов. Если запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы составляют 6…10 мм – состояние всходов плохое; 15…20 мм – удовлетворительное; 30…60 мм – хорошее, а менее 5 мм – всходы озимых не появляются совсем (Вериго, 1957).

Проведенная оценка увлажнения основного вегетационного цикла сельскохозяйственных культур по ГТК Селянинова в условиях Центрального Нечерноземья показывает нарастающую тенденцию роста засушливости с начала 1990-х гг. в целом, и второй половины периода вегетации – особенно. Если в 1980-е гг. общие условия за период превышают климатическую норму и характеризуются как влажные (1,52), а число засушливых месяцев (ГТК< 1) июля-августа составляет всего три, то в 1990-е гг. их количество достигает восьми, а с начала 2000-х гг. – уже семь, из них четыре – как очень засушливые (ГТК< 0,7). За последние пятнадцать лет ГТК за эти месяцы достиг уровня 1,21 (при норме 1,46), а в целом за вегетацию – 1,30 (1,44), что в итоге характеризует недостаточное увлажнение территории.

Особую важность для дальнейшего развития озимой пшеницы представляет этап осеннего кущения. В этот период образуются колосоносные стебли, а следовательно, формируется будущий урожай и продуктивная устойчивость агроэкосистем. Кроме того, осенние

побеги играют существенную роль в обеспечении физической (экологической) устойчивости эрозионно-опасных ландшафтов за счёт увеличения проективного покрытия эродированной почвы.

Благоприятные условия для перезимовки растений создаются при продолжительности осеннего кущения от 10 до 30 дней (Яковлев, 1966) со средней температурой воздуха 9…12°С (Куперман, 1973). Для образования 6 побегов хорошо кустящихся сортов озимой пшеницы за период от всходов до начала кущения необходима сумма эффективных температур 166°С (Шиголев, 1957). Однако очень высокая кустистость растений осенью может снизить зимостойкость, а в сухие годы отрицательно сказаться на урожайности и качестве зерна (Куперман, 1950). Тем не менее максимальный урожай озимой пшеницы наблюдается в годы с большой кустистостью их осенью, но при благоприятных условиях перезимовки и увлажнения весенне-летнего периода.

При признании значимости отдельных этапов органогенеза все же состояние озимых к концу осени зависит от агрометеорологических факторов и их сочетаний в течение всего осеннего периода вегетации и ежегодно бывает неодинаковым не только в разных по климатическим условиям зонах, но и на одном и том же поле (Коровин, 1977). Данный вывод особенно актуален для территорий со сложным рельефом местности, где решающее значение в развитии растений имеют экологические режимы места обитания. Последние обусловлены прежде всего влиянием эрозионных процессов, которые вызывают заметную дифференциацию склоновых земель по плодородию.

Метеорологические условия холодного периода года во многом определяют экономическую эффективность возделывания зимующих культур. В Нечерноземной зоне озимая пшеница чаще всего повреждается от вымерзания, выпревания и ледяной корки, обусловленных воздействием неблагоприятных внешних факторов: суровых малоснежных зим или, напротив, аномально теплых неустойчивых холодных периодов. Наличие интенсивных оттепелей с последующими резкими переходами к низким отрицательным температурам существенно осложняют условия перезимовки растений.

Факт присутствия длительно-однонаправленных изменений количества дней с температурой воздуха выше 0°С (включающих оттепели) в условиях Центрального Нечерноземья в период с 1981 по 2005 гг. по данным метеорологических наблюдений не подлежит сомнению (R^2=0,44). Если в первое десятилетие число таких дней соответствовало климатической норме, то в 1990-2005 гг. их рост составлял более 70%. Количество интенсивных оттепелей в зимний сезон с температурой выше 2,5°С, возрасло более чем в 2 раза.

Возрастает и экстремальность климата (табл. 2.9). Так, за последний 40-летний период чаще наблюдаются случаи наступления экстремально максимальных температур за сутки, превышающие прежние пределы (65%), а наиболее низкие температуры по-прежнему сосредоточены в первом 40-летнем периоде (69%). Это же характерно и для теплого времени года (78%).

Таблица 2.9

Повторяемость лет с экстремальными значениями температуры воздуха (Сенников и др., 2005)

Период, гг.	Холодный период (ноябрь(март)		Теплый период (апрель(октябрь)		Год	
	Число случаев	%	Число случаев	%	Число случаев	%
Максимальная температура						
1879-1918	19	13	62	29	81	22
1919-1958	34	22	69	32	103	28
1959-1998	98	65	83	39	181	50
Минимальная температура						
1879-1918	104	69	164	78	268	73
1919-1958	39	26	37	17	76	21
1959-1998	8	5	13	5	21	6

Благоприятная перезимовка озимой пшеницы связана с ее состоянием в осенний период и процессом закалки, когда при оптимальном сочетании этих факторов растения могут выдерживать температуру на глубине узла кущения –20, –22°С. При неблагоприятных условиях закалки осенью и дальнейшей перезимовки, с наличием продолжительных интенсивных оттепелей и общего неустойчивого термического режима озимая пшеница может повреждаться при температуре на глубине узла кущения –15, –16°С и даже выше (Уланова, 1975). При этом исключительное значение имеет высота снега, где защитное его действие на температуру почвы возрастает с понижением температуры воздуха (Шульгин, 1957, 1972).

Накопление и распределение снежных запасов в основном зависит от рельефа местности, температуры воздуха, изменения скорости ветра и турбулентного трения, обусловленного различного рода препятствиями (пожнивными остатками, микрорельефом и др.). Влияние последнего фактора наиболее выражено в начале зимы и определяется состоянием поверхности почвы (агрофоном). По мере накопления снега эти различия сглаживаются и далее уже не зависят от приемов агротехники. Мощность снежного покрова в среднем может достигать 35 см и более, создавая предпосылки для выпревания озимой пшеницы.

Как известно, выпревание происходит вследствие теплых неустойчивых зим и длительного (три-четыре декады) пребывания растений под мощным снежным покровом (более 30 см), при сохранении температуры почвы на глубине узла кущения близкой к 0°С. При таких условиях жизнедеятельность озимых остается повышенной. В процессе выпревания растений выделяют три фазы: истощение, голодание и гибель при развитии грибных заболеваний. Процесс истощения продолжается 2-3 мес. (Туманов, 1970). Его продолжительность зависит от температуры верхних слоев почвы, состояния растений с осени и степени их закалки. Хорошо развитые и закаленные осенью растения имеют в узлах кущения около 20…25%, в листьях – около 17% сахаров в пересчете на сухое вещество, а после прохождения фазы истощения количество сахаров уменьшается до 2…4%. Дальнейшее истощение растений происходит в результате распада белков (фаза голодания) и накопления аминокислот. Одновременно развивается снежная плесень, которая ускоряет процесс расхода белков и приводит растения к гибели.

Вместе с тем влияние рельефа, а соответственно и неоднородность метелевого потока, не всегда сказываются на общих запасах воды в снеге. Важное значение имеет устойчивость термического режима в холодный период, а также специфика вещественно-энергетических процессов, характерных для склонов. Инсоляция и присутствие многочисленных интенсивных оттепелей зимой приводит к заметному стаиванию снежной массы и формированию на почве притертой ледяной корки разной толщины (до 40 мм), влагозапасы которой главным образом и нивелируют эти различия.

Ледяная корка оказывает важное влияние на функционирование склоновых агроэкосистем и относится к числу распространенных явлений современных зимних периодов. В литературе имеются разные суждения о влиянии ледяной корки на перезимовку озимых культур (Туманов, 1970, Уланова, 1975, Яковлев, 1966). Различают два ее вида: притертая к почве и корка в виде прослойки в снегу. Наиболее опасной, по признанию большинства ученых, является притертая ледяная корка.

Условия ее образования – неустойчивые холодные периоды и частые интенсивные оттепели зимой. Смерзшийся с почвой лед причиняет механические повреждения озимым и может привести их к гибели.

Характер холодных сезонов по термическому режиму для зимующих культур является одним из определяющих в их развитии. Последствия неблагоприятных агрометеорологических условий зимних периодов и вызванных ими повреждений существенным образом сказываются на дальнейшем состоянии озимой пшеницы. Даже при оптимальном сочетании элементов погоды в последующий весенне-летний сезон продуктивность и качество зерна значительно снижаются.

В качестве упреждающих мер развития негативных процессов в зимующих фитоценозах применяют комплекс агротехнических приемов. Они позволяют направленно регулировать среду обитания растений, используя для этого, прежде всего, их биологические особенности.

Озимая пшеница относится к культурам, имеющим хорошо развитую и глубоко проникающую в почву корневую систему. Поэтому рыхление подпахотного горизонта является важным условием для нормального роста и развития вегетативной массы. Обеспечивая оптимальную площадь и уровень питания для корневой системы, глубокое рыхление (щелевание) повышает устойчивость растений пшеницы к неблагоприятным природным условиям. Во многом именно по этой причине в 2000 году, по данным исследований кафедры земледелия РГАУ-МСХА, в сложившейся экстремальной ситуации произрастания озимой пшеницы (редкое сочетание комплекса неблагоприятных внешних факторов вегетационного и зимнего периодов), поверхностная обработка почвы (дискование на 6-8 см) не обеспечивает необходимых условий для формирования высокого урожая. Он составил на склонах 8 и 4° соответственно 1,32 и 1,24 т/га, что почти в 1,5 раза ниже, чем на других изучаемых вариантах (рис. 2.4).

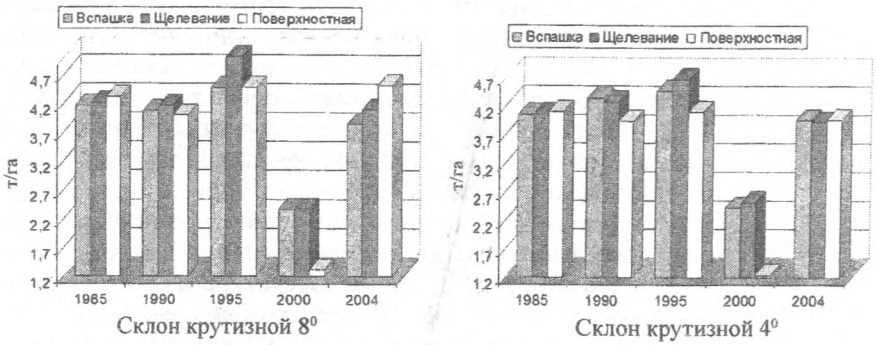


Рис. 2.4. **Урожайность озимой пшеницы на склоне крутизной 8 и 4° под действием противоэрозионных приемов обработки почвы**

Выявленные закономерности характерны и для других культур, имеющих в своем развитии период с отрицательными температурами.

Одним из наиболее убедительных аргументов в пользу важнейшего влияния факторов внешней среды в развитии растений могут служить результаты трендового анализа урожайности многолетних трав. Эта культура по праву считается средостабилизирующей, и от нее главным образом зависит экологическая и продуктивная устойчивость функционирования агроландшафтов (рис. 2.5).

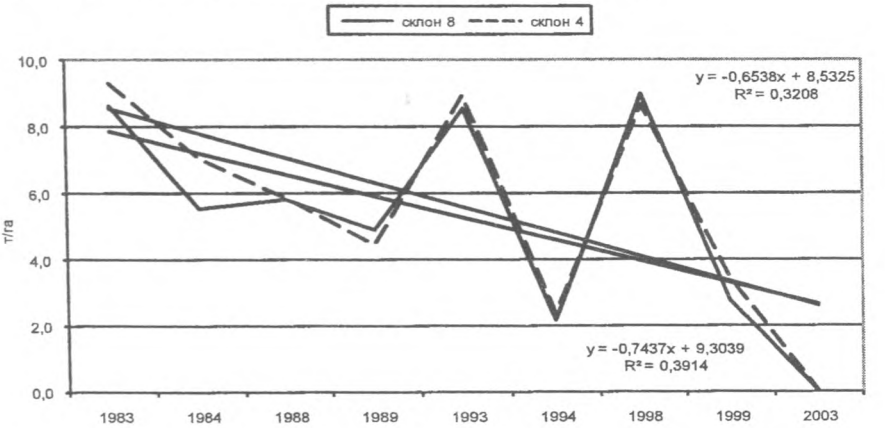


Рис. 2.5. **Тренд урожайности сена многолетних трав в зависимости от элементов агроландшафта, 1981-2004 гг.**

Негативная направленность изменений урожайности сена трав, к сожалению, не вызывает сомнений, причем как на склоне крутизной 8° (R^2 = 0,32), так и на склоне крутизной 4° (R^2=0,39). По графику нетрудно определить, что особенно серьезные изменения происходят с 1989 г., где колебания урожайности трав 1-го и 2-го года пользования особенно заметны. Если в 1980-е гг. вклад погодных условий (термического и влажностного режимов) в урожайности многолетних трав не превышает 30%, то с начала 1990-х гг. этот показатель возрастает более чем в 2 раза.

Контрольные вопросы

1. Какие агрометеорологические явления называют неблагоприятными? Какие существуют основные причины повреждения и гибели сельскохозяйственных культур?

2. Неблагоприятные агрометеорологические явления теплого периода.

3. Заморозки. Типы заморозков. Влияние местоположения участка на проявление заморозков. Меры предупреждения и борьбы.

4. Устойчивость сельскохозяйственных культур к заморозкам в разные фазы развития. Чем она определяется?

5. Засуха и ее вредоносность. Типы засух.

6. Критерии засухи. Оценка степени засушливости по ГТК Селянинова.

7. Суховеи. Агрономические критерии суховеев.

8. Неблагоприятные агрометеорологические явления холодного периода.

9. Чем определяются агроклиматические условия перезимовки озимых культур?

10. Какие показатели используют для оценки агроклиматических условий перезимовки сельскохозяйственных культур?

11. Как рассчитать минимальную температуру почвы на глубине узла кущения?

12. Как делится территория по типу зим для оценки условий перезимовки плодовых культур?

13. Как разделена территория по агроклиматическим условиям перезимовки зерновых культур?

14. В чем заключается суть концепции оценки агроклиматических ресурсов продуктивности сельскохозяйственных культур В.А. Жукова?

15. Чем определяется успешная перезимовка озимых культур?

16. Какую роль играет снежный покров для перезимовки озимых культур? Назовите особенности его накопления и распределения в условиях сложного рельефа.

17. Меры предупреждения и борьбы с неблагоприятными агрометеорологическими явлениями в зимний период.

ГЛАВА 3
СОВРЕМЕННЫЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ И АДАПТИВНЫЕ МЕРЫ В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА

Климат был и остается фактором не только природным, но и экономическим, и социальным. Сейчас эти последние его стороны приобретают все большее значение. Производство продовольствия, стратегия развития энергетики, транспорт и связь, строительство, водное хозяйство, разработка морских и прибрежных ресурсов и многие другие сферы хозяйственной деятельности человека прямо связаны с климатом. А в последнее время весьма актуальным стал вопрос о возможных изменениях климата и его последствиях в результате глобального потепления.

3.1. Современное представление о климате. Климатическая система и условия ее формирования

Определение понятия «климат» проводится на основании обобщения ряда справочников, а также основных курсов метеорологии и климатологии: Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии (2002), (Хромов С.П., Петросянц М.А., 1994; Хромов С.П., Мамонтова Л.И., 1963; Лосев К.С., 1985; и др.).

Историю климатологии начинают от древнегреческого астронома Гиппарха (190-120 гг. до нашей эры), который ввел термин «климат», происходящий от греческого слова «климатос», что означает «наклон». Имеется в виду наклон солнечных лучей к земной поверхности. Климат считался зависимым только от высоты стояния Солнца над горизонтом, или от широты местности. Гиппарх выделял пять типов климата, затем стали выделять девять. Самый жаркий климат занимал полосу вдоль экватора шириной 12° по обе его стороны, при движении на север и юг последовательно, через каждые 5,5°, менялись 7 типов климата, а девятый – самый холодный – располагался к северу и к югу от 50° широты. Считалось, что в этом климате жизнь невозможна. Наиболее благоприятным признавался климат той зоны, где располагалась Греция. Такое представление о климате сохранялось очень долго, вплоть до XVII в.

В период Великих географических открытий люди убедились, что даже в одних и тех же широтах климат может быть разным. В XVII в. были изобретены термометр, барометр и другие приборы для наблюдений за состоянием атмосферы, стали появляться первые метеорологические станции, изменились и представления о климате.

Уже М.В. Ломоносов отошел от эллинского «астрономического» климата, отметив роль моря и суши в его формировании. В 1845 г. Александр Гумбольдт определил климат как все изменения атмосферы, воспринимаемые нашим сознанием, и подчеркнул огромное значение для климата того или иного района распределения суши, рельефа, близости или удаленности от океана.

Три знаменитых климатолога конца XIX и начала XX в.: А.И. Воейков, В.П. Кеппен и Ю. Ганн – понимали под климатом среднее состояние атмосферы и совокупность атмосферных явлений за достаточно длительный промежуток времени в определенном районе.

В начале нашего века в фундаментальном словаре Брокгауза и Ефрона климат определялся следующим образом: «...среднее состояние атмосферы в данной стране... выражает совокупность погоды в данное время в данном месте...». Такое определение климата почти полностью сохранялось много лет. Второе издание Большой советской энциклопедии определяет климат как «многолетний режим погоды, наблюдавшийся в данной местности. Под режимом погоды понимается совокупность и последовательность смен погоды». Почти полностью повторяет это определение и третье издание энциклопедии: климат – это «многолетний режим погоды, свойственный той или иной местности», а режим погоды – это «совокупность всех условий погоды в данной местности за несколько десятков лет».

Известный советский климатолог С.П. Хромов в своем «Метеорологическом словаре» (1974) определил климат как «статистический режим атмосферных условий (условий погоды), характерный для каждого данного места Земли в силу его географического положения». При этом С.П. Хромов, как и его предшественники, под погодой понимал «совокупность метеорологических элементов в данный момент в данном месте».

Помимо общего понятия «климат», имеются ряд его определений, зависящих от величины территории, местоположения и преобладающих факторов формирования.

Климат глобальный. Статистическая совокупность состояний, проходимых системой «Атмосфера-океан-суша-криосфера-биосфера» за периоды времени в несколько десятилетий. В таком понимании климат есть понятие глобальное (Хромов, Петросянц, 1994).

Климат глобальный определяется как астрономическими факторами (наклон оси вращения Земли к плоскости орбиты, положение Земли в Солнечной системе, распределение солнечной энергии, поступающей на Землю), так и географическими факторами (масса и состав атмосферы, географическое распределение материков и океанов, рельеф поверхности суши и т.д.).

Климат локальный. Совокупность атмосферных условий за многолетний период, свойственных тому или иному месту в зависимости от его географической обстановки (Хромов, Петросянц, 1994).

Конкретные типы климата локального определяются такими географическими факторами, как широта местности, удаленность территории от океанов, соотношение площадей суши и водной поверхности, рельеф, почва, растительный покров, океанические течения и т.п.

Климат почвы. 1. Многолетний тепловой, водный и воздушный режим почвы, имеющий суточную, годовую, многолетнюю и вековую цикличность, складывающийся под влиянием климата, почвообразующих пород, рельефа, растительности и производственной деятельности человека. Особенности климата почвы определяют динамику веществ в почвенном профиле, процессы почвообразования и степень плодородия почвы (Шульгин А.М., 1972).

2. Совокупность внутрипочвенных физических явлений с суточным и годовым их ходом, развивающихся во взаимосвязи с (атмосферным) климатом, почвой, растительностью и производственной деятельностью человека. Основные элементы климата почв – температура и влажность почвы (Хромов, Мамонтова, 1974).

Климат приземного слоя воздуха. Атмосферные условия, существующие в самом нижнем слое воздуха непосредственно над почвой (высотой 1,5-2 м). Именно эти условия влияют на жизнедеятельность культурных растений (фитоклимат). Климат приземного слоя воздуха характеризуется: 1) увеличенными амплитудами температуры; 2) большими, летом часто сверхадиабатическими градиентами температуры днем над сушей и температурными инверсиями ночью; 3) уменьшенными скоростями ветра; 4) увеличенным влагосодержанием, увеличенными амплитудами относительной влажности воздуха и т.п. Климат приземного слоя воздуха обычно отождествляют с микроклиматом (Хромов, Мамонтова, 1974)

Макроклимат. Климат крупномасштабного географического района, природной (географической) зоны, обширных территорий материков, океанов и т.п., характеризуемый многолетними метеорологическими данными в типичных для этого района ландшафтах. В отдельных случаях термин М. применяют в планетарном масштабе. В обычном толковании говорят, например, о макроклимате Средиземноморского бассейна, макроклимате Восточной Сибири, макроклимате зоны пассатов и т.п. (Хромов, Мамонтова, 1974).

Мезоклимат. Климат относительно крупных географических ландшафтов, достаточно однородных по комплексу природных условий; характеризуется обычно данными одной-двух метеорологических станций. Мезоклимат в значительной степени определяется

особенностями земной поверхности в данном районе, например, мезоклимат конкретного лесного массива, участка речной долины, части морского побережья, городского района и т. д. Мезоклимат – климатическая единица, занимающая по масштабу положение между макроклиматом и микроклиматом.

Микроклимат. Климат приземного слоя воздуха (обычно до высоты 2,0 м над поверхностью почвы) небольшой территории (района, поля, сада, склонов возвышенностей, равнин, котловин и т.п.), обусловленный неоднородностью подстилающей поверхности, на которой неодинаково протекают процессы нагревания, охлаждения, увлажнения, высыхания, формирования снежного покрова, его таяния и т.д. Так, разность температур на поверхности почвы северных и южных склонов (крутизной 5-8°) весной может достигать 10-15°С. Поспевание почвы происходит на 5-7 суток раньше на южных склонах, чем на северных. Микроклимат изучают при помощи микроклиматической съемки на обследуемой территории; результатом микроклиматической съемки являются микроклиматические карты и специальные описания особенностей обследуемой территории. Микроклимат с.-х. угодий представляет собой один из резервов повышения продуктивности производства без дополнительных затрат путем дифференцирования сроков сева и уборки, размещения сортов с.-х. культур с учетом их тепло- и влагопотребности, морозоопасности территории, повторяемости неблагоприятных явлений. Учет особенностей Микроклимата территории позволяет заметно улучшить оправдываемость методов агрометеорологических оценок и прогнозов (Романова, Мосолова, Береснева, 1983).

Понимание прямой связи климата с элементами окружающей среды, развитие и углубление климатических исследований привело к тому, что теперь все чаще стало употребляться словосочетание «климатическая система», которое показывает, что климат неразрывно связан с управляющими им элементами окружающей среды, на которые он в свою очередь оказывает огромное воздействие. Употребляют это понятие и в новых определениях климата. Так, А.С. Монин определяет климат как «статистический ансамбль состояний, которые проходит система океан – суша – атмосфера в период времени в несколько десятилетий». Уоррен Гейтс предложил определять климат как полное статистическое описание состояния всех компонентов внутренней климатической системы на протяжении заданного промежутка времени в совокупности с описанием состояния внешней системы (или граничных условий). При этом во внутреннюю климатическую систему он включает атмосферу, океан, сушу и снежно-ледниковый покров. Приняв определения климата последних лет, которые в целом близки, можно сказать, что из-

менением климата следует считать разницу «статистического ансамбля состояний» через каждые несколько десятилетий (по А.С. Монину) или через каждый заданный промежуток времени (по У. Гейтсу).

К климатической системе обычно относят атмосферу, гидросферу (океан и воды суши), сушу (континенты), криосферу (снег, лед и районы многолетней мерзлоты) и биосферу (рис. 3.1).

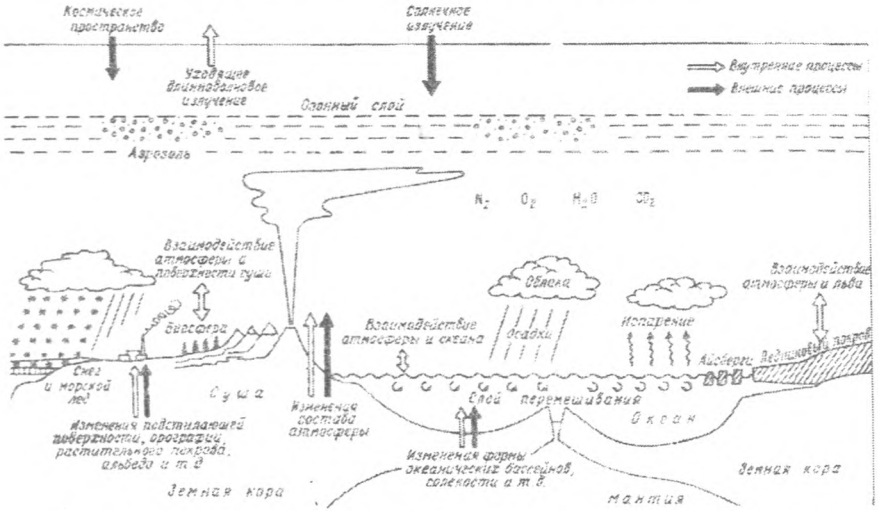


Рис. 3.1. **Климатическая система, внешние воздействия, процессы и взаимодействия в климатической системе**

Атмосфера является центральным компонентом климатической системы. Именно через нее человек воспринимает все самые отдаленные изменения и колебания других составляющих системы, а также внешних факторов, так как он живет, окруженный атмосферой, внутри ее движений и изменений, с ней связана сама жизнь человека.

Два свойства атмосферы делают ее действительно ведущим компонентом климатической системы – это масштабность и всепроникновение. Атмосфера находится в любой точке поверхности нашей планеты, тогда как все остальные компоненты проявляются только на части этой поверхности: океан занимает 70,8% поверхности Земли, а суша – соответственно 29,2%; ледники находятся на немногим более 3% поверхности, а вместе с морскими льдами и снежным покровом – примерно на 11% поверхности; площадь, занятая биосферой, велика, но она разорвана на ареалы, точных данных о ней нет (Лосев К.С., 1985).

Всепроникаемость атмосферы обусловлена тем, что составляющие ее газы находятся в состоянии непрерывного обмена с другими компонентами климатической системы. Они растворяются в гидросфере и поступают из нее в воздух, проникают в трещины и поры литосферы, в то же время пополняясь выбросами вулканических газов и их слабыми потоками из литосферы; атмосферные газы сохраняются в ледниковых покровах в виде пузырьков, а при таянии льдов высвобождаются; наконец, атмосфера обменивается газами с биосферой в процессе дыхания. Каждый человек также находится в процессе постоянного обмена с атмосферой, но не только посредством дыхания, но и через свою трудовую деятельность, что принципиально отличает этот обмен от «чистого» дыхания биосферы. Можно добавить также, что атмосфера обменивается массой и энергией с внешними факторами – например, космическими.

Вместе с тем атмосфера – это самая подвижная и изменчивая составляющая климатической системы. Изменчивость процессов, в ней протекающих, удивительно совпадает со многими процессами в жизни и деятельности человека вследствие его длительной адаптации. Можно сказать, что человек взаимодействует с атмосферой в «реальном масштабе времени».

Вторым по важности компонентом климатической системы выступает гидросфера, в которой доминирующая роль принадлежит Мировому океану. Атмосфера и океан соприкасаются и взаимодействуют на 2/3 поверхности планеты, передавая друг другу тепло, массу и движение. С поверхности океана в атмосферу испаряется основная часть воды, дающая начало влаго-обороту. Атмосферные ветры формируют поверхностные течения в океане, которые переносят огромное количество тепла, гигантским аккумулятором которого является океан. Достаточно сказать, что для изменения температуры воздуха на 1°С необходимо, чтобы атмосфера получила или отдала такое же количество тепла, которое выделится при изменении средней температуры океана меньше чем на 0,001°С, т.е. на величину, далеко выходящую за пределы точности измерений. Связано это и с колоссальной массой океана, которая в 258 раз больше массы атмосферы (Лосев К.С., 1985).

Мировой океан исследован еще не так подробно, как атмосфера. Только в последние годы обнаружен ряд особенностей его циркуляции: океанические вихри, подобные циклонам и антициклонам в атмосфере, «ринги» – вихреобразные кольцевые структуры диаметром до 100 км, включающие в массу воды, по свойствам отличающуюся от окружающей. Выявлены новые подповерхностные течения, а также наличие движения воды даже на самых больших глубинах.

Гидросфера – очень подвижная среда, хотя скорость перемещения вещества в ней в целом на два порядка меньше, чем в атмосфере. Средняя скорость океанических течений составляет 3,5 см/с, тогда как обычная скорость ветра в приземном слое атмосферы в среднем всегда больше 1 м/с, а на значительной высоте она достигает 10 м/с и больше.

Криосфера как компонент климатической системы отличается прежде всего высокой отражательной способностью (альбедо) и низкой теплопроводностью. Свежевыпавший снег отражает до 90% солнечного излучения. Снег и лед похожи на осколки зеркала, «приклеенные» к поверхности планеты. Основная масса ледникового льда – 90% – сосредоточена в Антарктиде, но наибольшую площадь на планете занимают морские льды и сезонный снежный покров, хотя масса их в сотни раз меньше массы ледникового льда. В северном полушарии в акватории Северного Ледовитого океана морской лед сохраняется летом на площади около 8 млн км^2, а зимой он распространяется на территорию почти 18 млн км^2, что в 2 раза больше площади Австралии. В южном полушарии вокруг Антарктиды морской лед зимой покрывает почти 20 млн км^2, а летом – около 2 млн км^2.

Снежный покров в среднем за год покрывает до 60 млн км^2 поверхности планеты. Границы снежного покрова и морского льда весьма подвижны, в течение года они то продвигаются в сторону экватора, то отступают далеко к полюсам. Лед в ледниках тоже непрерывно движется, что в прошлом неоднократно способствовало распространению ледниковых покровов на больших участках суши и моря. Однако скорость движения ледникового льда на 2-3 порядка меньше скорости движения воды в океане.

Суша в целом выступает как сравнительно пассивный компонент климатической системы. Учитывается обычно ее поверхностный слой, соприкасающийся с атмосферой, физические характеристики которого часто принимаются постоянными. Однако степень увлажненности этого слоя может резко менять его характеристики, в том числе отражательную способность. Поэтому учет увлажненности и ее изменений необходим в моделях климата, что далеко не всегда удается.

За длительные отрезки времени физические характеристики поверхности суши могут измениться в результате процессов почвообразования, выветривания, эрозии, опустынивания. Это происходит за тысячи, десятки и сотни тысяч лет. За очень большие промежутки времени, измеряемые десятками и сотнями миллионов лет, в результате дрейфа континентов лик Земли в корне преображается, и это меняет все компоненты климатической системы. Скорость дрейфа континентов составляет несколько сантиметров в год, что на 2-3 порядка меньше скорости движения льда в ледниках.

Биосфера как компонент климатической системы влияет на климат по-разному: в периоды вегетации растительного покрова, смены растительных сообществ, расширения и сокращения площади, занятой растительностью, увеличения или уменьшения объема биомассы. Все эти явления происходят в самых разных масштабах времени.

Компоненты климатической системы связывает удивительное вещество – вода, которая может находиться в любых фазовых состояниях, т.е. быть парообразной, жидкой и твердой. Это своего рода кровь климатической системы, выступающей как единый организм, в котором при непрерывном взаимодействии друг с другом отдельных компонентов вода становится переносчиком энергии и массы.

3.2. Современные изменения и колебания климата. Глобальное потепление, причины и прогнозы на будущее. Адаптация сельского хозяйства к меняющемуся климату

Сейчас уже с уверенностью можно утверждать, что проблема изменений климата выдвинулась в первый ряд глобальных вызовов XXI века и приоритетов международной повестки дня. Она выходит далеко за рамки чисто научного вопроса и по своей сути представляет собой комплексную междисциплинарную проблему, охватывающую все ключевые аспекты устойчивого развития: экологические, экономические и социальные. Исследования указывают на значительные колебания климата на Земле и его природную изменчивость. Эти изменения всегда оказывали существенное влияние на развитие жизни на планете, а в последние тысячелетия – и на развитие цивилизации.

Особенную озабоченность вызывает беспрецедентно высокая скорость глобального потепления, наблюдаемая в течение нескольких последних десятилетий. Новейшие данные метеорологических наблюдений и анализ среднегодовой температуры приземного слоя воздуха как главного фактора отражающего изменения среды показывают, что за последние десятилетия отмечены существенные отклонения этой величины от среднемноголетних значений.

Для объективной оценки текущих экологических изменений и расчета климатической нормы необходимы несколько условий: наличие длинного ряда наблюдений за погодой при соблюдении их однородности и непрерывность самих наблюдений в одном месте.

В таблице 3.1 представлены месячные и годовые нормы температуры воздуха за различные временные ряды Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона РГАУ-МСХА. Просматривается

общая тенденция возрастания температуры воздуха по мере увеличения ряда наблюдений. Это относится к средним месячным значениям в холодный и теплый периоды года и средней годовой температуре. Но если годовая норма за 125-летний ряд (4,4°С) по сравнению с нормой за 35-летний ряд (3,6°С) выросла на 0,8°С, то изменение средних значений температуры за отдельные месяцы более заметно. Например, апрельская норма выросла с 3,4°С для короткого ряда до 4,9°С для длинного, т.е. на полтора градуса. Если учитывать, что каждый период осреднения (35, 73, 80, 100, 125 лет) включал в себя все предшествующие годы, то этот рост средних месячных и годовых температур можно считать достоверным.

Таблица 3.1

Месячные и годовые нормы температуры воздуха, °С
(обсерватория им. В.А. Михельсона РГАУ-МСХА)

Период, гг.	Кол-во лет	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Годовая норма
1879-2003	125	-9,5	-8,6	-3,8	4,9	12,2	16,2	18,3	16,4	10,7	4,6	-1,9	-7,0	4,4
1881-1980	100	-10,2	-9,2	-4,3	4,4	11,9	16,0	18,1	16,3	10,7	4,3	-1,9	-7,3	4,1
1881-1960	80	-10,2	-9,6	-4,7	4,0	11,6	15,8	18,1	16,2	10,6	4,2	-2,2	-7,6	3,8
1881-1953	73	-10,4	-9,6	-4,7	4,0	11,6	15,7	18,0	16,2	10,6	4,1	-2,1	-7,7	3,8
1881-1915	35	-10,8	-9,1	-4,8	3,4	11,8	15,6	18,0	15,8	10,1	3,7	-2,8	-8,0	3,6

Результаты трендового анализа 130-летнего ряда наблюдений метеорологической обсерватории за температурой воздуха, представленного по скользящим 10-летиям, подтверждают тенденцию устойчивого потепления климата. Согласно полученным данным за этот период отмечается четкая направленность к повышению температуры (R^2 = 0,95), где средние годовые ее значения возрастают от 3,5°С в конце XIX в. до почти 7,0°С к началу XXI в. (рис. 3.2).

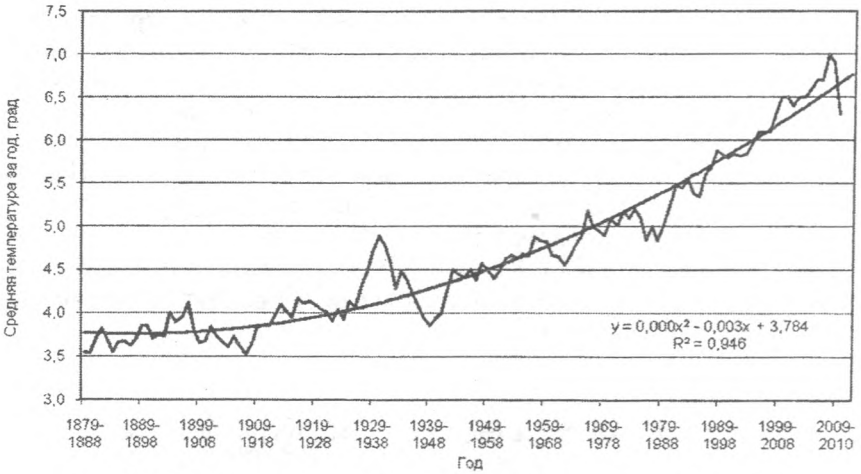


Рис. 3.2. **Тренд годовых температур воздуха по скользящим десятилетиям 1879-2009 гг.**

Отчетливо проявляется волнообразный характер колебаний температуры воздуха. Выделяется относительно холодный период в начале XX в., всплеск тепла в 30-е гг. и бурный подъем в последние десятилетия, где средняя годовая температура заметно превышает климатическую норму (4,4°С), достигнув рекордной отметки в 2008 г. (7,5°С). Анализ показывает, что основной вклад в повышение температуры вносят теплые зимы, со значительным ее ростом в центральные зимние месяцы.

Особенно показательны изменения в тепловом режиме при рассмотрении динамики сумм активных температур выше 10°С, которые характеризуют ресурсы тепла территории, потребности сельскохозяйственных культур в тепле и обеспеченности им растений. За весь период наблюдений наименьшая их сумма составляет 1276°С (1904 г.), наибольшая – около 2900°С (2010 г.). В географическом аспекте это соответствует перемещению от широты Петрозаводска до Саратова.

В колебаниях теплового режима также можно выделить закономерности: низкий уровень тепла в начале XX в. (1840…1880°С); довольно бурный его рост в 30-е гг. (2240…2290°С) и падение теплообеспеченности в последующие десятилетия (до 2100°С), с существенными колебаниями этого показателя по отдельным годам (рис. 3.3).

Резкий подъем уровня теплообеспеченности отмечен в конце XX в. и начале XXI в. Так, если норма сумм активных температур воздуха за предыдущие 100 лет (1881-1980 гг.) составляет 2072°С, то за последние 25 лет (1986-2010 гг.) она возрастает до 2400°С, что выше климатической нормы для этой территории более чем на 300°С.

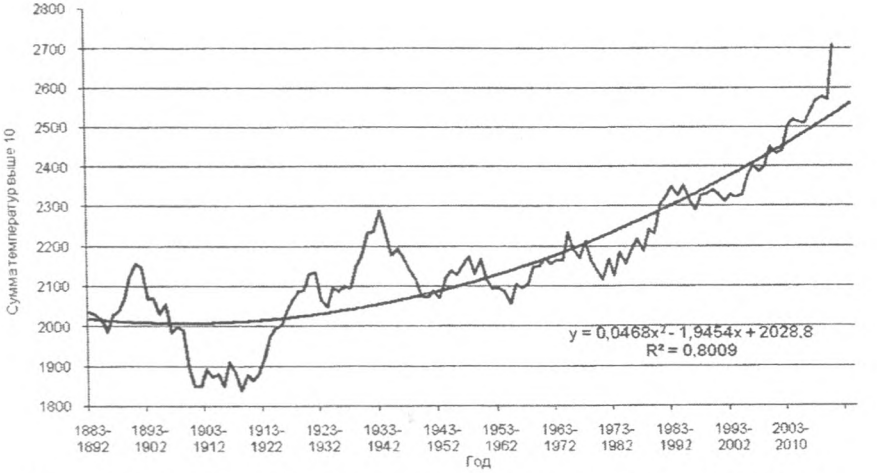


Рис. 3.3. **Тренд сумм температур воздуха по скользящим десятилетиям 1881-2010 гг.**

Наряду с теплом, основным и незаменимым фактором внешней среды при возделывании сельскохозяйственных культур являются осадки. От уровня 600 мм в год в конце XIX в. наблюдается увеличение их годовых сумм до уровня 700 мм за первое десятилетие XXI в. Причем если в конце XIX и начале XX вв. ряд лет отмечен суммами осадков менее 450 мм, то в конце XX в. их сумма в отдельные годы превышала 800 мм (рис. 3.4).

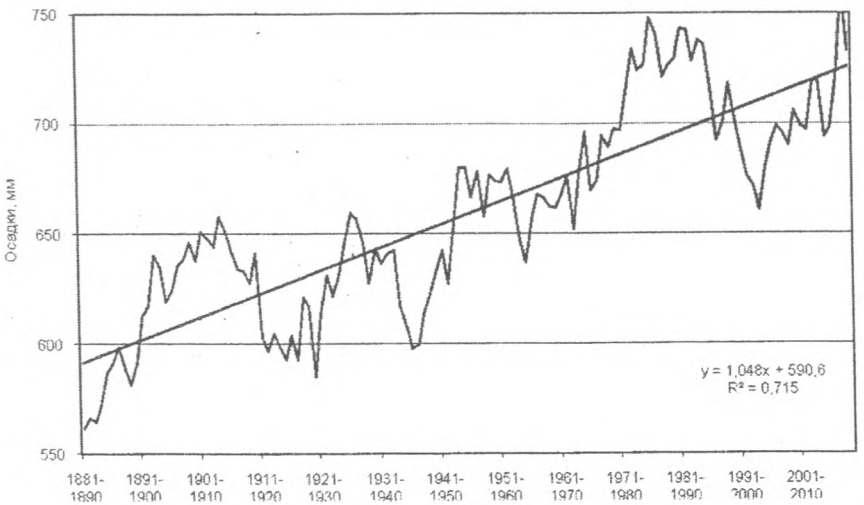


Рис. 3.4. **Тренд годовых сумм осадков по скользящим десятилетиям**

Данные наблюдений за температурой воздуха. Михайловского агрометпоста «Голохвастово» расположенного в Московской области подтверждают ту же устойчивую тенденцию потепления климата, что и результаты обсерватории. В период с 1980-2005 гг. отмечается общий рост температуры для этой территории на 1,5°С. Температура воздуха в холодный сезон возросла до -5,4°С (при норме -7,7), или на 2,3°С. Процесс потепления зимних периодов, т.е. устойчивого преобладания повторяемости теплых зимних сезонов над повторяемостью холодных, усиливается в конце 1980 гг., и особенно с начала 1990 гг.

Среднее количество осадков за последние десятилетия в летние месяцы превышает их зимние суммы в 1,5 раза, тогда как наблюдаемый с начала 1990 гг. рост осадков в холодный сезон приводит к снижению указанной пропорции до 1,3. Резкое уменьшение обеспеченности полевых культур влагой главным образом происходит в июле и августе, что является для многих из них критическим периодом в водопотреблении.

Возрастает и экстремальность климата. Особенно показательным в этом плане стал 2010 г., когда только за летний сезон было зафиксировано более 20 температурных рекордов.

Изменение климата окажет значительное воздействие на окружающую среду во всем мире. В течение XXI в. высока вероятность ускорения динамики уже наблюдаемых трансформаций климата. Как правило, чем быстрее происходит изменение климата, тем больше опасность разрушений. Ожидается, что к 2100 г. средний уровень моря повысится на 9-88 см, что вызовет затопление низинных территорий и иные разрушения. Другие виды воздействий включают в себя глобальное повышение уровня осадков и изменение силы и частоты экстремальных явлений. Климатические зоны сместятся в сторону полюсов и в вертикальном направлении, что приведет к нарушению устойчивости лесных, пустынных, луговых и других нерегулируемых экосистем. В результате многие из них придут в упадок или будут раздроблены, а отдельные виды животных и растений просто исчезнут.

Человеческое общество также столкнется с новыми видами опасностей и воздействий со стороны природной среды. Маловероятно, что глобальная продовольственная безопасность окажется под угрозой, однако в некоторых регионах вероятны нехватка продовольствия и голод. Будут затронуты и водные ресурсы, так как режимы выпадения осадков и испарений изменятся во всем мире. Физической инфраструктуре будет нанесен ущерб, обусловленный, в частности, повышением уровня моря и экстремальными погодными явлениями.

На экономическую деятельность, населенные пункты и здоровье человека будет оказано множество прямых и косвенных воздействий. Наиболее уязвимыми к негативным последствиям изменения климата окажутся беднейшие слои населения и группы, находящиеся в неблагоприятном положении.

По мнению большинства ученых, современные изменения климата вызваны прежде всего антропогенной деятельностью, и эти изменения на фоне природных колебаний усиливают их воздействие на природу и человека. За счет антропогенного воздействия, через дополнительную эмиссию парниковых газов в атмосферу, общая климатическая ситуация может измениться быстрее, чем это имело место в прошлые тысячелетия.

3.2.1. Природа парникового эффекта

На климат Земли оказывает влияние постоянный приток солнечной энергии. Эта энергия, как правило, поступает в форме видимого света. Около 30% энергии сразу же отражается обратно в космос, но остальная большая ее часть (70%) проникает сквозь атмосферу и нагревает земную поверхность. Земля, нагревшись, отдает обратно в космос эту энергию в форме инфракрасного излучения.

Будучи намного холоднее Солнца, Земля не испускает энергию в форме видимого света. Вместо этого она выделяет инфракрасное или тепловое излучение. Это излучение аналогично теплу, которое отдает электрический камин или мангал, до того как его прутья раскалятся докрасна.

Парниковые газы в атмосфере задерживают инфракрасное излучение, не позволяя ему сразу же уйти в космос с поверхности Земли. Инфракрасное излучение не может непосредственно пройти через воздух как видимый свет. Вместо этого большая часть исходящей энергии уносится потоками воздуха с поверхности Земли и в конечном счете, достигнув высот, расположенных за пределами самых плотных слоев «покрова» из парниковых газов, уходит в космос.

Основные парниковые газы представляют собой водяной пар, диоксид углерода, озон, метан, закись азота, галоидуглероды и другие промышленные газы. Все эти газы, за исключением промышленных, имеют естественное происхождение и занимают небольшой объем. Однако этого достаточно, чтобы создать «естественный парниковый эффект», который позволяет сохранить на планете температуру для жизни в той форме, в которой мы ее знаем.

Уровни основных парниковых газов (возможно, за исключением водяных паров) повышаются вследствие антропогенной деятельности. Выбросы диоксида углерода (преимущественно при сжигании угля, нефти и природного газа), метана и закиси азота (главным образом, обуславливаемые сельским хозяйством и изменениями в землепользовании), озона (образующегося под действием выхлопных газов, выбрасываемых автотранспортом и другими источниками) и долгоживущих промышленных газов, таких, как ХФУ, ГФУ, ПФУ, изменяют способность атмосферы поглощать энергию. Уровень водяных паров может также повышаться вследствие действия «положительной обратной связи». Все это происходит с беспрецедентной скоростью. В результате мы имеем «усиленный парниковый эффект».

Климатическая система должна «приспосабливаться» к повышению уровня газов с тем, чтобы сохранить глобальный «энергетический баланс». В долгосрочном плане Земля должна освобождаться от энергии с такой же скоростью, с которой она ее получает от Солнца. Поскольку более плотный покров парниковых газов помогает сократить утечку энергии в космос, климат должен как-то изменяться с тем, чтобы восстановить баланс между поступающей и исходящей энергией.

«Процесс приспособления» будет представлять собой «глобальное потепление» поверхности Земли и нижних слоев атмосферы, но это лишь часть общего процесса. Потепление является наиболее простым способом для климата избавиться от излишков энергии. Однако даже небольшое повышение температуры будет сопровождаться многими другими изменениями, например, изменением облачного покрова и характера ветров. Некоторые из этих изменений могут воздействовать на потепление в качестве усиливающих факторов (положительная обратная связь), другие – противодействовать ему (отрицательная обратная связь).

В то же время искусственные аэрозоли, постоянно находящиеся в атмосфере, обладают всеобщим охлаждающим эффектом. Выбросы серы из тепловых электростанций, работающих на угле и нефти, и горение органических материалов приводят к образованию микроскопических частиц, которые способны отражать назад в космос солнечный свет, а также воздействовать на облака. Возникающий в результате процесс охлаждения частично противодействует потеплению, вызванному парниковым эффектом. Однако эти аэрозоли находятся в атмосфере относительно недолго по сравнению со стойкими парниковыми газами, поэтому их охлаждающее воздействие носит локальный характер. Они также являются причиной кислотных дождей и низкого качества воздуха, т.е. определенных проблем, которые необходимо решать. Это значит, что нам не следует всецело полагаться на охлаждающий эффект аэрозолей.

Согласно климатическим моделям глобальная средняя температура повысится к 2100 г. примерно на 1,4-5,8°С (2,5-10,4°F) в год. В этом прогнозе 1990 г. используется в качестве базового и вводится допущение о том, что никакие меры, имеющие целью свести к минимуму изменение климата, не принимаются. В нем также учтены ответная реакция климата и эффект аэрозолей на нынешнем уровне понимания этих явлений.

Это изменение будет самым масштабным из всех изменений климата, которые когда-либо происходили на нашей планете, по меньшей мере за последние 10000 лет. Эти прогнозы основываются на целом ряде допущений, касающихся основных факторов, которые будут обуславливать будущие выбросы (таких, например, как рост численности населения и технический прогресс), однако они строятся без учета действий по сокращению выбросов, предпринимаемых как отклик на проблему изменения климата. Масштабы и воздействия изменения климата, в особенности на региональном уровне, характеризуются множеством неопределенностей. Вследствие задерживающего эффекта океанов поверхностная температура не будет сразу же реагировать на выбросы парниковых газов, поэтому изменение климата будет продолжаться еще в течение многих сотен лет после того, как концентрация атмосферных газов стабилизируется.

3.2.2. Парниковые газы и аэрозоли

Как уже отмечалось, наиболее существенное влияние на потепление климата оказывают парниковые газы и аэрозоли (водяной пар, диоксид углерода, озон, метан, закись азота, галоидуглероды и др.).

Парниковые газы (ПГ) сдерживают энергетические потоки, поглощая инфракрасное излучение, испускаемое Землей. Они действуют, как одеяло, сохраняя на земной поверхности температуру примерно на 30°С выше той, которая могла бы быть, если атмосфера состояла бы только из кислорода и азота. Следовые газы, которые являются причиной естественного парникового эффекта, составляют менее 1% атмосферы. Их уровень определяется балансом между «источниками» и «стоками». Источники представляют собой процессы, которые приводят к возникновению парниковых газов. Стоки – это процессы, в ходе которых происходит распад и поглощение этих газов. За исключением промышленных газов, таких, как ХФУ и ГФУ, парниковые газы появились в атмосфере Земли естественным образом миллионы лет назад. Тем не менее человек влияет на уровень парниковых газов, создавая новые источники или же воздействуя на механизмы функционирования естественных стоков.

Основным фактором, влияющим на естественный парниковый эффект, является водяной пар. Его наличие в атмосфере не зависит непосредственно от антропогенной деятельности. Тем не менее вследствие значительной «положительной обратной связи» водяные пары занимают важное место в контексте изменения климата. Более теплый воздух может содержать больше влаги, вследствие чего небольшое глобальное потепление приведет, по прогнозам, разработанным на основе моделирования, к глобальному повышению уровня водяного пара, который в дальнейшем внесет свой вклад в усиление парникового эффекта. Так как моделирование климатических процессов с учетом облачного покрова и осадков представляется весьма сложным, точные масштабы этой важнейшей ответной реакции остаются неопределенными.

В настоящее время вклад диоксида углерода в «усиленный парниковый эффект» составляет более 60%. Этот газ появился в атмосфере естественным образом, однако сжигание угля, нефти и природного газа приводит к высвобождению с беспрецедентной скоростью заключенного в этих «ископаемых видах топлива» углерода. Таким же образом во время вырубки леса происходит выделение углерода, содержащегося в деревьях. Нынешний объем ежегодных выбросов составляет более 23 млн метрических тонн диоксида углерода, или почти 1% от общей массы диоксида углерода в атмосфере.

Диоксид углерода, обусловленный антропогенной деятельностью, включается в естественный углеродный цикл. Ежегодно между атмосферой, океанами и растительностью Земли происходит естественный круговорот многих миллионов тонн углерода. Обмен в этой массивной и сложной природной системе точно сбалансирован. На протяжении 10000 лет, предшествовавших промышленной эпохе, уровень диоксида углерода изменился менее чем на 10%. Однако за последние 200 лет, начиная с 1800 г., его уровень поднялся более чем на 30%. Даже с учетом того, что половина выбросов диоксида углерода, обусловленных антропогенной деятельностью, поглощается океанами и растительностью, атмосферные уровни продолжают расти более чем на 10% за каждые двадцать лет.

Аэрозоли представляют собой второе по степени важности антропогенное воздействие на климат. Эти облака, состоящие из микроскопических частичек, не являются парниковыми газами. Помимо различных природных источников, они возникают под воздействием сернистого газа, выбрасываемого, как правило, электростанциями, а также с дымом лесных пожаров и в результате сжигания отходов сельскохозяйственного производства. Аэрозоли сохраняются в воздухе всего лишь несколько дней, но они выбрасываются в таких больших количествах, что оказывают значительное воздействие на климат.

В результате отражения солнечного света обратно в космос и воздействия на облака большинство аэрозолей способствует локальному охлаждению климата. Частицы аэрозолей могут непосредственно задерживать солнечный свет и служить также своего рода первоисточником, способствующим формированию облаков, которые зачастую также обладают охлаждающим эффектом. В промышленных районах охлаждение, вызванное аэрозолями, может даже нейтрализовать практически все тепловые воздействия, обусловленные на сегодняшний день повышением уровня парниковых газов.

С начала индустриальной эпохи уровень метана уже возрос в два с половиной раза. Основным «новым» источником мощных выбросов парниковых газов является сельское хозяйство, в особенности поливные рисовые поля, и увеличивающееся поголовье скота. Выбросы из отвалов горных пород и утечки, возникающие при разработке угольных месторождений и добыче природного газа, также вносят свой вклад в это повышение. Метан удаляется из атмосферы посредством химических реакций, которые очень сложно моделировать и предсказывать.

На сегодняшний день вклад прошлых выбросов метана в «усиленный парниковый эффект» составляет 20%. Быстрое повышение уровня метана началось позже, чем повышение уровня диоксида углерода, однако его вклад в общий объем выбросов быстро набирает темпы. Тем не менее среднее время сохранения метана в атмосфере составляет всего лишь 12 лет, в то время как диоксид углерода обладает намного большей стойкостью.

Оставшиеся 20% «усиленного парникового эффекта» приходятся на закись азота, некоторые промышленные газы и озон. Уровень закиси азота повысился на 16%, главным образом за счет более интенсивных форм ведения сельского хозяйства. В то время как уровень хлорфторуглеродов (ХФУ) стабилизировался за счет мер по сокращению выбросов на основании Монреальского протокола в целях охраны озонового слоя стратосферы, уровни долгоживущих газов, таких, как ГФУ и ПФУ, и гексафторида серы, продолжают увеличиваться. В стратосфере уровень озона снижается, тем не менее в некоторых регионах он продолжает повышаться в нижних слоях атмосферы в результате загрязнения воздуха.

Выбросы парниковых газов, обусловленные антропогенной деятельностью, уже нарушили глобальный тепловой баланс приблизительно на 2,5 Ватта на квадратный метр. Это составляет примерно один процент от результирующего поступления солнечной энергии, которая определяет состояние климатической системы. Возможно, что «один процент» звучит недостаточно серьезно, однако сопоста-

вив его с масштабами всей земной поверхности, мы получим общее количество энергии, высвобождаемое при сгорании 1,8 млн т нефти в 1 мин., что равно нынешнему коммерческому потреблению энергии во всем мире, умноженному на 100. С некоторой иронией воспринимается тот факт, что общее количество энергии, используемой на сегодняшний день человеком, ничтожно мало по сравнению с тем воздействием, которое оказывают на естественные энергетические потоки климатической системы парниковые газы, являющиеся всего лишь побочным продуктом этого потребления энергии.

3.2.3. Адаптация к изменению климата

Россия – северная страна. Около 80% ее территории характеризуется среднегодовыми температурами воздуха ниже 0°С. Почти 70% территории имеют спорадическую, и около 47% – постоянную вечную мерзлоту. Вместе с тем большая часть населения проживает на территории со среднегодовой температурой выше 0°С. Поэтому любое, даже относительно небольшое потепление климата, может весьма существенно (как положительно, так и отрицательно) сказаться на условиях жизни населения нашей страны и иметь огромные экологические и социально-экономические последствия.

Совершенно очевидно, что людям и различным экосистемам придется приспосабливаться к будущим климатическим режимам, выступающим в роли главного системообразующего фактора. Прошлые и нынешние выбросы парниковых газов уже в какой-то мере предопределили некоторые климатические изменения на Земле в XXI в. Адаптация к подобным воздействиям потребует глубокого понимания социально-экономических и природных систем, их чувствительности к изменению климата и свойственной им способности к адаптации.

Для стабилизации атмосферных концентраций парниковых газов потребуется приложить огромные усилия. В том случае, если стратегии, направленные на снижение уровня выбросов в порядке решения проблемы изменения климата, не будут реализованы, атмосферные концентрации диоксида углерода повысятся, по прогнозам, с сегодняшних 367 млн$^{-1}$ до 490-1260 млн$^{-1}$ к 2100 г. Это будет означать, что с 1750 г. концентрация этого газа повысится на 75-350%. Для стабилизации концентрации, например, на уровне 450 млн$^{-1}$, необходимо в течение последующих нескольких десятилетий сократить глобальные выбросы, как минимум, до уровней 1990 г. С учетом развития глобальной экономики и роста численности населения необходимо будет значительно повысить уровень энергоэффективности и произвести коренные изменения в других экономических отраслях.

Международное сообщество пытается решить эту проблему посредством реализации Конвенции об изменении климата. Принятая в 1992 г. представителями более 185 государств-членов, эта Конвенция имеет целью стабилизировать атмосферные концентрации парниковых газов на безопасном уровне. Она связывает все страны обязательствами по сокращению своих выбросов, сбору соответствующей информации, разработке стратегий адаптации к изменению климата и сотрудничеству в области исследований и технологий. Она также обязывает развитые страны принять меры по возвращению к тем уровням выбросов, которые у них были в 1990 г.

Киотский протокол обязывает правительства принять даже более действенные меры. В 1997 г. Стороны пришли к единодушному мнению о том, что развитые страны должны взять на себя обязательства по сокращению в течение периода 2008-2012 гг. общего объема своих выбросов, включающих в себя шесть парниковых газов, как минимум, на 5% по сравнению с уровнями 1990 г. Протоколом также учрежден режим торговли выбросами и «механизм чистого развития». Тем не менее Протокол на сегодняшний день не ратифицирован отдельными странами и поэтому не вступил в силу.

Однако даже немедленное и резкое прекращение выбросов парниковых газов не остановит полностью воздействий, вызванных изменением климата. Климатическая система реагирует на изменение уровня концентрации парниковых газов с запаздыванием, что отчасти вызвано тепловой инерцией океанов. Прошлые и нынешние выбросы уже предопределили, как минимум, некоторые климатические изменения на Земле в XXI в. Природные экосистемы и человеческое общество почувствуют на себе все масштабы и темпы этих изменений. Поэтому, хотя борьба с выбросами имеет исключительно важное значение, ее все же необходимо дополнять работой по адаптации, направленной на снижение до минимума наносимого ущерба.

Наиболее уязвимыми экологическими и социально-экономическими системами являются те системы, которые отличаются наибольшей чувствительностью к изменению климата и наименьшей способностью к адаптации. Чувствительность представляет собой степень ответной реакции системы на заданное изменение климата. Она, например, определяет масштабы изменения состава, структуры и работы экосистемы в ответ на заданное повышение температуры. Адаптируемость представляет собой степень приспосабливаемости системы к произошедшему или ожидаемому изменению условий. Уязвимость предопределяет масштабы вреда или ущерба, который может быть причинен в результате изменения климата. Она зависит не только от чувствительности системы, но и от ее способности к адаптации.

Экосистемы, которые уже находятся в состоянии стресса, особенно уязвимы. Многие экосистемы чувствительны к методам ведения хозяйства и росту спроса на ресурсы. Например, человеческая деятельность может привести к ограничению способности лесных экосистем к естественной адаптации к изменению климата. Дробление экосистем также осложнит попытки людей содействовать процессу адаптации, в частности, путем создания миграционных коридоров.

Социальные и экономические системы, как правило, более уязвимы в развивающихся странах с более слабой экономикой и организационной структурой. Кроме того, люди, которые живут в засушливых или полузасушливых землях или же на небольших островах, подвергаются особой опасности. Большая плотность населения во многих частях света привела к повышению чувствительности некоторых районов к таким опасностям, как ураганы, наводнения и засухи.

Адаптация к климатическим изменениям может быть спонтанной или спланированной. Отдельные люди, коммерческие структуры, правительства и сама природа зачастую будут адаптироваться к воздействиям изменения климата без посторонней помощи. Тем не менее во многих случаях людям придется планировать то, как свести к минимуму издержки, связанные с отрицательными воздействиями, и то, как увеличить выгоды, обусловленные положительными воздействиями. Спланированная адаптация может быть начата заблаговременно, в процессе или после проявления реальных последствий.

В настоящее время существует шесть основных стратегий адаптации к изменению климата. Можно принять заблаговременные меры с тем, чтобы предотвратить ущерб: например, построив дамбы, которые сдержат наводнение при повышении уровня моря, или восстановив лесные массивы на размытых склонах холмов. Можно также сократить ущерб до приемлемого уровня, в частности, изменив состав сельскохозяйственных культур, чтобы обеспечить гарантированный минимальный урожай даже в самых плохих условиях. Бремя ущерба, которое придется нести тем, кто непосредственно подвергнется воздействию изменения климата, можно облегчить путем распределения или разделения ущерба, возможно, посредством оказания помощи пострадавшим от бедствия по линии государства. Общины также могут изменить структуру потребления или род своей деятельности, которая может в дальнейшем оказаться нежизнеспособной, или же сменить место, где осуществляется эта деятельность, например, построив гидроэлектростанцию там, где больше водных ресурсов, или перенести сельскохозяйственную деятельность с крутых горных склонов.

Успешные стратегии следует разрабатывать на основе идей и достижений в области права, финансов, экономики, технологии, общественного образования, а также путем обучения и исследований. Технический прогресс зачастую открывает новые возможности для управляемых систем – таких, как сельское хозяйство и водоснабжение. Тем не менее в настоящее время многие регионы мира имеют ограниченный доступ к новым технологиям и информации. Передача технологии является необходимым компонентом таких стратегий, так же, как и наличие финансовых ресурсов. Культурная, образовательная, административная, институциональная, правовая и нормативная практика также имеет важное значение для эффективной адаптации как на национальном, так и на международном уровне. Например, умение включить проблемы, обусловленные изменением климата, в планы развития может содействовать созданию такого положения, при котором новые инвестиции в инфраструктуру будут отражать условия, которые могут сложиться в будущем.

Многие адаптационные стратегии не лишены здравого смысла даже том случае, если климат не изменится. Нынешняя изменчивость климата, в частности, такие экстремальные климатические явления, как засухи и наводнения, уже оказывает огромное разрушительное воздействие. Более активная работа по адаптации к этим явлениям может помочь сократить ущерб в краткосрочной перспективе, независимо от каких бы то ни было более долгосрочных изменений климата. В большинстве случаев многие стратегии, которые содействуют адаптации: например, деятельность по совершенствованию системы управления природными ресурсами или улучшению социальных условий, – также очень важны для поддержания устойчивого развития. И все же совершенно очевидно: как бы мы ни объединяли свои усилия, адаптация потребует вложения реальных средств и не позволит предотвратить весь ожидаемый ущерб.

Разработка адаптационных стратегий осложняется факторами неопределенности. Точно определить вероятные будущие воздействия на какую-либо отдельную систему в каком-либо отдельном месте невозможно. Это объясняется тем, что прогнозы изменения климата на региональном уровне достаточно неопределенны, нынешнее понимание природных и социально-экономических процессов зачастую ограничено, а большинство систем подвергается множеству различных взаимодействующих стрессов. За последние годы объем знаний значительно увеличился, однако для того, чтобы лучше понять потенциальные воздействия и стратегии, которые потребуются для адаптации к этим изменениям, необходимо будет и впредь проводить соответствующие исследования и наблюдения.

3.2.4. Сельское хозяйство и продовольственная безопасность

В течение ближайших десятилетий мировое сельское хозяйство столкнется с целым рядом проблем. Деградация почвенных и водных ресурсов значительно затруднит обеспечение продовольственной безопасности населения планеты, численность которого будет неуклонно расти. Эти условия могут ухудшиться из-за климата. Если глобальное потепление менее чем на 2,5°С, возможно, и не скажется на общем объеме производства продовольственных товаров, то повышение температуры более чем на 2,5°С может привести к сокращению их наличия и вызвать существенное повышение цен.

Для некоторых сельскохозяйственных регионов изменение климата будет представлять реальную опасность, в то время как для других оно окажется полезным. Его воздействие на урожайность и производительность будет варьироваться в широких пределах. Дополнительный тепловой стресс, изменение характера муссонов и более сухая почва могут привести в тропиках и субтропиках, где зерновые культуры уже практически исчерпали свой резерв тепловой устойчивости, к сокращению объемов урожая чуть ли ни на одну треть. Ожидается, что центральные континентальные районы, такие как «зерновой» пояс США, обширные районы в средних широтах Азии, территория Африки, расположенная к югу от Сахары, и часть Австралии окажутся в более засушливых и жарких климатических условиях. Между тем более продолжительные сезоны, способствующие росту растений, и повышенное количество осадков могут привести к повышению урожайности во многих регионах с умеренным климатом. Данные, полученные на основе измерений, показывают, что благоприятный для роста сельскохозяйственных культур сезон уже увеличился в Соединенном Королевстве, Скандинавии, Европе и Северной Америке.

Более высокие температуры повлияют на структуры производства. Меньшее количество заморозков и холодных периодов может благотворно воздействовать на рост и развитие растений, однако некоторые культуры могут пострадать в результате повышения температуры, в особенности если это будет сочетаться с нехваткой влаги. Некоторые сорняки могут распространиться в районы, расположенные в более высоких широтах. Существует также ряд данных, свидетельствующих о том, что распространение болезней растений и насекомых в сторону полюсов приведет к увеличению опасности снижения урожайности сельскохозяйственных культур.

Изменение структуры выпадения осадков повлияет на почвенную влагу. Климатические модели, построенные на допущении о глобальном потеплении на 1,4-5,8°С, которое произойдет в последующие

100 лет, позволяют предсказать, что количество испарений и осадков возрастет, так же как, и частота выпадения ливней, хотя в некоторых регионах климат, вероятно, станет более влажным, в других регионах результатом более интенсивного гидрологического цикла станут потеря почвенной влаги и ускоренная эрозия. В ряде районов, которые уже подвержены засухам, возможно, наступят еще более продолжительные и суровые периоды засушливой погоды. Согласно прогнозам, составленным на основе моделей, ожидаются определенные сезонные сдвиги в структуре выпадения осадков: влажность почвы снизится в некоторых континентальных районах в средних широтах в течение лета, в то время как количество дождей и осадков в зимний период в высоких широтах, вероятно, увеличится.

Большее количество диоксида углерода в атмосфере может привести к повышению урожайности. В принципе более высокий уровень CO2 должен стимулировать фотосинтез некоторых растений. Это особенно справедливо в случае так называемых растений типа С-3, так как повышенные концентрации диоксида углерода, как правило, сдерживают их процесс «фотодыхания». Растения типа С-3 составляют большую часть всех видов растений на Земле, особенно в более прохладных и влажных ареалах, и включают в себя большинство сельскохозяйственных культур, таких как пшеница, рис, ячмень, маниока и картофель.

Исследования, основанные на 50% повышении нынешних концентраций CO_2, подтвердили, что «CO_2 как удобрение» при оптимальных условиях позволяет повысить среднюю урожайность сельскохозяйственных культур типа С-3 на 15%. Растения типа С-4 также будут более эффективно использовать воду, однако влияние на урожайность в условиях дефицита воды будет меньшим. Растения типа С-4 включают в себя такие тропические культуры, как маис, сахарный тростник, сорго и просо, которые очень важны в контексте продовольственной безопасности в развивающихся странах, а также кормовые и фуражные растения. Это позитивное воздействие, тем не менее, может снизиться вследствие сопутствующих изменений температуры, выпадения осадков, сельскохозяйственных вредителей и наличия питательных веществ.

Продуктивность пастбищных угодий также может снизиться. Например, разведение крупного рогатого скота будет стоить дороже, если сбои в работе сельского хозяйства приведут к повышению цен на зерно. В общем и целом весьма вероятно, что системы интенсивного животноводства более легко приспособятся к изменению климата, нежели системы растениеводства. Однако это, вероятно, не относится к системе выпасного скотоводства, в случае которого скотоводы пере-

нимают новые методы и технологии, как правило, более медленно, и поголовье скота больше зависит от плодородности и качества пастбищных угодий, которые могут деградировать.

Глобальное потепление не приведет к изменению глобального объема продукции морского рыболовного промысла. Основное воздействие можно будет ощутить на национальном и местном уровне по мере того, как совокупность различных биологических видов будет изменяться, а люди в ответ на эти изменения поменяют места рыбной ловли. Это возможное воздействие на местном уровне может представлять собой угрозу для продовольственной безопасности, которая в значительной мере зависит от морепродуктов. В целом некоторые положительные воздействия изменения климата будут, вероятно, включать в себя увеличение продолжительности сезона, благоприятного для роста рыбы, снижение уровня естественной смертности в зимний период и более быстрые темпы роста в более высоких широтах. Негативные воздействия будут включать в себя нарушение установившихся репродуктивных моделей, миграционных маршрутов и взаимосвязей экосистем.

Риски, связанные с продовольственной безопасностью, в первую очередь проявятся на местном и национальном уровне. Исследования подсказывают, что при условии умеренного изменения климата (потепление менее чем на 2°С) всемирные объемы сельскохозяйственной продукции в течение последующих 100 лет будут удерживаться на предполагаемом базовом уровне. Тем не менее региональные воздействия будут изменяться в широком диапазоне, причем некоторые страны, возможно, столкнутся с сокращением объемов производства даже в том случае, если они примут меры по адаптации. Этот вывод сделан с учетом благотворного воздействия «CO_2 как удобрения», но без учета других возможных воздействий изменения климата, включая изменения в популяциях сельскохозяйственных вредителей и почвы.

Наиболее уязвимые группы населения – безземельные, неимущие и оторванные от общества группы людей. Плохие условия торговли, слабая инфраструктура, отсутствие доступа к технологии и информации, а также вооруженные конфликты ограничат возможности этих групп населения справиться с последствиями изменения климата для сельского хозяйства. Наибольшей опасности будут подвергаться многие из беднейших районов мира, зависящих от изолированных сельскохозяйственных систем в засушливых и полузасушливых районах. Большое число людей, подверженных этому особому риску, проживают в странах Африки, расположенных к югу от Сахары, Южной, Восточной и Юго-Восточной Азии, тропических зонах Латинской Америки и некоторых островных странах Тихоокеанского бассейна.

Эффективные стратегии могут содействовать повышению продовольственной безопасности. Негативное воздействие изменения климата можно ограничить посредством изменения системы растениеводства и сортов сельскохозяйственных растений, совершенствования системы водного хозяйства и орошения, адаптации графиков сева и посадки и практики обработки почвы, а также улучшения системы управления водосборными бассейнами и планирования землепользования. В дополнение к решению проблемы физиологической ответной реакции растений и животных стратегии могут быть также нацелены на совершенствование способов адаптации системы производства и распределения к колебаниям объемов урожая.

3.2.5. Агроэкологические аспекты использования агроландшафтов с учетом современных климатических рисков

Климат является исходным системообразующим фактором, определяя разнообразие жизненных форм, интенсивность и направленность биогеохимических процессов, устойчивость природных и природно-антропогенных экосистем, в том числе и сельскохозяйственного назначения. Состояние и продуктивность агроландшафтов, их безопасное функционирование, многие технологические процессы в агросфере напрямую зависят от сочетания погодно-климатических условий и их изменений.

По результатам 130-летних непрерывных инструментальных наблюдений метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона РГАУ-МСХА можно с уверенностью констатировать, что текущие изменения в температурном режиме и режиме осадков уже привели к важным для сельского хозяйства последствиям, а именно:

- увеличилась продолжительность вегетационного периода;
- значительно выросли суммы активных температур;
- существенно повысилась экстремальность климата;
- наблюдается тенденция роста засушливости периодов вегетации сельскохозяйственных культур и его подпериодов;
- стали мягкими зимы с большим числом интенсивных оттепелей, что является важным фактором, определяющим условия перезимовки растений и опасность развития почвенно-деградационных процессов.

На рисунке 3.5 показана общая схема влияния изменения климата на сельскохозяйственную экономику (Иванов, 2004). Несомненно, что глобальное потепление, независимо от причин, его вызывающих, окажет значительное влияние на агросферу. Это влияние будет определяться существенными изменениями в агротехнологиях, свойствах и режимах почв, устойчивости и потенциале продуктивности агроэкосистем, а в итоге – эффективности всего сельскохозяйственного производства.

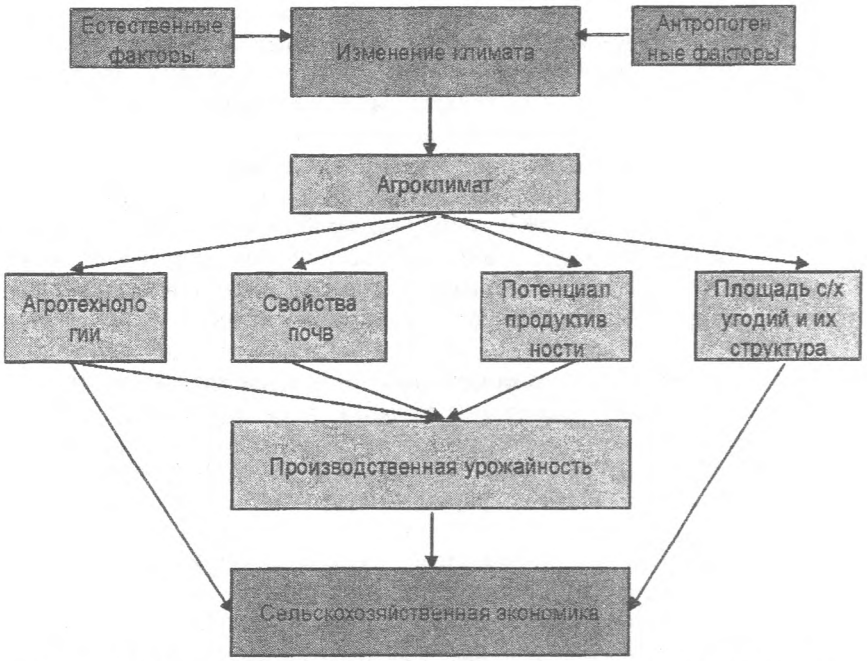


Рис. 3.5. **Общая схема влияния изменения климата на земледелие**

Для сельского хозяйства перечень социально-экономического ущерба, вызываемого текущими и ожидаемыми изменениями климата, представляется следующими показателями:

- потери плодородия почв за счет эрозии и дефляции;
- уплотнение, минеральное голодание, засоление и загрязнение почв;
- перестройка почвенной биоты, снижение продуктивности земель;
- рост числа засушливых явлений (засух, суховеев);
- опустынивание и снижение биологической продуктивности в аридном поясе;
- увеличение паводков и наводнений в регионах с избыточным увлажнением;
- изменение состава возбудителей болезней, фитофагов и сорняков, а также их активное распространение и миграция;
- снижение продуктивности и повышение заболеваемости домашних животных.

Совершенно очевидно, что перечисленные выше климатообусловленные риски требуют разработки новой концепции адаптации сельского хозяйства к текущим и ожидаемым изменениям климата,

с привлечением всех заинтересованных сторон, включая правительство, бизнес, общественность, и, что немаловажно, активной позиции каждого в решении этих непростых вопросов.

Важным свидетельством смены в последние годы глобальной экологической обстановки и резкого усиления роли климата в землепользовании служит характер и динамика эрозии почв. Эрозия почв является особой категорией природных процессов, приводящих к неблагоприятным последствиям для мирового земледелия и окружающей среды. Это связано с ее широким распространением, необратимостью изменений почвенного покрова, масштабными негативными экологическими и социально-экономическими последствиями.

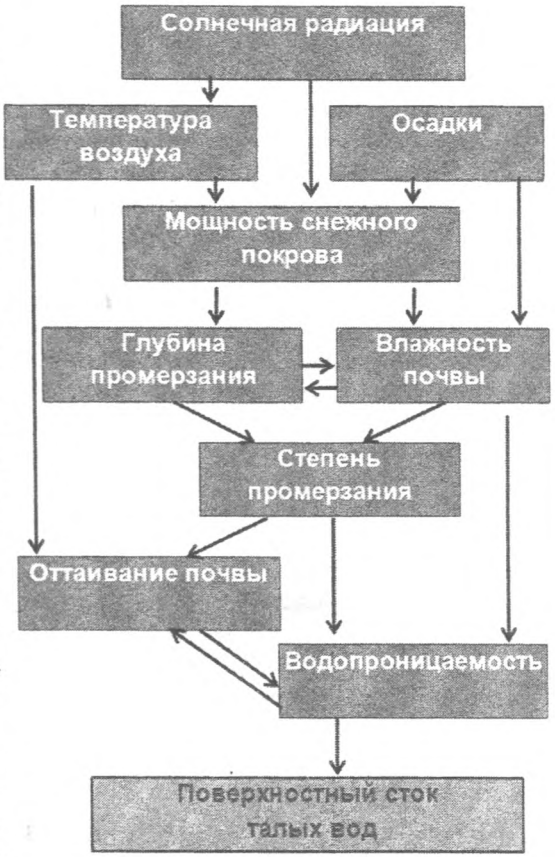


Рис. 3.6. **Взаимосвязь факторов стока талых вод**

Проведенные сотрудниками кафедры земледелия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева длительные полевые наблюдения за экологическими изменениями эрозионно-опасных агроландшафтов в условиях Центрального Нечерноземья свидетельствуют о существенном нарушении устойчивости их функционирования в последние годы (Белолюбцев, Чебаненко, Кочетов, 1997; Belolyubtsev, 2009). Такие экосистемы, находящиеся в состоянии постоянного стресса, представляют особый интерес для изучения. Они достаточно отзывчивы для неблагоприятных природных воздействий и экологически уязвимы, что позволяет получить наиболее полное представление о влиянии и последствиях современных трансформаций климата.

Внешние факторы (уровень солнечной радиации, температура воздуха, осадки, мощность снежного покрова) главным образом определяют условия и интенсивность эрозионных процессов при снеготаянии. Количество осадков, характер накопления и распределения снега, температурный режим, промерзание и оттаивание почвы, интенсивность таяния снега в весенний период в конечном итоге определяют количественные и качественные характеристики поверхностного стока талых вод, а следовательно, и динамику деградационных процессов в зависимости от их изменений (рис. 3.6).

Процесс весеннего снеготаяния и разрушения устойчивого снежного покрова в Центральном Нечерноземье, как правило, начинается в конце марта-начале апреля. В условиях потепления климата, в зависимости от развития глобальных циркуляционных процессов, даты начала и продолжительности снеготаяния могут подвергаться значительным колебаниям. Например, в условиях Московской области самое раннее разрушение снежного покрова на склонах в основном приходится на 1990-е гг. Так, в 1990 г. процессы активного снеготаяния отмечены 23 февраля, в 1991 г. – 26 февраля, в 1995 и 2008 гг. – 27 февраля, в 1998 г. – 28 февраля, что раньше обычных сроков более чем на месяц (рис. 3.7).

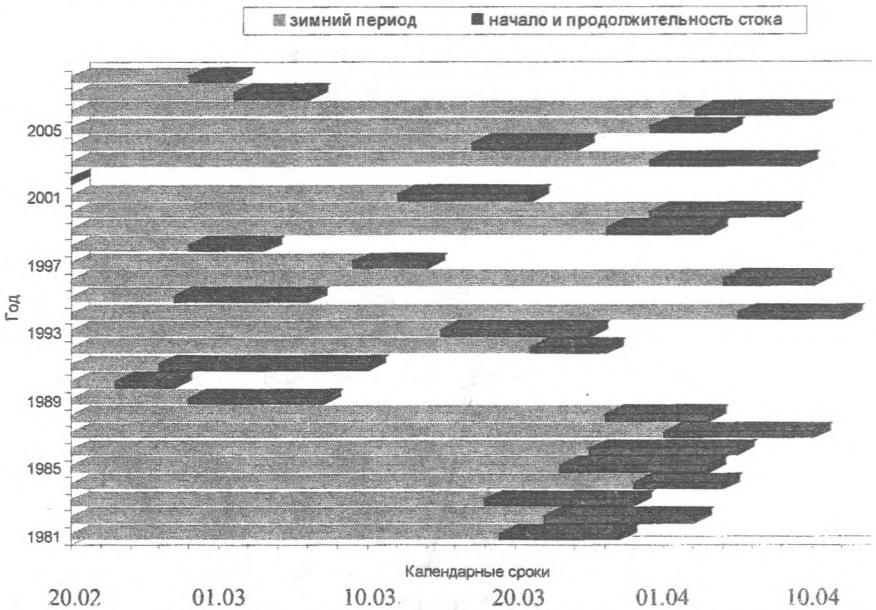


Рис. 3.7. **Начало и продолжительность стока талых вод**

Устойчивое повышение приземных температур воздуха холодного периода года приводит к существенному изменению условий формирования, темпов и направленности процессов эрозии почв. Полученные экспериментальные данные указывают на общее ухудшение в последние годы экологической обстановки на склоновых землях. Отмечая и признавая положительную динамику уменьшения в этот период величины стока талых вод, что подтверждают исследования и других авторов, тем не менее пока нет достаточных оснований для выводов о снижении в целом экологической нагрузки на эрозионно-опасные территории.

Современные погодно-климатические условия оказывают существенное негативное воздействие на физико-механические свойства эродированной почвы и ее структурное состояние. В условиях теплых зим из-за переувлажнения пахотного слоя в результате частых оттепелей и высокой степени цементации льдом нарушаются процессы зимнего разуплотнения. В результате почва не достигает равновесного состояния. Следствием этого является значительная усадка грунта после оттаивания весной и общее повышение плотности почвы. Отрицательное влияние на ее агрофизическое состояние оказывает и нарастание засушливости периода вегетации. Иссушение смытой почвы резко повышает плотность ее сложения.

Слабое или полное отсутствие промораживания почвы в условиях теплых неустойчивых зим не способствует и эффективному образованию структуры. Напротив, происходит ее активное физико-химическое разрушение, особенно верхнего слоя. Уменьшение агрономически ценных агрегатов происходит в основном за счет их укрупнения до глыбистых размеров.

Следовательно, можно утверждать, что изменения климата приводят к необратимым экологическим изменениям важнейших свойств, функций и режимов эродированных почв. Они способствуют переорганизации пахотного горизонта (слой 0-40 см) и ухудшению его агрофизической основы: повышению плотности сложения и твердости почвы, снижению количества агрономически ценной макроструктуры и ослаблению водопрочности почвенных агрегатов, а также общей тенденции на обесструктуривание (Белолюбцев, Чебаненко, Кочетов, 1997; Belolyubtsev, 2009). Это ставит перед современным земледелием весьма серьезную проблему, которая, как показывают исследования, с каждым годом становится все острее.

Нарастающая экологическая разбалансированность окружающей среды обуславливает острую необходимость поиска, разработки и применения различных мероприятий по адаптации агросферы к разнообразным природным условиям. Реализация стратегии адаптации

сельского хозяйства и устойчивого производства продукции растениеводства с учетом текущих и ожидаемых климатических рисков предполагает:

- повышение видового биоразнообразия эгроэкосистем, генетической неоднородности сортов и гибридов, максимально адаптированных к почвенно-климатическим и погодным условиям местности;
- эффективное использование имеющегося адаптивного потенциала с.-х. растений и обеспечение его соответствия условиям среды;
- сохранение и восстановление биоразнообразия агроландшафтов;
- совершенствование агротехнологий через систему севооборотов, приемов обработки почвы, удобрений и средств защиты растений;
- изменение структуры посевных площадей;
- широкое внедрение влагосберегающих технологий и комплекса мелиоративных мероприятий;
- учет микро- и фитоклиматических особенностей при построении севооборотов и планировании агротехнических приемов;
- усиление роли агрометеорологических прогнозов, повышение их точности и надежности.

Предложенные меры для решения проблем, связанных с глобальными климатическими изменениями, очевидны и справедливы. Необходимо пересмотреть существующие подходы к обеспечению продовольственной безопасности за счет освоения более совершенных агротехнологий и адаптивно-ландшафтных систем земледелия, способных максимально полно обеспечить устойчивость функционирования отрасли при любом развитии ситуации. Например, важным приемом по повышению экологической безопасности земель, особенно с низким естественным плодородием и высокой природной и антропогенной нагрузкой, может стать применение мульчирующей обработки.

Мульчирование почвы измельченной соломой и другими пожнивными остатками зерновых культур позволяет решить несколько конкретных задач, а именно:

- повысить физическую устойчивость верхнего слоя почвы к эродирующему воздействию стока талых вод при неблагоприятных погодно-климатических изменениях холодного сезона;
- оптимизировать свойства, функции и экологические режимы почв;
- рационально использовать послеуборочные остатки зерновых культур и снизить производственные затраты.

Почвозащитная эффективность мульчирования, как и его влияние на внутрипочвенные процессы, во многом зависит от способов размещения растительных остатков в пахотном слое. Перемешивание измельченной соломы с почвой способствует прежде всего дополни-

тельному, а зачастую избыточному насыщению верхних ее горизонтов влагой. Солома придает почве рыхлое мелкопористое строение с большим количеством и высокой аккумулирующей емкостью небольших пустот и промежутков, которые эффективно удерживают воду длительное время.

Растительные остатки при горизонтальном и/или неглубоком вертикальном размещении (в слое 0-10 см) способствуют дополнительному, особенно в начале зимы, накоплению снежной массы, запасов воды в снеге, изменению его свойств и снижению глубины промерзания почвы. Вместе с тем избыточное увлажнение верхнего горизонта при мульчировании повышает степень ее промерзания, способствует образованию ледяной корки, ухудшает водопроницаемость, что в итоге может снизить стокорегулирующую эффективность противоэрозионных приемов обработки и самой почвы.

Солома выполняет важную защитную функцию, препятствуя быстрому оттаиванию и способствуя дополнительной цементации льдом поверхности почвы. Это особенно важно, когда ее структура полностью разрушена в результате неблагоприятных условий холодного периода года. Помимо этого, стерня и солома распыляют сток, не позволяя ему концентрироваться. Агрессивность снеговой воды заметно снижается даже в том случае, если она стекает по талой или уже оттаявшей поверхности почвы.

Применение соломы и растительных остатков в виде мульчи, помимо почвоводоохранного значения, имеет и высокий экономический эффект, а также влияет на питательный режим почв. Дополнительное поступление в почву растительных и пожнивных остатков зерновых культур в количестве 5...6 т/га способствует не только стабилизации, но и повышению плодородия эродированных почв. Отмечаются устойчивые во времени положительные его изменения как в пахотном, так и подпахотном горизонтах.

Минимализация обработки эродированных дерново-подзолистых почв в сочетании с периодическим рыхлением корнеобитаемого слоя и эффективным управлением растительными остатками приводит почву в равновесное состояние с окружающей средой, приближает культурный почвообразовательный процесс к естественному, заметно более устойчивому к неблагоприятным изменениям внешней среды и климата. Исследования с помощью современных методов физико-химического анализа трансформационных изменений органического вещества на структурном уровне (элементарный и термический анализ, ИК-спектроскопия) показывают неоднозначную направленность этих процессов в зависимости от применяемых способов противоэрозионной обработки почвы. Установлено, что поверхностная обработка по сравнению с обычной

вспашкой в наименьшей степени влияет на структуру гумусовых кислот в почве, увеличивает ароматичность структуры гумуса, понижает роль кислотосодержащих элементов, создает условия для накопления циклических соединений в составе гумусовых кислот, обогащенных азотсодержащими компонентами (Аристова, 1998). Кроме того, минимализация обработки и вертикально-горизонтальное мульчирование соломой и пожнивными остатками способствуют значительному увеличению гидрофильности почвы на этом варианте. Вместе с тем следует признать, что приемы минимализации пригодны не для всех почв, и прежде чем их использовать, необходимо тщательное обследование на соответствие различным видам обработки.

Таким образом, применение мульчирующей обработки является важным приемом по предупреждению и минимизации неблагоприятного воздействия изменения климата на агросферу. В современных условиях землепользования применение соломы и других пожнивных остатков способствует снижению вероятности проявления эрозии, сохранению и восстановлению плодородия смытых почв, оптимизации их свойств и режимов, улучшению фитосанитарного состояния, рациональному использованию производственных ресурсов. Вместе с тем мульчирование в условиях теплых неустойчивых зим может увеличить непроизводительные потери воды с поверхностным стоком, что в свою очередь может усилить и экологическую нагрузку на агроландшафты. Это особенно важно учитывать в последние годы при нарастании засушливости климата регионов.

3.3. Микроклимат и его роль в конструировании адаптивных агроценозов и агроэкосистем

Глобальное изменение климата создает для Российской Федерации, с учетом размеров ее территории, географического положения, исключительного разнообразия климатических условий, структуры экономики, новую ситуацию, которая предполагает необходимость заблаговременного формирования всеобъемлющего и взвешенного подхода к проблемам климата и его оценке на основе комплексного научного анализа всех факторов: экологических, экономических и социальных.

Развитие разных отраслей прикладной климатологии настоятельно требует перехода от приемов классической климатологии к характеристикам, уточняющим средние величины в их пространственно-временной изменчивости. Особенно большое значение при этом придается учету тех вариаций климата, которые возникают в призем-

ных слоях воздуха под влиянием подстилающей поверхности и оказывают весьма существенное влияние на разные стороны деятельности человека, на рост, развитие и продуктивность растений и животных. Эти изменения климата в приземных слоях воздуха широко известны как термины «местный климат» и «микроклимат». В литературе под местным климатом и микроклиматом понимаются часто одни и те же явления, и оба эти понятия сливаются в одно вследствие отсутствия четких критериев для их разделения.

Под микроклиматом понимается климат небольшой территории, возникающий под влиянием различий рельефа, растительности, состояния почвы, наличия водоемов, застройки и других особенностей подстилающей поверхности на суше; это климат поля, склона холма, опушки леса, берега озера, осушенного болота, города и т.п., – для изучения которого обычно проводятся специальные наблюдения.

Особенности микроклимата проявляются в верхних слоях почвы и в нижнем, приземном слое воздуха, до высоты несколько метров или десятков метров, часто до высоты 100-150 м. В более высоких слоях воздуха они исчезают под влиянием перемешивания воздуха как по вертикали, так и в горизонтальном направлении. При этом понимании микроклимата к местному климату может быть отнесен ряд явлений, развивающихся под влиянием орографии и смены суши и водной поверхности значительно более крупного масштаба, влияние которых прослеживается в слое до 800-1000 м и более. Возникновение их всегда связано с определенной синоптической ситуацией или с процессами свободной атмосферы. Сюда могут быть отнесены бризы, фены, бора, горно-долинные ветры, зоны орографического усиления осадков и подветренного иссушения, связанные с орографией глубокие инверсии температуры воздуха и тому подобные явления. Это понимание местного климата позволяет подойти к климатическому районированию отдельных административных областей и ограниченных территорий, недостаточно четко разделяющихся по макроклиматическим показателям. Интересные с этой стороны исследования проведены А.П. Слядневым (1965 г.) по Западно-Сибирской низменности, его понимание местного климата близко к сказанному выше.

Разделение микроклимата и местного климата условно. Во многих случаях трудно решить, какой из этих терминов лучше характеризует изучаемое явление. Здесь используется более общий и лучше обоснованный термин «микроклимат», хотя в некоторых разделах ее он трактуется очень широко.

Под фитоклиматом понимаются особенности распределения климатических элементов во всем слое растительного покрова, как в надземной, так и в подземной частях его, например, среди зерновых

культур, в саду, в лесу. Они определяются влиянием самой растительности на микроклимат приземных слоев воздуха и определяются густотой и мощностью растений, сомкнутостью их. Изменения режима климатических элементов среди растений могут варьировать в весьма широких пределах.

Как известно, микроклиматические различия наиболее полно проявляются при ясной тихой погоде и сглаживаются часто до нуля при пасмурной. Изменения метеорологических элементов в приземном слое воздуха днем при инсоляции протекают иначе, чем ночью при выхолаживании. Поэтому микроклиматические изменения днем и ночью обычно имеют разный знак, что приводит к сглаживанию и подчас к полному исчезновению особенностей микроклимата в средних суточных, и особенно средних месячных характеристиках, принятых в климатологии. В то же время из практики, например, растениеводства, хорошо известно, что рост и развитие растений, урожайность их определяются не столько средним состоянием метеорологических элементов, сколько их суточным ходом и часто крайними значениями. Гибель растений от заморозков часто вызывается погодой одной ночи, от низких температур зимой – погодой одного-двух дней, от засухи и суховеев – также погодой нескольких дней.

Во всех этих крайних, но решающих для производства погодных условиях, микроклиматические различия проявляются обычно наиболее четко и полно.

Первоочередной неотложной задачей микроклиматологии является разработка новых характеристик, наиболее полно отражающих изменение метеорологических элементов под влиянием подстилающей поверхности и хорошо реагирующих на все реальные изменения микроклимата. К таким характеристикам могут быть отнесены раздельные показатели по температуре и ветровому режиму для дня и ночи, температура деятельной поверхности, некоторые показатели для крайних значений температуры воздуха (средний месячный минимум, средний из абсолютных годовых минимумов), солнечная радиация и т.д.

Физические законы, вызывающие изменение метеорологических элементов в приземных слоях воздуха и почвы, везде одинаковы. Однако количественные проявления этих законов в разных физико-географических и, в частности, климатических условиях существенно различны. Основной задачей работы является определение количественной величины тех микроклиматических изменений, которые необходимо учитывать при изучении климата конкретных территорий, лежащих между отдельными точками гидрометеорологической сети, в разнообразных условиях подстилающей поверхности.

Для выявления этих поправок используются три основных метода:

1. экспериментальный, путем проведения обширной программы экспедиционных наблюдений в разных частях страны;

2. климатологический, путем выявления особенностей микроклимата по данным гидрометеорологической сети, опубликованным в климатологических справочниках;

3. расчетный, путем расчета некоторых характеристик микроклимата по данным основной сети станций.

Экспедиции проводятся по более или менее общей схеме исследований, включавшей градиентные теплобалансовые, микроклиматические и микроаэрологические наблюдения, позволившие изучить основные физические закономерности возникновения микроклиматических различий над разными подстилающими поверхностями и в разных условиях рельефа. Они же дают материал для определения микроклиматических поправок при разных условиях погоды, показывают возможные границы варьирования этих поправок в конкретных местоположениях в зависимости от типа погоды.

Для определения микроклиматических поправок по многолетним климатологическим данным справочников составляют фоновые карты соответствующих величин, характеризующие их распределение на ровных местах в зависимости от основных физико-географических условий района. С этих карт снимают все станции, данные которых отклоняются от средних, фоновых условий.

Выясняя местоположение станций и группируя их по этому признаку, определяют соответствующие микроклиматические поправки. Весьма существенным является правильная объективная оценка влияния местоположения станции на соответствующий элемент. Описания станций, приведенные в паспортах, в большинстве случаев не позволяют решить, насколько местоположение станции влияет на ее показания.

Л.Г. Васильевой разработана методика определения местоположения станции по анализу отдельных характеристик термического режима ее. Строя графики зависимости между характеристиками температуры, отражающими влияние подстилающей поверхности в различных условиях стратификации атмосферы (днем и ночью), можно получить четкое разделение точек по типам местоположения станций, дающее вполне объективную оценку влияния этого местоположения на термический режим и обосновывающее типизацию станций по этому признаку.

Разработанная методика типизации станций позволяет снимать микроклиматические поправки к средним многолетним данным справочников непосредственно с графиков, что дает возможность контролировать величину их, снятую с фоновых карт. В большинстве случаев оба способа хорошо совпадают.

Основой для микроклиматического картирования, расчета и уточнения поправок являются морфометрические характеристики рельефа. Методика морфометрической оценки рельефа, разработанная геоморфологами, была применена Е.Н. Романовой, Б.В. Семеновой и Т.А. Голубовой для микроклиматологии. Имея гипсометрическую карту, используя морфометрию и систему поправок, можно в принципе уже сейчас составлять микроклиматические карты большой точности для разных частей территории по основным характеристикам микроклимата. Однако это только начало работы, тот путь, по которому мы, очевидно, пойдем дальше при разработке методики картирования. В настоящее время методика морфометрических оценок рельефа очень сложна и трудоемка, готовых карт, пригодных для использования в качестве основы, нет.

Изучение микроклимата выровненных территорий показывает большое влияние механического состава и увлажнения почвы на изменение микроклимата на близких расстояниях.

Разработанная методика картирования температуры почвы, основанная на принципах крупномасштабного микроклиматического картирования, позволила более детально, чем это делалось до сих пор, определить температуру почвы на территориях с различным механическим составом ее.

Дальнейшая разработка этой методики позволит значительно детализировать климатическое районирование для областей и районов, отличающихся пестротой почвы, которая до сих пор в учет почти не принималась.

Одним из наиболее трудных вопросов выявления микроклиматических особенностей холмистого рельефа в дневное время является оценка термических различий склонов разной экспозиции и крутизны. Имеющиеся экспериментальные наблюдения не дают возможности более или менее удовлетворительно ответить на него. Наблюдения по температуре почвы на разных склонах очень разрознены. Температура воздуха определялась в основном на высоте 1,5-2,0 м над уровнем почвы, что при скоростях ветра более 2-3 м/сек и хорошем турбулентном перемешивании приводит к почти полному сглаживанию различия дневной температуры в разных частях холмистого рельефа.

Для разрешения этого вопроса, имеющего очень большое практическое значение для разных отраслей народного хозяйства, были привлечены расчетные величины, полученные З.А. Мищенко методом теплового баланса.

Эти расчеты, произведенные по средним месячным климатологическим данным, показывают, насколько существенными должны быть изменения в наших представлениях о термических ресурсах в разных местоположениях, если учитывать не сглаженный термический ре-

жим по температуре воздуха, а реальную температуру, при которой проходит жизнь растений и животных в приземных слоях воздуха. Для учета этих условий необходима разработка новых комплексных характеристик, в которых должны быть приняты во внимание также условия увлажнения на склонах.

Имеющиеся материалы по количественным характеристикам микроклимата позволяют провести районирование территории страны по основным факторам, определяющим особенности микроклимата.

Области практического использования микроклиматических характеристик очень разнообразны. В первую очередь данные по микроклимату используются в сельскохозяйственном производстве. Размещение сельскохозяйственных культур по территории часто лимитируется микроклиматом, особенно в условиях изрезанного рельефа и различий почв. Под влиянием микроклимата дифференцируются сроки сева и уборки культур в отдельных частях хозяйства, изменяются условия применения химических удобрений и гербицидов.

Учет микроклимата также необходим при проектировании и реконструкции городов и промышленных предприятий и в настоящее время вводится в качестве обязательного этапа работ в период изысканий. Особо большое значение учет микроклимата имеет при строительстве курортов, закладке парков и т.п.

Следует, однако, отметить, что все эти отрасли применения сведений по микроклимату требуют специализированных показателей его, которые пока разработаны с учетом требований в первую очередь сельскохозяйственного производства. В дальнейшем нужна разработка аналогичных показателей для других отраслей хозяйства и уточнения приведенных выше данных по географии особенностей микроклимата в разных частях для детализации климатических исследований и разработки теоретических вопросов микроклимата.

Нельзя забывать, что микроклиматические условия в приземном слое воздуха относительно легко изменяются под влиянием антропогенного фактора. Вполне возможная сейчас мелиорация микроклимата позволяет целенаправленно улучшать его. Отсутствие же учета особенностей климата конкретной территории часто ведет к весьма существенному ущербу, и прежде всего – для сельскохозяйственного производства.

3.3.1. Роль микроклимата в функционировании эрозионно-опасных агроландшафтов

В качестве примера важной роли микроклимата и его особенностей в определении безопасного функционирования агроэкосистем рассмотрим микроклиматические различия характеристик снежного

покрова в условиях сложного рельефа. Для анализа будут использованы научные данные, полученные в результате длительных наблюдений, проведенных в Московской области.

Термическая активность и повторяемость осадкообразующих процессов формируют максимальные осадки за соответствующий календарный период. Для образования устойчивого снежного покрова важное значение имеет выпадение твердых осадков и наличие низких отрицательных температур воздуха. Чем ниже температура, тем меньше нужно осадков, чтобы поддерживать непрерывное снегонакопление.

Повышение приземных температур воздуха как среднегодовых, так и холодной половины года, в последние десятилетия обуславливают аномалии снежности большинства лет. При этом важно отметить, что если в 80-е гг. прослеживается устойчивая связь между температурой воздуха и суммами осадков (r=0,81), то с начала 1990-х гг. эта связь отсутствует (r=0,12). За период с устойчивым снегонакоплением осадки выпадают неравномерно во времени и могут быть неоднородными по составу, нередко в виде дождей. Это определяет физико-механические свойства снежного покрова и его характеристики (высоту, плотность снега и запасы воды в нем).

Неустойчивый термический режим зимних сезонов оказывает заметное влияние на сокращение общих запасов снега и воды в нем. В нашем случае, если средняя высота снежного покрова в период с 1990 г. по отношению к 1980 гг. снизилась лишь на 2 см, то запасы воды в нем сократились на 11 мм, притом что общее количество зимних осадков за этот срок возросло на 25 мм (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Характеристики снежного покрова

Параметр	Средняя из наибольших	Абсолютный max	Абсолютный min
Высота снега, см	36 / 34	49 / 60	17 / 21
Плотность снега, г/см^3	0,36 / 0,35	0,41 / 0,45	0,24 / 0,27
Запасы воды в снеге, мм	100 / 89	140 / 157	71 / 56
Осадки зимнего периода, мм	128 / 153	163 / 215	64 / 64

Примечание. Над чертой – 1980-1990 гг., под чертой – 1990-2005 гг.

Для эффективного решения проблемы защиты почв от эрозии необходимо располагать сведениями не только о горизонтальной изменчивости характеристик снежного покрова, но и данными колебаний их во времени. Неустойчивость количественных характеристик снежных запасов наглядным образом проявляется в максимальных и минимальных его показателях. При этом обращает на себя внимание существенно возросшая в последние годы контрастность параметров снежного покрова. Наиболее очевидные колебания отмечаются по количеству зимних осадков и максимальным запасам воды в снеге.

Проведенный графический анализ научных данных подтверждает изменения по годам этих показателей и общий заметный рост количества осадков с начала 1990-х гг. Кроме того, он показывает существенное снижение максимальных запасов воды в снеге в начале этого периода при отсутствии устойчивой тенденции влагонакопления в целом. Следует отметить достаточно хорошую корреляционную связь ($r = 0{,}69$) между количеством зимних осадков и запасами воды в снежном покрове при потеплении (1991-2005 гг.) и отсутствие такой зависимости ($r = 0{,}12$) в относительно устойчивые зимние периоды (рис. 3.8).

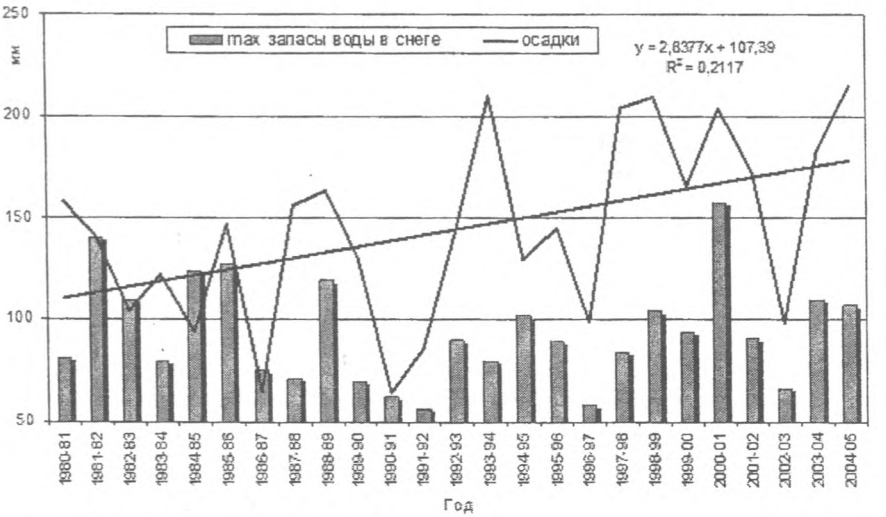


Рис. 3.8. **Тренд количества зимних осадков и максимальных запасов воды в снеге**

Наибольшей неравномерностью в распределении снежного покрова отличаются положительные формы рельефа (склоны) и лесные опушки. В лесном массиве снежный покров залегает всегда равномерно и

не подвержен перемещению и интенсивному стаиванию. В некотором смысле поляна в лесу выступает в роли «естественного площадного осадкомера», где можно получить наглядное представление о влиянии различных элементов ландшафта на процессы снегонакопления.

На основании обработки материалов параллельных снегосъемок получены результаты по пространственной изменчивости характеристик снежного покрова. Анализ показывает, что в условиях открытой местности на склонах южной экспозиции в зависимости от его крутизны высота снежного покрова по отношению к аналогичным показателям снегонакопления в лесном массиве снижается на 10-14 см, или на 23…32%, а запасы воды в снеге – на 17,2 мм, или 16% (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Влияние рельефа местности на характеристики снежного покрова

Элемент ландшафта	Высота снега, см	Запасы воды в снеге, мм
Поляна	44,2	107,8
Склон крутизной 8°	30,3	90,6
Склон крутизной 4°	34,3	90,7

Плотность снега на лесных опушках, защищенных от ветра, в период максимальных его запасов изменяется незначительно и может находиться в пределах 0,237…0,251 г/см^3. Это на 8…20% меньше аналогичных показателей в условиях открытых участков. Существенные различия отмечают и в структурном состоянии снежного покрова.

Таблица 3.4

Максимальные высота снежного покрова, см, и запасы воды в снеге, мм, в зависимости от агротехнических приемов обработки почвы, крутизны и элементов склона, 1999-2005 гг.

Вариант обработки	Элементы склона			Средние по склону	
	Верх	Середина	Низ	Высота снега, см	Запасы воды, мм
Склон крутизной 8°					
Вспашка (контроль)	29,4	31,0	30,9	30,4	94,0
Вспашка + щелевание	29,2	29,8	30,2	29,7	87,2
Плоскорезная + щелевание	29,3	29,8	30,6	29,9	92,4

Окончание табл. 3.4

Плоскорезная + чизелевание	30,3	30,6	30,7	30,5	89,6
Поверхностная + щелевание	30,1	29,8	30,9	30,3	91,0
Поверхностная	30,6	31,3	30,9	30,9	89,3
Склон крутизной 4°					
Вспашка (контроль)	33,4	34,7	36,2	34,8	91,0
Вспашка + щелевание	32,3	34,9	34,0	33,7	88,6
Плоскорезная + щелевание	33,8	36,1	34,6	34,8	93,4
Плоскорезная + чизелевание	33,9	34,7	34,8	34,5	91,2
Поверхностная + щелевание	32,9	34,8	33,7	33,8	88,4
Поверхностная	33,5	34,0	34,4	34,0	91,7

Накопление и распределение снежных запасов в условиях сложного рельефа в основном зависит от температуры воздуха, изменения скорости ветра и турбулентного трения, обусловленного различного рода препятствиями (пожнивными остатками, микрорельефом и др.). Влияние последнего фактора наиболее выражено в начале зимы и определяется состоянием подстилающей поверхности. Особенно четко это проявляется на вариантах с плоскорезной обработкой в сочетании со щелеванием и чизелеванием. По мере накопления снега эти различия сглаживаются и далее уже не зависят от приемов агротехники. Влияние крутизны склона на процессы снегонакопления отмечается в течение всего зимнего периода (табл. 3.4).

Вместе с тем роль рельефа в условиях теплых зим не сказывается на общих запасах воды в снеге. Это обусловлено тем, что инсоляция и присутствие многочисленных интенсивных оттепелей зимой приводит к заметному стаиванию снежной массы и формированию дополнительных запасов влаги в виде ледяной корки разной толщины, нивелируя влияние рельефа. Кроме того, следует признать положительную роль слабых оттепелей в закреплении и более равномерном распределении снега в пределах агроландшафта по его элементам (верх, середина, низ).

В качестве сравнения можно привести данные промежуточной снегосъемки за устойчивый зимний период (2005-2006 гг.). При отсутствии интенсивных оттепелей отмечены заметные различия в показателях максимальной высоты снежного покрова как между склонами, так и по отдельным его элементам (табл. 3.5).

Неравномерное залегание снега на склонах явление отрицательное, так как это основная причина сильного смыва и размыва почвы. Смыв начинается только с момента появления первых проталин. Снежный покров равномерно удерживает в своей массе воду на всем пространстве склона, резко ограничивая скорость ее движения. Поверхность почвы под снегом остается, как правило, в мерзлом состоянии, и смыв в таких условиях невозможен. Следовательно, частые непродолжительные оттепели в конечном итоге оказывают определенное позитивное влияние на интенсивность процессов эрозии в ранневесенний период за счет снижения эродирующей способности стока талых вод.

Таблица 3.5

Максимальные высота снежного покрова, см, и запасы воды в снеге, мм, в зависимости от крутизны склона и его элементов

Элемент ландшафта	Элементы склона			Средние по склону	
	Верх	Середина	Низ	Высота снега, см	Запасы воды, мм
Склон крутизной 8°	21	23	26	23,3	49,2
Склон крутизной 4°	25	29	27	27,0	54,0

Для процессов эрозии важны данные по запасам воды в снеге непосредственно перед его таянием в ранневесенний период. Именно они являются потенциально опасными в формировании стока талых вод и смыва почвы.

Таблица 3.6

Запасы воды в снеге в ранневесенний период, мм

Вариант обработки	Ротация севооборота, гг.					Период, гг.	
	1981-1985	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005	1981-1990	1991-2005
Склон крутизной 8°							
Вспашка (контроль)	94,0	78,0	46,2	71,4	92,4	86,0	70,0
Вспашка + щелевание	91,6	79,2	46,0	72,6	83,8	85,4	67,5
Плоскорезная + щелевание	-	-	47,4	73,4	89,7	-	70,2
Плоскорезная + чизелевание	-	-	47,8	73,8	86,7	-	69,4
Поверхностная + щелевание	-	-	46,4	74,0	87,8	-	69,4
Поверхностная	98,3	76,8	46,2	72,6	85,4	87,5	68,1

Окончание табл. 3.6

Склон крутизной 4°								
Вспашка (контроль)		101,9	84,4	49,6	73,0	86,7	93,2	69,8
Вспашка + щелевание		100,2	83,8	49,8	72,6	85,7	92,0	69,4
Плоскорезная + щелевание		-	-	51,0	73,4	90,4	-	71,6
Плоскорезная + чизелевание		-	-	50,7	73,8	88,5	-	71,2
Поверхностная + щелевание		-	-	50,8	73,0	84,9	-	69,6
Поверхностная		104,3	83,4	50,6	74,0	88,0	93,8	70,9
$НСР_{05}$ фактор	A						2,8	1,2
	B						3,4	2,0

В последние десятилетия отмечаются существенные изменения влагозапасов, накопленных в снеге во времени (табл. 3.6). Эти различия наглядным образом демонстрируют значение фактора устойчивости термического режима зимних периодов на накопление влаги в снеге и отклик в целом снежного покрова на потепление.

Таким образом, современные изменения в процессах атмосферной циркуляции, в сочетании с местными факторами, вносят существенные коррективы в количество и распределение зимних осадков во времени, величину снегозапасов, характер их накопления и распределения по различным элементам ландшафта. С этих позиций, что весьма важно подчеркнуть, снежный покров является одним из наиболее чувствительных индикаторов изменения окружающей среды, являясь связующим звеном между климатическими и гидрологическими процессами. Поэтому оценка изменений характеристик снежного покрова и их микроклиматических различий в условиях сложного рельефа, оказывающих важнейшее влияние на экологическую устойчивость природных, и особенно природно-антропогенных экосистем, требует самого пристального внимания.

Контрольные вопросы

1. Определение понятия «Климат».
2. Дифференциация климата в зависимости от величины территории, местоположения и преобладающих факторов формирования.
3. Чем отличается климат приземного слоя воздуха от мезоклимата?
4. Микроклимат и его особенности.
5. Понятие «Климатическая система». Чем она представлена?
6. В чем заключается доминирующая роль атмосферы как компонента климатической системы?
7. Какие выделяют причины изменения и колебания климата?
8. Современная динамика изменений климата по основным показателям.
9. В чем заключается природа парникового эффекта?
10. Парниковые газы и аэрозоли.
11. В чем суть «Киотского протокола»?
12. Чем определяется уязвимость экосистем и общества по отношению к изменению климата?
13. Какие последствия для продовольственной безопасности будут иметь изменения климата?
14. Назовите возможный социально-экономический ущерб, вызванный текущими и ожидаемыми изменениями климата для экономики страны.
15. Какие существуют способы адаптации к изменению климата отраслей экономики?
16. Что предполагает стратегия адаптации сельского хозяйства к возможным климатическим рискам?
17. Какие существуют агротехнические способы предупреждения неблагоприятного влияния факторов среды при потеплении климата?
18. В чем заключается роль микроклимата в функционировании агроландшафтов?

ГЛАВА 4
МЕТОДЫ ОЦЕНКИ БИОКЛИМАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА АГРОЭКОСИСТЕМ И ОБРАБОТКИ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Необходимость учета и анализа ресурсной составляющей агроэкосистем вытекает из требований научно обоснованного управления процессом сельскохозяйственного производства, где важное место отводится рациональному размещению культур, а также применению приемов и способов обработки почвы с учетом почвенно-климатических особенностей конкретной территории. Именно поэтому агроклиматические особенности территорий и оценка БКП природной среды являются важным начальным этапом решения проблемы по обеспечению устойчивого развития сельскохозяйственного производства.

4.1. Агроклиматическая характеристика района (Самостоятельная работа)

При составлении агроклиматической характеристики выбранного района особое внимание уделяется вопросам эффективной реализации агрофитоценозами и отдельными сельскохозяйственными культурами имеющегося природно-ресурсного потенциала территории. Рациональное управление продукционным процессом невозможно без учета специфических особенностей функционирования агроландшафтов: почвенных и погодных условий, биологии растений и требований сельскохозяйственных культур к основным факторам произрастания.

Совокупность агроклиматических факторов, создающих условия для формирования продуктивности сельскохозяйственных культур, составляет агроклиматические ресурсы территории (района).

Схема агроклиматической оценки района

При агроклиматической характеристике района анализируют:

- термические условия холодного и теплого (вегетационного) периодов;
- условия увлажнения, включая режим осадков и влажность почвы;
- условия перезимовки озимых и многолетних растений, которые характеризуются минимальной температурой воздуха и почвы, высотой снежного покрова;
- неблагоприятные (опасные) для сельского хозяйства метеорологические явления.

Наряду с указанными оценками для агроклиматической характеристики района необходимо знать требования, предъявляемые растениями к среде обитания, а именно: критические и оптимальные температуры воздуха и почвы; суммы температур, необходимые для завершения развития от посева до созревания; количество влаги, обеспечивающее создание высокого урожая и др.

Все виды сумм температур, характеризующие потребность растений в тепле, легко сопоставить с термическими ресурсами района, которые выражают обычно в суммах активных температур. Потребность растений в тепле, выраженная суммой активных температур, рассчитана почти для всех культурных растений, их сортов и гибридов. Например, для яровой пшеницы в зависимости от скороспелости сорта она колеблется в пределах 1400…1700°С, овса – 1200…1550°С, картофеля – 1200…1800°С, кукурузы – 1300…2500°С и т.п.

К агроклиматическим показателям относят также критические температуры, определяющие гибель растений.

Обеспеченность сельскохозяйственных культур влагой можно оценить по сумме осадков в сравнении с многолетними средними значениями. Наиболее широкое применение получил гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (см. главу 1.3).

Агроклиматическая характеристика выбранного района включает в себя 3 раздела: краткую физико-географическую характеристику района (области); климатическую и агроклиматическую характеристику этого района.

Задание

1. Охарактеризовать общие физико-географические условия выбранного района (области).
2. Оценить термические условия и условия увлажнения теплого и холодного периодов года.
3. Дать оценку тепло- и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур за период активной вегетации.
4. Оценить условия перезимовки сельскохозяйственных культур.
5. Записать результаты расчетов в таблицу (в рабочую тетрадь).
6. Дать общую характеристику климатических и агроклиматических условий района.

Справочные материалы и принадлежности

Справочники «Агроклиматические справочники по областям», «Агроклиматические ресурсы по областям»; миллиметровая бумага; линейка; цветные карандаши.

Порядок выполнения работы

Раздел I. Физико-географическая характеристика района

Характеризуют физико-географические условия выбранного района, отметив его расположение, характер рельефа, преобладающие почвы, растительность и т.п.

Раздел II. Климатическая характеристика района

Климатическая характеристика района включает в себя оценку и анализ климатических условий, сложившихся в данном районе (области). При этом используют следующую схему:

1. Анализируют текстовую часть справочника и основные климатические данные, помещенные в его таблицах. Данные выписывают по одной метеорологической станции, расположенной в районе.

2. Выделяют по данным перехода температуры воздуха через 0°С теплый и холодный периоды года (начало, конец, продолжительность). Затем по каждому периоду составляют раздельно описание климата, охарактеризовав термические условия и условия увлажнения.

3. Отмечают температуру самого теплого месяца, среднюю температуру и сумму активных температур для теплого периода года. Данные заносят в таблицу (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Термические условия теплого периода

Показатель	Месяцы																	
	IV			V			VI			VII			VIII			IX		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Многолетняя средняя температура воздуха, °С																		
Многолетняя сумма активных температур нарастающим итогом, °С																		

4. Характеризуют наличие заморозков: приводят средние даты окончания весенних и наступления осенних заморозков, самые ранние и самые поздние их даты. Рассчитывают продолжительность безморозкового периода.

5. Приводят для зимнего периода среднюю температуру самого холодного месяца, абсолютный минимум и средний из абсолютных минимумов температуры воздуха. Дают характеристику суровости зимы по среднему из абсолютных минимумов температуры воздуха, используя схему:

- умеренно-мягкая (-20…-25°С);
- умеренно-холодная (-25… -30°С);
- холодная (-30… -35°С);
- очень холодная (-35…-40°С);
- суровая (- 40…-45°С).

6. Выписывают из справочника показатели средней многолетней температуры воздуха и количества дней с оттепелью (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Термические условия холодного периода

Показатель	Месяцы																	
	X			XI			XII			I			II			III		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Многолетняя средняя температура воздуха, °С																		
Количество дней с оттепелью																		

1. Выписывают сумму осадков за теплый период по месяцам и выделяют месяцы с максимальным количеством осадков, а также наиболее сухие и влажные месяцы, сравнив данные по влажности воздуха (табл. 4.3).

2. Характеризуют условия увлажнения почвы в теплый период года, подчеркнув тип годового хода запасов влаги, их величины (мм) весной и осенью в метровом слое почвы.

3. Дают общую климатическую оценку условий увлажнения за период активной вегетации по гидротермическому коэффициенту Г.Т. Селянинова (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Условия увлажнения теплого периода

Показатель	Месяцы																	
	IV			V			VI			VII			VIII			IX		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Количество осадков по многолетним данным, мм																		
Сумма за месяц, мм																		
Недостаток насыщения по многолетним данным, гПа																		
Среднее за месяц, гПа																		
Значения ГТК по многолетним данным за май-август																		

Примечание. Характеристика зоны по условиям увлажнения (ГТК): 1,6…1,3 – влажная; 1,3…1,0 – слабо засушливая; 1,0…0,7 – засушливая; 0,7…0,4 – очень сухая.

4. Строят сопряженный график годового хода температуры воздуха и сумм осадков для иллюстрации климата района.

5. Отмечают для холодного периода года дату образования устойчивого снежного покрова и его высоту, дату схода и число дней с устойчивым снежным покровом, а также запасы воды, накопившиеся в снеге и глубину промерзания почвы. Результаты заносят в таблицу (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Условия увлажнения холодного периода

Показатель	Месяцы																	
	X			XI			XII			I			II			III		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Высота снежного покрова на последний день декады по многолетним данным, см																		
Запасы воды в снеге на последний день декады по многолетним данным, мм																		
Глубина промерзания по многолетним данным, см																		

6. Определяют среднюю высоту снежного покрова в самый холодный месяц зимы и максимальную высоту снега за зиму.

Раздел III. Агроклиматическая характеристика района

1. Проводят оценку ресурсов тепла выбранного района по степени теплообеспеченности сельскохозяйственных культур и их сортов, используя график (рис. 1.4) и таблицу 4.5.

2. Рассчитывают теплообеспеченность сельскохозяйственных культур. Делают вывод о целесообразности выращивания тех или иных культур и их сортов в районе, считая, что с сельскохозяйственной точки зрения, культура должна быть обеспечена теплом на 80% и более.

П р и м е р. Дано: потребность в тепле позднеспелого сорта картофеля составляет 1800°С (сумма активных температур); ресурсы тепла в Подмосковье –2100°С. Используя график, найти обеспеченность картофеля теплом в этой зоне.

Находим разность между потребностями картофеля в тепле и термическими ресурсами территории: 1800°-2100° = –300°С. Затем по оси абсцисс графика находим значение теплообеспеченности для отклонения –300°С. Оно составляет около 90%.

Вывод. Если обеспеченность культуры теплом составляет 80% и более, то возделывать такую культуру в данной зоне возможно.

Таблица 4.5

Теплообеспеченность сельскохозяйственных культур

Культура	Скороспелость сорта	Потребность в тепле $\sum t$, градусы	Фактическое количество тепла $\sum t$, градусы	Обеспеченность теплом, %
Озимая пшеница	Р	1400		
	П	1500		
Яровая пшеница	Р	1400		
	С	1500		
	П	1700		
Ячмень	С	1350		
	П	1450		
Горох	Р	1250		
	С	1400		
Лен	Р	1300		
	П	1500		

Окончание табл. 4.5

Картофель	Р	1200		
	С	1500		
	П	1800		
Кукуруза	Р	1900		
	С	2500		
	На силос	1300		
Цитрусовые	Р	4000		
Сахарный тростник	Р	5000		
Финиковая пальма	Р	4500		
Хлопчатник	Р	2850		
Виноград	Р	2800		
Рис	Р	2300		
Сорго	Р	2500		

Примечание. Р – раннеспелый; С – среднеспелый; П – позднеспелый.

3. Дают оценку обеспеченности запасами влаги в почве для основных сельскохозяйственных культур в различные периоды вегетации.

4. Оценивают вероятность вымерзания озимых культур, увязав это явление с характеристиками снежного покрова.

5. Дают общую характеристику агроклиматических условий района по теплообеспеченности, влагообеспеченности и условиям перезимовки. Указывают, какие сельскохозяйственные культуры рекомендуется возделывать в данном районе.

4.2. Оценка агрометеорологических условий года (Самостоятельная работа)

Оценка агрометеорологических условий года является важнейшей составной частью в системе научных исследований природно-климатических, почвенных и других ресурсов конкретной территории. Она позволяет объективнее рассматривать итоги полевых опытов, учитывать влияние погодных условий на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных культур, на эффективность применения удобрений, находить оптимальные приемы борьбы с вредителями и болезнями.

Материалы анализа погодных условий найдут применение в магистерских, курсовых и дипломных работах, а также в отчетах по практике других смежных дисциплин.

Цель работы – закрепить теоретические знания по агрометеорологии и дать навыки рационального применения метеорологической и климатической информации в производственной деятельности.

Основная задача – сравнительный анализ метеорологических условий конкретного сельскохозяйственного года (с октября предыдущего по сентябрь текущего года) с климатической нормой, в результате которого дают оценку тепло- и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур, неблагоприятным явлениям погоды, условиям перезимовки и др.

При выполнении работы используют многолетние средние значения метеорологических элементов ближайшей метеорологической станции и данные за конкретный год. По результатам работы составляют краткую характеристику агрометеорологических условий года. Выполненное задание сдают преподавателю в форме отчета. В зависимости от цели и задач данной работы, план ее проведения и содержание будут различными.

При сокращенной программе оценивают агрометеорологические условия только периода активной вегетации сельскохозяйственных культур. На первом этапе выписывают необходимую метеорологическую информацию, заполняют таблицы и выполняют расчеты, на втором составляют характеристику вегетационного периода и сдают отчет.

Полная программа работы включает в себя оценку агрометеорологических условий всего сельскохозяйственного года (холодного и теплого периодов). Вначале проводят выборку метеорологических и климатических данных. Затем делают расчеты, составляют таблицы, строят графики, а в завершение работы пишут отчет с оценкой агрометеорологических условий и сдают преподавателю.

Задание по оценке агрометеорологических условий года

1. Составить таблицы климатических данных по выбранной метеорологической станции, используя «Агроклиматические справочники по …области», «Справочники по климату» или получив эту информацию непосредственно на станции (табл. 4.6-4.11).

2. Выписать данные по метеорологической станции за конкретный год, погодные условия которого берут для анализа по тем же элементам, что и климатические. Составить характеристику метеорологических условий по месяцам этого года аналогично таблицам 4.6-4.11.

3. Выполнить расчеты характеристик термических условий холодного и теплого (табл. 4.12, 4.15) сезонов, а также условий увлажнения (табл. 4.13, 4.14), в отклонениях от многолетних средних значений

основных элементов: температуры воздуха, сумм температур, осадков, гидротермического коэффициента и др. Заполнить обобщенную таблицу агрометеорологической характеристики зимнего периода (табл. 4.16).

4. Дать оценку агрометеорологических условий сельскохозяйственного года (или вегетационного периода) на основе анализа климатических данных (табл. 4.6-4.11), условий по сезонам года, расчетов по отклонению основных элементов от нормы (табл. 4.12-4.15) с применением нормативных агрометеорологических показателей (рис. 4.1, табл. 4.17-4.21).

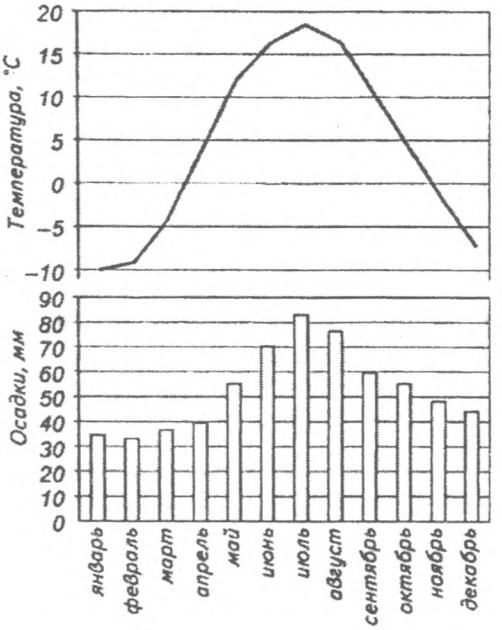


Рис. 4.1. **Годовой ход температуры воздуха и осадков** (по многолетним данным обсерватории им. В.А. Михельсона)

5. Построить график годового хода основных метеорологических элементов (температуры воздуха и сумм осадков) по месяцам. За образец взять рисунок 4.1, дополнив его изображением хода температуры за N год (прерывистая ломаная линия) и сумм осадков (заштрихованные столбики).

6. Подготовить отчет о практике, включив в него материал выполненных заданий 1-5.

Таблица 4.6

Многолетние средние значения основных метеоэлементов по данным метеорологической станции

Параметр	Декада	Месяц							
		01	02	03	04	05	0…	…	12
Средняя декадная температура воздуха, °С	I								
	II								
	III								

Окончание табл. 4.6

Сумма среднесуточных температур выше 10°С нарастающим итогом, °С	I								
	II								
	III								
Количество осадков, мм: по декадам	I								
	II								
	III								
за месяц									
Недостаток насыщения, гПа									
Гидротермический коэффициент (за май – август)									

Таблица 4.7

Даты перехода и число дней со средней суточной температурой выше 0, 5 и 10°С

Выше 0°С			Выше 5°С			Выше 10°С		
начало	конец	число дней	начало	конец	число дней	начало	конец	число дней

Таблица 4.8

Дата последнего и первого заморозков и продолжительность беззаморозкового периода

Последний заморозок весной	Первый заморозок осенью	Продолжительность периода

Таблица 4.9

Средняя продолжительность холодного периода

Параметр	Начало	Конец	Продолжительность периода
Дата перехода среднесуточной температуры воздуха ниже 0 °С			

Таблица 4.10

Средние даты выпадения первого снега, образования устойчивого снежного покрова, окончания снеготаяния

Дата выпадения первого снега	Дата образования устойчивого снежного покрова	Дата окончания снеготаяния

Таблица 4.11

Многолетние средние характеристики снежного покрова по данным метеорологической станции

Параметр	Декада	Месяц					
		10	11	12	01	02	03
Высота снежного покрова на последний день декады, см	I						
	II						
	III						
Плотность снежного покрова на последний день декады, г/см^3	I						
	II						
	III						
Запасы воды в снеге на последний день декады, мм	I						
	II						
	III						
Глубина промерзания почвы на последний день декады, см	I						
	II						
	III						

Пояснения к расчетным характеристикам года

Таблица 4.12. Отклонения от многолетних средних значений температуры рассчитывают по декадам каждого месяца. Если средняя температура за декаду в данном году будет выше многолетней (табл. 4.6), то ставят знак «+» (положительное отклонение), если ниже – то знак «-» (отрицательное отклонение). Таким образом, определяют, теплее или холоднее климатической нормы была эта декада.

Таблица 4.12

Характеристика термических условий теплого периода _____ год

Параметр	Декада	Месяц					
		04	05	06	07	08	09
Отклонения от многолетних средних значений температуры воздуха, °С	I						
	II						
	III						
Сумма активных температур >100°С нарастающим итогом, °С	I						
	II						
	III						
Сумма эффективных температур >5°С нарастающим итогом, °С	I						
	II						
	III						

Пример. Многолетняя средняя температура в мае по декадам составила 12,4; 14,8; 16,5°С; в *N* году – соответственно 11,4; 13,6; 18,7°С. Отклонения составят -1,0; -1,2; + 2,2°С.

Сумму активных температур выше 10°С можно получить только за декады с температурой выше 10°С.

Пример. По тем же температурам мая в *N* году 11,4; 13,6; 18,7°С сумма активных температур составит 11,4 ×10 = 114°С; 13,6 · 10 = 136°С; 18,7 · 11 = 205,7°С (в третьей декаде мая – 11 дней).

Нарастающим итогом они будут выглядеть следующим образом: I декада – 114°С, II декада – 114 + 136 = 250°С, III декада – 250 + 205,7 = 455,7°С (456°С округленно). Следовательно, к концу мая накопилось 456°С сумм активных температур.

Так же рассчитывают суммы активных температур за весь теплый период, где среднесуточные температуры превышают 10°С (по декадам).

Сумму эффективных температур определяют по средним декадным температурам выше 5°С. При этом из каждой средней декадной температуры вычитают 5°С, а остаток умножают на число дней декады (10 или 11).

Пример. По тем же температурам мая в *N* году (11,4; 13,6; 18,7°С) суммы эффективных температур составят:

(11,4 – 5,0) ·10 = 64°С; (13,6 – 5,0) × 10 = 86°С; (18,7 – 5) · 10 = 150,7°С.

Нарастающим итогом получим: I декада – 64°С; II декада – 64 + 86 =150°С; III декада – 150 + 150,7 = 300,7°С (округленно 301°С). К концу мая накопилось 301°С сумм эффективных температур выше 5°С. Аналогично ведут расчет за весь теплый период с температурой выше 5°С.

Таблица 4.13. Отклонения от многолетних средних значений сумм осадков принято давать в процентах. Определяют, сколько процентов составляет сумма выпавших осадков за декаду от климатической нормы.

Таблица 4.13

Характеристика условий увлажнения теплого периода _____ год

Параметр	Декада	Месяц					
		04	05	06	07	08	09
Месячная сумма осадков, мм	–						
Отклонения от многолетних средних значений сумм осадков, %	I						
	II						
	III						
ГКТ за месяц							
ГКТ за май-август							

П р и м е р. В апреле *N* года выпало осадков (по декадам) 6, 13 и 24 мм, многолетние средние их суммы за этот период – 12, 13 и 12 мм, соответственно отклонения составят 50, 100 и 200%. Таким образом, в первой декаде выпало 50% осадков нормы, во второй – норма (100%), в третьей – две нормы (200%). Подобный расчет дает возможность оценить суммы осадков в отношении их недостатка или избытка.

Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) рассчитывают по формуле:

$$\text{ГТК} = \frac{\Sigma r}{0{,}1\Sigma t_{>10^\circ C}}, \qquad (4.1)$$

где $\sum r$ – сумма осадков, мм; $\sum t>10^\circ C$ – сумма температур выше 10°С.

ГТК принято рассчитывать за период не менее месяца. Поэтому берут месячные суммы осадков и суммы активных температур за соответствующий месяц (табл. 4.12).

П р и м е р. Сумма осадков за май *N* года составила 60 мм, а сумма температур выше 10°С за этот месяц – 456°С. Рассчитываем ГТК:

$$\text{ГТК} = \frac{60}{0{,}1 \cdot 456} = \frac{60}{45{,}6} = 1{,}32$$

ГТК за май-август получают не осреднением его месячных значений, а подсчетом сумм осадков и сумм температур за весь названный период.

Таблица 4.14. Отклонения от многолетних сумм осадков по декадам холодного периода года (10…03) выполняют так же, как и для теплого периода (табл. 4.13).

Таблица 4.14

Характеристика условий увлажнения холодного периода

Параметр	Декада	Год____			Год____		
		Месяц			Месяц		
		10	11	12	01	02	03
Месячная сумма осадков, мм	–						
Отклонения от многолетних средних значений сумм осадков, %	I						
	II						
	III						
Запасы воды в снеге на последний день декады, мм	I						
	II						
	III						

Запасы воды в снеге (мм) на последний день декады рассчитывают следующим образом:

$$H = 10\,h\,d,$$

где H – запасы воды в снеге, мм; h – высота снега, см; d – плотность снега, г/см^3.

Таблица 4.15. Отклонения от многолетних значений температуры воздуха холодного периода рассчитывают так же, как и для теплого (табл. 4.12). Важно учитывать, что понятие выше (+) и ниже (–) многолетних значений относится в большинстве случаев к отрицательным температурам.

Число дней с оттепелью выбирают в том случае, если есть полный первичный материал наблюдений метеостанции. День с оттепелью определяют по максимальной температуре воздуха за сутки выше 0°С в течение зимы (в период с температурой ниже 0°С).

Таблица 4.15

Характеристика термических условий холодного периода

Параметр	Декада	Год____			Год____		
		Месяц			Месяц		
		10	11	12	01	02	03
Отклонения от многолетних средних значений температуры воздуха, °С	I						
	II						
	III						
Число дней с оттепелью (за месяц)							

Таблица 4.16. Обобщают агрометеорологические условия зимнего периода. За абсолютный минимум принята самая низкая температура воздуха зимнего сезона, которую находят по минимальным температурам в любой срок наблюдения.

Таблица 4.16

Агрометеорологическая характеристика зимнего периода (ноябрь-март)

№ пп	Параметр	Значение
1	Абсолютный минимум температуры воздуха, °С	
2.	Дата образования устойчивого снежного покрова	
3	Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом, сут.	
4	Максимальная высота снежного покрова за зиму, см	
5	Максимальные запасы воды в снеге, мм	
6	Число дней с оттепелью	
7	Минимальная температура почвы на глубине узла кущения (3 см), °С	
8	Наибольшая глубина промерзания почвы, см	

По параметрам № 2, 3, 4, 5 приводят основные характеристики снежного покрова. Число дней с оттепелью за зиму суммируют из месячных значений по данным таблицы 4.15.

Минимальную температуру почвы на глубине залегания узла кущения (3 см) определяют косвенно по факторам, от которых она зависит: по минимальной температуры воздуха и высоте снежного покрова, – используя номограмму А.М. Шульгина (рис. 2.2).

П р и м е р. Минимальная температура воздуха составляет –20°С, высота снежного покрова на эту дату – 10 см. Минимальная температура на глубине залегания узла кущения озимых составит –12°С.

Характеристика агрометеорологических условий года (Рекомендации по составлению письменного отчета по практике)

Холодный период

1. Сравнивают с климатической нормой ход температуры воздуха, даты перехода температуры ниже 0°С и продолжительность холодного периода, а также выпадения первого снега, образования устойчивого снежного покрова и окончания снеготаяния.

2. Характеризуют на основании полученных данных зимний период и условия перезимовки зимующих культур с оценкой возможного их повреждения (вымерзания, выпревания). При этом используют соответствующие рисунки и таблицы (см. рис. 2.2, табл. 4.17).

Теплый период

1. Отмечают по переходу температуры через 0°С даты начала и окончания теплого периода, а также его продолжительность. По датам перехода температуры через 5°С рассчитывают продолжительность вегетационного периода большинства сельскохозяйственных культур. Основной период активной вегетации приурочивают к переходу температуры через 10°С. Продолжительность названных периодов сравнивают с климатической нормой.

2. Приводят наиболее выраженные отклонения средних декадных температур воздуха от нормы, выделяя тем самым периоды (число декад) потеплений и похолоданий (табл. 4.12).

3. Называют сумму активных температур выше 10°С по отдельным месяцам, накопившуюся к определенному времени (например, на конец июня, июля или августа) и в целом за период активной вегетации в сравнении с нормой (табл. 4.12). Это дает возможность оценить вегетационный период по обеспеченности теплом как более теплый или холодный, с недостатком или с избытком тепла и т.д.

4. Дают общую оценку обеспеченности теплом вегетационного периода, а также по отношению к ряду сельскохозяйственных культур, приведенных в таблице 4.19.

5. Сравнивают с нормой количество выпавших осадков, % (подекадно), и делают вывод об условиях увлажнения рассматриваемых периодов.

6. Оценивают по рассчитанному ГТК степень увлажненности по месяцам и в целом за вегетацию, используя критерии таблицы 4.20.

7. Дают характеристику условий уборки озимых (конец июля) и яровых (конец августа) по данным о недостатке насыщения, используя критерии таблицы 4.21.

8. Описывают неблагоприятные метеорологические условия теплого сезона. Отмечают, когда в текущем году окончились заморозки

весной и наступили осенью (даты), какова продолжительность безморозкового периода. Сравнивая с нормой по гидротермическому коэффициенту и недостатку осадков (ГТК ≤0,6, осадков ≤50% нормы) режим увлажнения, выделяют периоды засух.

Переувлажнением территории (особенно осенью) считают показатели, когда выпавшие осадки превышают норму на 150…200%.

9. Анализируют возможное влияние метеорологических условий года на урожайность сельскохозяйственных культур.

10. Дают общую характеристику агрометеорологических условий анализируемого года.

Нормативные агрометеорологические показатели

Таблица 4.17

Характеристика условий перезимовки

Культура	Критическая температура на глубине узла кущения, °С
Вымерзание	
Озимая рожь	–20…–22
Озимая пшеница	–16…–18
Озимый ячмень	–12…–15
Клевер	–16…–20

Выпревание
возможно при сочетании условий:

высота снежного покрова ≥30 см;
глубина промерзания почвы ≤50 см;
температура воздуха выше –5°С;
продолжительность периода 3…4 декады.

Таблица 4.18

Критические температуры для плодовых и цитрусовых, °С

Культура	Надземная часть (по температуре воздуха)	Корневая система (по температуре почвы)
Яблоня:		
сибирские и уральские сорта	–45…–50	–15…–18
среднерусские сорта	–35…–40	–12…–15
южные сорта	–30	–10…–12

Окончание табл. 4.18

Груша европейского сорта	–25…–30	–9…–10
Вишня	–30	–14…–15
Черешня	–25…–30	–
Слива: южная	–20…–30	–
уссурийская	–50	–
Абрикос	–25	–
Персик	–23…–25	–10…–12
Виноград, европейский сорт	–12…–20	–7…–9
Цитрусовые:		
мандарины	–10…–12	–
апельсины	–5…–7	–
лимоны	–4…–5	–11
Малина	–	–8…–10
Земляника	–	–15…–16
Смородина	–	–18
Крыжовник	–	–18

Таблица 4.19

Потребность в тепле сельскохозяйственных культур

Культура	Скороспелость сортов	Потребность культуры в тепле ($\sum t_{ак}$>10°С), °С
Озимая рожь	Среднеспелые	1350
	Позднеспелые	1400
Озимая пшеница	Среднеспелые	1450
	Позднеспелые	1500
Яровая пшеница	Раннеспелые	1400
	Среднеспелые	1500
Ячмень	Среднеспелые	1350
	Позднеспелые	1450
Овес	Среднеспелые	1450
	Позднеспелые	1550

Окончание табл. 4.19

Горох	Раннеспелые	1250
	Среднеспелые	1400
Картофель	Раннеспелые	1200
	Среднеспелые	1500
	Позднеспелые	1800
Огурцы	Раннеспелые:	
	до начала созревания	800
	до полных сборов	1200
	Среднеспелые	
	до начала созревания	900
	до полных сборов	1300
Томаты	Раннеспелые:	
	до дозаривания	900
	до красных плодов	1500

Таблица 4.20

Критерии увлажнения вегетационного периода по гидротермическому коэффициенту Г.Т. Селянинова (применительно к Нечерноземной зоне)

ГТК	Характеристика увлажнения
> 2,0	Переувлажнение
1,5…2,0	Достаточное увлажнение
1,3…1,5	Близкое к среднему
0,7…1,3	Недостаточное увлажнение
<0,7	Засушливые условия

Таблица 4.21

Критерии качества работы комбайнов при различных значениях дефицита насыщения

Дефицит насыщения водяного пара, гПа	Условия работы комбайнов
$d \geq 8$	Хорошие
$3 < d < 8$	Удовлетворительные
$d \leq 3$	Плохие

4.3. Микроклиматические наблюдения

Грамотное, научно обоснованное размещение культур, выбор участка, уточнение сроков и способов обработки почвы, сроков и способов посева, – лишь часть важной роли учета микроклимата. Кроме того, различные сельскохозяйственные культуры имеют свои фитоклиматические особенности. Они изменяются в зависимости от густоты и способов посева, использования приемов обработки и орошения, что необходимо учитывать при оценке процессов роста и развития растений и планирования различных агротехнических мероприятий.

Цель работы – формирование представлений, знаний и профессиональных навыков проведения полевых агрометеорологических наблюдений и изучения микроклиматических особенностей агроландшафтов.

Задачи

- закрепление теоретических знаний по агрометеорологии; ознакомление с устройством и принципом работы основных метеорологических приборов, применяемых в полевых условиях;
- обучение методике проведения стационарных и маршрутных (полевых) микроклиматических наблюдений;
- формирование навыков и умений обработки результатов полевых наблюдений, их анализа и обобщения, выявления причинно-следственных связей и закономерностей, формулирования выводов.

Результаты анализа полевых наблюдений могут быть использованы в соответствующих разделах отчетов по практике других смежных дисциплин и в курсовых проектах.

Задание

1. Ознакомиться с методикой проведения микроклиматических наблюдений.
2. Провести наблюдения на опытном поле на 3-4-х участках каждой экспозиции склона с различными элементами (вершина, средняя и нижняя часть склона, равнина) и свойствами подстилающей поверхности.

Для того, чтобы учесть влияние только природных факторов, участки на склонах выбирают с естественным травостоем (залуженное поле), а на равнине для контраста – участок под паром. Всего для проведения микроклиматических наблюдений одной учебной группой выбираются 6 участков.

Значительные отклонения в показаниях метеорологических приборов могут быть также и по срокам наблюдений в течение суток. Поэтому все наблюдения проводят 2-3 раза в день через каждые 2-3 часа.

3. Измерить температуру почвы и воздуха, недостаток насыщения (дефицит влажности) и относительную влажность воздуха, скорость ветра и атмосферное давление, а также провести наблюдения за солнечной радиацией и облачностью (визуально).

Наблюдения за температурой и влажностью воздуха проводят на высоте 20 и 150 см; за температурой почвы – на поверхности и глубине 10 см; за скоростью ветра – на высоте около 2 м.

Приборы, оборудование и справочные материалы

Барометр-анероид; максимальный, минимальный и срочный термометры; термометр-щуп; коленчатые термометры; анемометр; альбедометр с гальванометром; аспирационный психрометр с психрометрическими таблицами; переносная походная мачта.

Программа микроклиматических наблюдений

Программа микроклиматических наблюдений включает в себя несколько этапов проведения работы.

Этап первый. Студенты изучают устройство приборов, принцип их действия, правила установки, порядок производства наблюдений и обработку данных по таблицам и графикам, используя учебные пособия и справочные материалы. Производят разовые рекогносцировочные (пробные) наблюдения на выбранных участках опытного поля или на учебной метеорологической площадке, с последующей обработкой результатов микроклиматической съемки.

Этап второй. Студенты проводят микроклиматические наблюдения в 2-3 срока на участках, выбранных для изучения на первом этапе, затем обрабатывают полученные данные.

Этап третий. Студенты завершают обработку результатов наблюдений и составляют сводную таблицу. Используя полученные данные, вычерчивают графики хода основных метеоэлементов. По окончании работы студенты составляют отчет и сдают его преподавателю.

Работа выполняется по подгруппам. Каждую учебную подгруппу разбивают на отдельные бригады по3-4 человека. В ней назначается ответственный, в обязанности которого входит получение комплекта приборов и возврат их после выполнения задания.

Каждая бригада выполняет весь комплекс микроклиматических наблюдений на конкретном участке. По окончании работы все бригады учебной подгруппы обмениваются полученными данными с таким расчетом, чтобы каждый студент имел материалы наблюдений со всех участков.

Обработка результатов наблюдений, их анализ, формулирование выводов, построение графиков и составление отчета каждый студент выполняет самостоятельно.

Прежде чем приступить к выполнению задания, каждая бригада проверяет работоспособность и пригодность метеорологических приборов, а также наличие поверочных свидетельств или методических указаний к ним.

Психрометр аспирационный АМ-4М. В комплект прибора входят психрометр, пипетка с резиновой грушей, зажим для груши, защита от ветра, паспорт психрометра, поверочное свидетельство к термометрам, футляр (рис. 4.2).

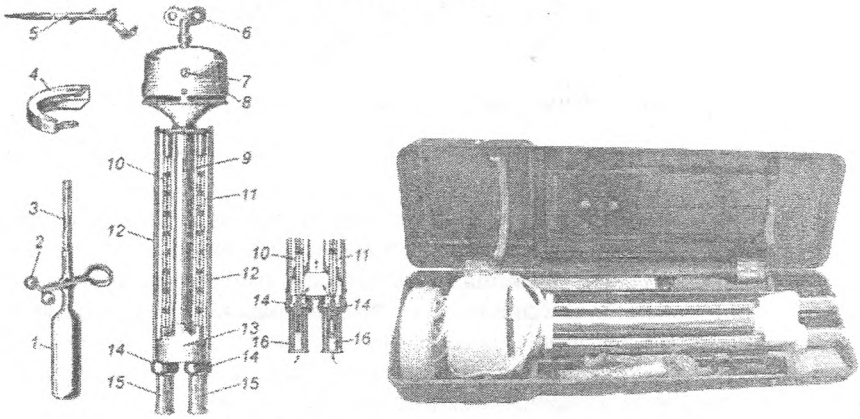


Рис. 4.2. **Аспирационный психрометр АМ-4М:**
1 – резиновая груша; 2–зажим; *3*–пипетка; *4*– ветровая зашита;
5 – крюк-подвес; 6 – ключ; 7 – окошечко; *8* –головка аспиратора;
9 – трубка; *10* и *11* – сухой и смоченный психрометрические термометры;
12 – защитные планки; *13* – тройник; *14* – изоляционные втулки;
15, 16 – трубки

Психрометр с принадлежностями следует переносить только в закрытом футляре. Перед установкой прибора необходимо убедиться в чистоте батиста на резервуаре смоченного термометра. Если батист загрязнен, его следует заменить. Для смачивания батиста используют дистиллированную воду.

Проверяют работу аспиратора следующим образом: заводят пружину вентилятора до отказа и следят через окошечко в колпаке заводного механизма за скоростью вращения барабана по риске, нанесенной на нем. Время одного оборота барабана не должно превышать 10 сек. контрольного времени, указанного в паспорте прибора. Если разность между ними большая, прибор следует заменить.

Наблюдения за температурой и влажностью воздуха проводят на двух высотах (20 и 150 см от поверхности почвы) с использованием переносной походной мачты (рис. 4.3).

Устанавливают психрометр горизонтально на специальных подставках, закрепленных на мачте, или подвешивают вертикально. Смачивают батист только в вертикальном положении прибора.

Анемометр ручной МС-13 (рис. 4.4). Прибор требует осторожного обращения и защиты от загрязнения, поэтому его хранят и переносят в футляре. При работе анемометр следует брать только за корпус счетчика оборотов и не дотрагиваться до вертушки.

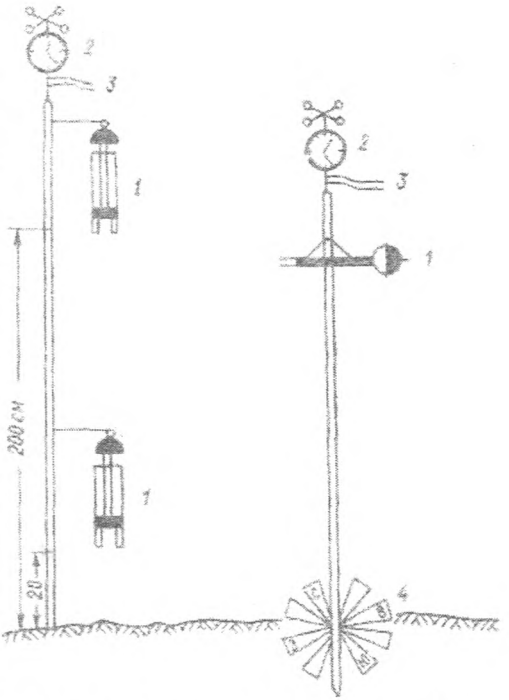


Рис. 4.3. **Установка аспирационного психрометра (1) и ручного анемометра (2), вымпела (3), колышек-румбов (4)**

Во время дождя пользоваться прибором запрещено. Счетный механизм анемометра включают и выключают арретиром. Перед установкой следует проверить прочность и точность привязки к арретиру шнура, который закрепляют, пропустив через ушки, расположенные рядом. Затем необходимо проверить работу четырехчашечной вертушки (приемника) на предмет свободного вращения и, дернув за шнур, проконтролировать правильность включения-выключения счетного механизма. Если замечены неисправности (крестовина с полушариями при вращении «заедает»), прибор следует заменить.

При наблюдениях анемометр укрепляют на конце переносной походной мачты. Можно также проводить измерения, при нахождении анемометра вертикально в вытянутой руке, при этом наблюдатель располагается лицом к ветру, а плоскость циферблата должна быть параллельной направлению ветра.

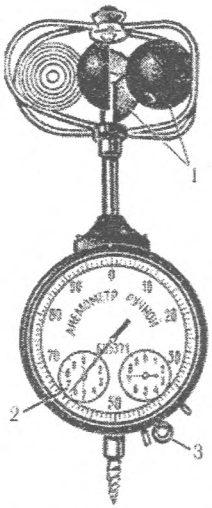


Рис. 4.4. **Анемометр ручной чашечный МС-13:**
1 – вертушка;
2 – счетный механизм;
3 – арретир



Рис. 4.5. **Термометр-щуп АМ-6:**
1 – ручка; 2 – термометр;
3 – прорезь; 4 – оправа;
5 – прокладка; 6 – наконечник

Термометры для измерения температуры почвы. Для измерения температуры поверхности почвы используют максимальный и минимальный термометры. Перед установкой проверяют их целостность, а также отсутствие разрывов термометрической жидкости в капиллярной трубке термометров. Проверяют наличие поверочных свидетельств к ним или поправок в методических указаниях.

Устанавливают термометры горизонтально так, чтобы они были наполовину своей высоты заглублены в почву. Перед наблюдениями максимальный термометр встряхивают 3-4 раза) и устанавливают на почву с небольшим уклоном в сторону резервуара. У минимального термометра перед наблюдениями следует подвести штифт к мениску спирта, а затем установить его на поверхность почвы строго горизонтально. При жаркой солнечной погоде во избежание поломки минимальный термометр не используют.

Для измерения температуры почвы на глубине 10 см используют *термометр-щуп АМ-6* (рис. 4.5). Перед установкой термометра необходимо удостовериться в отсутствии разрывов термометрической жидкости (толуола) в капиллярной трубке. Термометр должен быть чистым. Поправки к показанию термометра не вводят.

При установке шкалу прибора ориентируют на север, чтобы избежать отрицательного влияния прямых солнечных лучей. Отсчет показаний по шкале прибора проводят в конце наблюдений, одновременно с отсчетом по термометрам для измерения температуры поверхности почвы.

На каждой точке наблюдений вертикально устанавливают переносную походную мачту для психрометра, наверху которой ввинчивают анемометр. Рядом с мачтой выбирают площадку для почвенных термометров, где проводят их установку.

Последовательность проведения наблюдений

Непременным условием микроклиматических наблюдений является строгая последовательность проводимых работ и одновременность (синхронность) отсчетов по приборам во всех точках (вершина, середина и низ склона, поле) и по всем срокам наблюдений.

1. Измеряют атмосферное давление барометром-анероидом на уровне 20 см. Для этого: а) располагают анероид горизонтально, слегка постучав по стеклянной крышке прибора, отсчитывают давление воздуха с точностью до 0,1 гПа; б) делают отсчет температуры анероида с точностью до 0,1°С; в) записывают снятые показания в таблицу.

2. Измеряют температуру и влажность воздуха психрометром на высоте 20 см. Для этого: а) смачивают резервуар правого термометра с обвязанным батистом, используя пипетку с резиновой грушей; б) заводят пружину вентилятора до отказа; в) уложив психрометр горизонтально в гнезда (или повесив вертикально) на уровне 20 см от земли, выжидают 3-4 мин.; г) делают последовательно отсчет по сухому и смоченному термометрам; д) записывают показания в таблицу. Измерения в такой последовательности повторяют на высоте 150 см.

3. Измеряют скорость ветра анемометром ручным. Измерения начинают при выключенном счетном механизме прибора. Сначала отсчитывают на счетчике число тысяч делений, затем – сотен, и наконец – десятков и единиц. Записывают начальное показание счетчика K_1. После этого устанавливают анемометр на заданной высоте (около 2 м), выжидают 30 сек., чтобы вращение вертушки стало установившимся, и арретиром включают счетный механизм, одновременно включают секундомер. Через 100 сек. счетчик выключают и записывают конечный отсчет K_2. В такой последовательности измерения повторяют 3 раза.

4. Измеряют температуру почвы, используя различные термометры. Снимают показания максимальной температуры (не поднимая максимальный термометр с поверхности почвы). Встряхнув термометр, снова записывают показания прибора. Следовательно, по максимальному термометру определяют два значения температуры почвы: до встряхивания (максимальную) и после (текущую). Снимают показания минимальной температуры (не поднимая минимальный термометр с поверхности почвы): вначале отсчитывают температуру почвы по мениску спирта, а за-

тем – по концу штифта, удаленному от резервуара. Температура почвы, отсчитанная по штифту, будет минимальной, по мениску спирта – текущей. После окончания наблюдений минимальный термометр поднимают резервуаром вверх и выжидают, пока штифт не коснется мениска спирта, а затем устанавливают термометр горизонтально. Измеряют срочную температуру почвы на глубине 10 см, используя термометр-щуп АМ-6

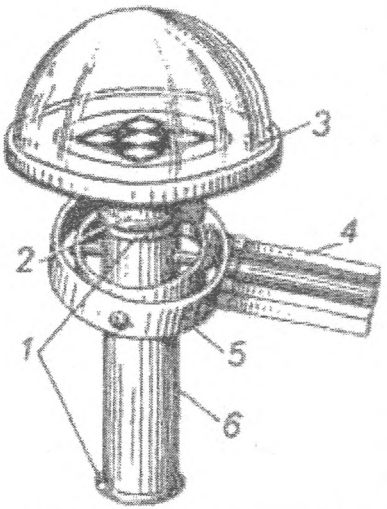


Рис. 4.6. **Альбедометр походный М-69:**
1 – резиновые прокладки; 2 – втулка;
3 – головка пиранометра;
4 – рукоятка; 5 – карданный подвес;
6 – трубка

5. Измеряют интенсивность суммарной, рассеянной и отраженной радиации альбедометром (рис. 4.6). Для этого: а) соединяют проводами альбедометр с гальванометром; б) освобождают арретир гальванометра и проверяют правильность подключения приборов; в) устанавливают альбедометр термобатареей вверх; г) устанавливают стрелку гальванометра корректором на 50-е деление шкалы, которое принимают за начало отсчета (условный нуль); д) определяют облачность неба (в баллах) и форму облаков (визуально); е) отсчитывают нулевое положение стрелки гальванометра N_0' с точностью до 0,1 деления шкалы при закрытой крышке; ж) снимают крышку с термобатареи и через 1 мин. делают три отсчета суммарной радиации N_1, N_2, N_3 с промежутками в 15-20 сек.; з) поворачивают альбедометр термобатареей вниз и через 1 мин. делают три отсчета отраженной радиации N_4, N_5, N_6 также с промежутками в 15-20 сек.; и) возвращают альбедометр в исходное положение головкой вверх, закрывают термобатарею (приемник) крышкой и через 60 сек. делают повторный (конечный) отсчет места нуля гальванометра N_0''. Результаты измерений заносят в таблицу.

Обработка результатов наблюдений

Результаты полевых наблюдений обрабатывают с использованием поверочных свидетельств к термометрам и анемометру, а также с помощью психрометрических таблиц. Образцы таблиц, куда заносят результаты наблюдений, даны в приложении.

Таблица 1. Обрабатывают результаты наблюдений за температурой и влажностью воздуха. Для этого необходимо: а) найти поправку для соответствующего значения снятой при наблюдениях температуры из поверочного свидетельства; б) учесть поправку и записать температуру в графе «исправленная величина» (13,2+0,2 =13,4С для уровня 20 см); в) используя психрометрические таблицы, найти значения основных характеристик влажности воздуха: парциального давления, относительной влажности воздуха, дефицита влажности (недостатка насыщения) и точки росы.

Таблица 2. Обрабатывают результаты наблюдений за температурой почвы. Для показаний температуры почвы, определенных с помощью максимального и минимального термометров вводят поправки из поверочных свидетельств и записывают исправленные значения температуры. Термометр-щуп не имеет поверочного свидетельства, поэтому отсчет записывают в графу без изменения.

Таблица 3. Обрабатывают результаты наблюдений за скоростью ветра. Последовательность обработки данных измерения скорости ветра следующая: а) находят разность отсчетов $K_2 - K_1$; б) записывают количество секунд, когда анемометр был включен (обычно для удобства расчетов берут 100 сек.); в) находят число делений счетчика в 1 сек. $\left(\frac{K_2 - K_1}{100}\right)$; г) по поверочному свидетельству анемометра (таблица или график) переводят число оборотов за единицу времени *(об/сек.)* в абсолютные значения скорости ветра *(м/сек.)* для каждого из трех отсчетов; д) рассчитывают среднюю скорость из трех измерений.

Таблица 4. Обрабатывают результаты наблюдений за солнечной радиацией. Обработка результатов актинометрических наблюдений включает: расчет среднего значения нулевого положения стрелки гальванометра для каждого измерения $\left(\frac{N_0' + N_0'}{2}\right)$; определение среднего значения из трех отсчетов суммарной и отраженной радиации для разных высот (или разного агрофона) $\left(\frac{N_1 + N_2 + N_3}{3}\right)$ и $\left(\frac{N_4 + N_5 + N_6}{3}\right)$.

Из поверочного свидетельства гальванометра берут поправку ΔN на шкалу. Суммарную и отраженную радиацию вычисляют как сумму полученных выше показателей с учетом переводного коэффициента K, рассчитанного для обоих приборов (альбедометра и гальванометра).

Таблица 5. Составляют общую (сводную) таблицу по данным наблюдений с различных участков. Она отражает их микроклиматические особенности в различных слоях приземного слоя

воздуха (20 и 150 см). Кроме того, таблица показывает различия метеопараметров и в течение дня (по срокам наблюдений).

В общую таблицу включают данные за 2 срока наблюдений: по температуре воздуха, относительной влажности и дефициту насыщения на двух уровнях; по максимальной и минимальной температуре поверхности почвы; по температуре почвы на глубине 10 см; по скорости ветра на высоте 2 м. Все величины должны быть исправлены, а скорость ветра рассчитывают как среднюю из 3-х измерений.

Обработка материалов таблицы 5 осуществляют в двух направлениях:

1. Выявляют различия в величинах метеорологических элементов на двух уровнях приземного слоя воздуха. Для этого находят разность температур, относительной влажности и т.д., измеренных на высоте 20 и 150 см от поверхности земли. Например, в 10-11час. на вершине северного склона разность температур составила 0,4°С (13,6-13,2=0,4), относительной влажности – 5%, дефицита влажности – 0,9 гПа.

2. Сравнивают величины метеорологических элементов, измеренных на различных участках ландшафта. Для этого находят разность (отклонения) между показателями: на вершине склона и в низине; на вершине склона и в поле; в нижней части склона и в поле.

Отклонения могут быть положительными или отрицательными. Например, температура воздуха на северном склоне на высоте 20 см в верхней его части была 13,6°С, а в нижней части склона – 14,4°С. Отклонение температуры составляет 0,8°С. Подобным образом рассчитывают отклонения и по другим метеоэлементам.

По данным таблицы 5 строят графики хода основных метеорологических элементов (температуры воздуха, относительной влажности, скорости ветра и др.). На оси абсцисс отмечают названия участков, а на оси ординат откладывают значения метеорологических величин. Построение их однотипно: на горизонтальной оси условно обозначают точки, соответствующие участкам рельефа, где проводилось измерение («в» – вершина склона; «н» – нижняя часть склона; «п» – поле и т.д.); на вертикальной оси в определенном масштабе откладываются значения изучаемых метеоэлементов.

Линиями соединяют точки со значениями, относящимися к высоте наблюдений 20 и 150 см от поверхности земли. При построении графиков важно правильно выбрать масштаб, для чего необходимо определить пределы колебания того или иного метеоэлемента. Например, при всех наблюдениях относительная влажность воздуха колеблется в пределах 65-80%. Масштаб в 1 см:10% влажности будет неудачным. Рекомендуется взять соотношение в 1 см:5% влажности и принять величину 60% за условный нуль по вертикальной оси.

Анализ результатов и составление отчета

Результаты микроклиматических наблюдений анализируют на основе материалов таблицы 5 и графиков хода метеорологических величин.

Отмечают, какие различия в температуре и влажности воздуха наблюдаются в приземном слое, путем сравнения данных измерений на высоте 20 и 150 см.

Анализируют отклонения значений метеорологических величин, связанных с различными участками. Микроклиматические показатели могут сильно варьировать в зависимости от состояния погоды. Поэтому полученные отклонения характерны только для конкретной ситуации, в других погодных условиях они могут существенно различаться.

По результатам микроклиматических наблюдений составляют письменный отчет, проверяемый руководителем практики.

Отчет содержит:

1. Название.

2. Место проведения микроклиматических наблюдений с характеристикой условий работы.

3. Описание того, какие метеорологические элементы измерялись, на каких уровнях и в какой последовательности.

4. Срок наблюдений. Состояние погоды.

5. Анализ результатов наблюдений.

К отчету должны быть приложены:

а) графики хода изучаемых метеорологических величин;

б) таблицы с данными наблюдений № 1, 2, 3, 4 и сводная таблица 5.

Пункты 1-5 отчета дают в текстовой форме. Отчет подписывает выполнивший работу студент.

Контрольные вопросы

1. Чем вызвана необходимость учета и оценки БКП конкретной территории?
2. Какие условия анализируют при составлении агроклиматической характеристики района?
3. Что включает в себя климатическая характеристика термических условий холодного и теплого периодов года выбранного района?
4. Что включает в себя климатическая характеристика условий увлажнения холодного и теплого периодов года?
5. Какие показатели представляют агроклиматическую характеристику района?
6. Какими показателями представлены агрометеорологические условия сельскохозяйственного года?
7. В чем состоит важность оценки продолжительности беззаморозкового периода?
8. Какие показатели используют при характеристике снежного покрова?
9. Какие показатели характеризуют устойчивость холодного периода?
10. Что включают в себя нормативные агрометеорологические показатели?
11. В чем проявляются микроклиматические различия территории?
12. Что подразумевают под мелиорацией микроклимата? Какие способы для этого существуют?
13. Какие требования предъявляют к проведению микроклиматических наблюдений?
14. Какие простейшие метеорологические приборы используют для проведения наблюдений?
15. Что включает в себя программа микроклиматических наблюдений?
16. Последовательность проведения наблюдений при измерении температуры почвы.
17. Как проводится обработка результатов микроклиматических наблюдений?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Измерение температуры и влажности воздуха

Место наблюдений _____ Дата _____
Наблюдатель _____ Состояние погоды _____
Давление воздуха Р _____ Экспозиция склона _____

Показатели	Вершина склона						Середина склона						Нижняя часть склона						Поле (равнина)					
	отсчет		поправка		исправ. величина		отсчет		поправка		исправ. величина		отсчет		поправка		исправ. величина		отсчет		поправка		исправ. величина	
	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150
Сухой термометр (t)																								
Смоченный термометр (t')																								
t-t'																								
Δ e																								
Парциальное давление (e), гПа																								
Относитель-ная влажность (f), %																								
Недостаток насыщения (d), гПа																								
Точка росы (td),°C																								

Примечание. 20 и 150 – высота установки приборов, соответственно 20 и 150 см.

_____
(подпись наблюдателя)

Таблица 1а

Измерение температуры и влажности воздуха

Место наблюдений _____ Дата _____
Наблюдатель _____ Состояние погоды _____
Давление воздуха Р _____

Показатели	Участок-						Участок-						Участок-					
	1 срок		2 срок		3 срок		1 срок		2 срок		3 срок		1 срок		2 срок		3 срок	
	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20	150
Сухой термометр (t)																		
Смоченный термометр (t')																		
t-t'																		
Δ e																		
Парциальное давление (e), гПа																		
Относительная влажность (f), %																		
Недостаток насыщения (d) , гПа																		
Точка росы (td),оС																		

Примечание. 20 и 150 – уровни установки приборов соответственно на высоте 20 и 150 см.

_____
(подпись наблюдателя)

Таблица 2

Измерение температуры почвы

Место наблюдений _____ Дата _____
Наблюдатель _____
Экспозиция склона_____

Время
начала _____
окончания_____

Показатели	Вершина склона			Середина склона			Нижняя часть склона			Поле - равнина		
	отсчет	поправка	исправ. величина	отсчет	поправка	исправ. величина	отсчет	поправка	исправ. величина	отсчет	поправка	исправ. величина
Максимальный термометр: до встряхивания												
после встряхивания												
Минимальный термометр: спирт												
штифт												
Термометр-щуп (10 см)												
Максимальный термометр: до встряхивания												
после встряхивания												
Минимальный термометр: спирт												
штифт												
Термометр-щуп (10 см)												

_____

(подпись наблюдателя)

Таблица 2а

Измерение температуры почвы

Место наблюдений _____ Дата _____
Наблюдатель _____
Экспозиция склона _____ Время
начала _____
окончания _____

Показатели термометров	Участок -			Участок -			Участок -		
	1 срок	2 срок	3 срок	1 срок	2 срок	3 срок	1 срок	2 срок	3 срок
Максимальный термометр: до встряхивания									
после встряхивания									
Минимальный термометр: спирт									
штифт									
Термометр-щуп (10 см)									
Максимальный термометр: до встряхивания									
после встряхивания									
Минимальный термометр: спирт									
штифт									
Термометр-щуп (10 см)									

_____
(подпись наблюдателя)

Таблица 3

Измерение скорости ветра

Место наблюдений _____ Дата _____
Наблюдатель _____ Экспозиция склона _____

Элемент рельефа	Отсчет		Разность K_2-K_1	Количество секунд	Делений счетчика, 1 сек.	Скорость ветра, м/сек.	Средняя скорость ветра, м/сек.
	K_1	K_2					
Вершина склона							
Середина склона							
Нижняя часть склона							
Поле (равнина)							

_____
(подпись наблюдателя)

Таблица 3а

Измерение скорости ветра

Место наблюдений _____ Дата _____
Наблюдатель _____

Наименование участка и время отсчета	Срок наблюдений	Отсчеты		Разность $К_2$-$К_1$	Количество секунд	Деление счетчика, в 1 сек.	Скорость ветра, м/сек.	Средняя скорость ветра, м/сек.
		$К_1$	$К_2$					
Участок -	1.							
	2.							
	3.							
Участок -	1.							
	2.							
	3.							
Участок -	1.							
	2.							
	3.							

_____
(подпись наблюдателя)

Таблица 4

Измерение солнечной радиации

Место наблюдений _____ Дата и время _____
Наблюдатель _____

Высота установки (агрофон)	Нулевое положение стрелки гальванометра			Суммарная радиация (Q)			Отраженная радиация ($R_к$)		
	N_0'	N_0''	$\frac{N_0' + N_0''}{2}$	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6

Вычисления:

Суммарная радиация (Q)			Отраженная радиация ($R_к$)		
Величина			Величина		
$\frac{N_1 + N_2 + N_3}{3}$			$\frac{N_4 + N_5 + N_6}{3}$		
$\pm \Delta N$			$\pm \Delta N$		
$\frac{N_0' + N_0''}{2}$			$\frac{N_0' + N_0''}{2}$		
Сумма			Сумма		

Радиация, Вт/м²

Величина	Высота установки (агрофон)	
Отраженная радиация ($R_к$)		
Суммарная радиация (Q)		
Альбедо, $A = (R_к / Q) \times 100\%$		

_____
(подпись наблюдателя)

Таблица 5

Сводная таблица

Вид наблюдений	Время (час.), экспозиция склона	Высота установки прибора (см)	Вершина склона	Середина склона	Нижняя часть склона	Поле (равнина)	отклонения		
							вершина низина	вершина поле	низина поле
Температура воздуха	10-11 Север	150	13,6		14,4	13,4	-0,8	0,2	1,0
		20	13,2		14,0	13,2	-0,8	0,0	0,8
			0,4		0,4	0,2			
	13-14 Юг	150	13,1		13,6	13,4	-0,5	-0,3	0,2
		20	13,4		13,6	13,2	-0,2	0,2	0,4
			-0,3		0,0	0,2			
Относительная влажность воздуха (%)	10-11 Север	150	72		71	76	1	-4	-5
		20	77		75	77	2	0,0	-2
			-5		-4	-1			
	13-14 Юг	150	77		80	68	-3	9	12
		20	80		81	73	-1	1	8
			-3		-1	-5			
Дефицит влажности воздуха	10-11 Север	150	4,4		4,8	3,7	-0,4	0,7	1,1
		20	3,5		4,1	3,5	-0,6	0	0,6
			0,9		0,7	0,2			
	13-14 Юг	150	3,5		3,2	5,0	0,3	-1,5	-1,8
		20	3,2		3,0	4,2	0,2	-1	-1,2
			0,3		0,2	0,8			
Максимальная температура	10-11 Север	На поверхности почвы	14,3		26	23	-11,7	-8,7	3
			13,2		13,5	15	-0,3	-1,8	-1,5
	13-14 Юг	«	16		15,2	14,5	0,8	1,5	0,7
			14		14,6	13,8	-0,6	0,2	0,8

Окончание табл. 5

Вид наблюдений	Время (час.), экспозиция склона	Высота установки прибора (см)	Вершина склона	Середина склона	Нижняя часть склона	Поле (равнина)	отклонения		
							вершина низина	вершина поле	низина поле
Минимальная температура	10-11 Север	«	13		11,9	12,1	1,1	0,9	-0,2
			13		6,9	6,8	6,1	6,2	0,1
	13-14 Юг	«	13,2		14,1	13,7	-0,9	-0,5	0,4
			12,4		14,8	14,2	-2,4	-1,8	0,6
Температура почвы	10-11 Север	На глубине 10 см	13,9		12,4	14,5	1,5	-0,6	-2,1
	13-14 Юг	«	14,5		13	15,5	1,5	-1	-2,5
Скорость ветра	10-11 Север	150	4,2		3,1	3,8	1,1	0,4	-0,7
	13-14 Юг	150	2,7		1,9	3,5	0,8	-0,8	-1,6
Альбедо (%)	10-11 Север								
	13-14 Юг								
$\Delta t = t_{поле} - t_{лес}$	10-11 Север								
	13-14 Юг								

(подпись наблюдателя)

Агрометеорологические термины

Агрометеорологический бюллетень — периодическое издание, содержащее анализ и оценку сложившихся агрометеорологических условий за сутки, неделю, декаду, месяц, сезон.

Агрометеорологическая информация — сведения о сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условиях, определяющих рост, развитие, формирование урожая сельскохозяйственных культур.

Агрометеорологические наблюдения — параллельные наблюдения за метеорологическими элементами, ростом и развитием сельскохозяйственных растений, состоянием почвы и проводимыми агротехническими мероприятиями.

Агрометеорологический мониторинг — система непрерывных агрометеорологических наблюдений.

Агрометеорологический элемент — величина, характеризующая среду обитания и состояние сельскохозяйственных растений.

Агрометеорологические условия — сочетания агрометеорологических элементов в определенные интервалы времени.

Агрометеорологический показатель — количественное выражение агрометеорологических условий, характеризующих потребности сельскохозяйственных растений.

Агрометеорологический прогноз — научно обоснованное предположение о влиянии ожидаемых агрометеорологических условий на состояние и продуктивность сельскохозяйственных растений.

Агроклиматическое районирование — деление территории по признаку сходства и различия агроклиматических условий.

Агроклиматические ресурсы — совокупность агроклиматических условий, определяющих величину получаемой сельскохозяйственной продукции на конкретной территории.

Агроклиматические условия — многолетний режим агрометеорологических факторов.

Беззаморозковый период — количество дней от последнего весеннего до первого осеннего заморозка в воздухе или на поверхности почвы.

Биоклиматический потенциал — комплексный показатель, характеризующий биологическую продуктивность земли и учитывающий климатические, почвенные и другие параметры территории.

Биологический минимум температуры — минимальное значение температуры воздуха (почвы), при котором начинается вегетация сельскохозяйственных растений.

Влажность устойчивого завядания — количество воды в почве, при котором появляются необратимые признаки завядания растений.

Гидрометеорологический элемент — измеряемая физико-химическая величина, характеристика состояния или процесс в атмосфере, гидросфере, почве.

Заморозок — понижение температуры в приземном слое воздуха, на поверхности почвы или растений до 0°С и ниже, наблюдаемое в вегетационный период при положительной средней суточной температуре воздуха.

Запас продуктивной влаги в почве — количество воды, выраженное в миллиметрах водного слоя, содержащееся в определенном слое почвы сверх влажности устойчивого завядания.

Засуха атмосферная — состояние атмосферы, характеризующееся недостаточным выпадением осадков, высокой температурой и пониженной влажностью, приводящее к образованию почвенной засухи.

Засуха почвенная — иссушение почвы, влекущее за собой недостаточную обеспеченность растений водой.

Капиллярная влагоемкость почвы — максимальное количество влаги, удерживаемое почвой над уровнем грунтовых вод капиллярными (менисковыми) силами.

Корка ледяная висячая — слой льда на поверхности почвы, под которым находится вода или воздух.

Корка ледяная притертая — слой льда, образовавшийся в результате замерзания воды, застоявшейся на почве, плотно прилегающий к ней, смерзшийся в одно целое с верхним переувлажненным слоем почвы.

Коэффициент увлажнения – отношение приходной части водного баланса к величине испаряемости за тот же период.

Микроклимат — климат небольшой территории или ее части, формирующийся под воздействием рельефа местности, режима освещенности, характера подстилающей поверхности (почвы, растительного покрова, близости водоема, застройки и т.д.).

Наименьшая влагоемкость почвы — максимальное количество капиллярно-подвешенной влаги или максимальное количество воды, фактически удерживаемое почвой в природных условиях в состоянии равновесия, когда нет испарения и дополнительного притока воды.

Общий запас влаги в почве — суммарное количество воды, содержащееся в определенном слое почвы.

Объемная масса почвы — масса единицы объема сухой почвы ненарушенного сложения.

Оттепель — повышение максимальной температуры воздуха выше 0,0°С зимой на фоне ранее установившихся отрицательных температур.

Продукционный процесс — совокупность взаимосвязанных процессов в растении, в ходе которых происходит формирование урожая.

Прогноз урожайности — предсказание ожидаемой величины урожайности сельскохозяйственных культур или пастбищной растительности (т/га) на основе научно обоснованных количественных связей.

Репрезентативность — характерность, показательность агрометеорологических данных состояния почвы, приземного слоя воздуха и растительного покрова для определенной территории.

Статистическая модель в агрометеорологии — математическое описание эмпирических и полуэмпирических зависимостей между агрометеорологическими условиями и характеристиками агроэкосистем.

Сумма активных температур — сумма средних суточных температур воздуха, превышающих биологический минимум температуры, установленный для определенного периода развития растения.

Сумма эффективных температур — сумма средних суточных температур воздуха или почвы, уменьшенных на величину биологического минимума температуры.

Суммарное испарение — испарение с деятельной поверхности включая транспирацию растительного покрова.

Суховей — ветер при высокой температуре и большом недостатке насыщения воздуха влагой, вызывающий угнетение или гибель растений.

Тепловой баланс деятельной поверхности — алгебрагическая сумма лучистой и тепловой энергии, получаемых и отдаваемых деятельной поверхностью за определенный интервал времени.

Фазы развития растений — последовательные этапы индивидуального развития растительных организмов от прорастания семени до отмирания растения, характеризующиеся определенными внешними (морфологическими) признаками.

Фотосинтетически активная радиация (ФАР) — энергетическая освещенность (радиация) в спектральной области 380-710 нм, используемая растениями в процессе фотосинтеза.

Фитоклимат — микроклимат растительного покрова и корнеобитаемого слоя почвы (фитоклимат поля, сада, древесно-кустарниковых насаждений и т.д.).

Эффективные осадки — количество выпавших на землю атмосферных осадков (мм), создающих в почве запасы продуктивной влаги.

Библиографический список

1. Агроклиматические ресурсы области: Серия областных региональных справочников. Л.: Гидрометеоиздат, 1970-1977.

2. Агроклиматический справочник: Серия областных и региональных справочников. Л.: Гидрометеоиздат, 1958-1961.

3. Агрометеорология XXI века: Материалы Международной научной конференции. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2009. 260 с.

4. Аристова О.И. Исследование влияния обычной и поверхностной обработок при склоновом земледелии на качественный состав органического вещества дерново-подзолистой почвы. Автореф. дисс. … канд. с.-х. наук: 06.01.15. М.: МСХА, 1998. 20 с.

5. Атлас запасов влаги под озимыми и ранними яровыми зерновыми культурами на Европейской части СССР. М., 1987. 76 с.

6. Батталов Ф.З. Сельскохозяйственная продуктивность климата для яровых зерновых культур. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 112 с.

7. Бедрицкий А.И., Коршунов А.А., Хандожко Л.А., Шаймарданов М.З. Климатическая система и обеспечение гидрометеорологической безопасности жизнедеятельности России // Всемирная конференция по изменению климата. М.: Труды, 2004. 624 с.

8. Белолюбцев А.И. Агроклиматическая оценка продуктивности фитоценозов на склоновых землях // Известия ТСХА. № 4. 2010. С. 31-40.

9. Белолюбцев А.И. Агроэкологические аспекты современного климата // Труды ГУ ВНИИСХМ, 2010. Вып. 37.

10. Белолюбцев А.И., Чебаненко С.И., Кочетов И.С. Особенности формирования поверхностного стока талых вод в условиях неустойчивых зим // Известия ТСХА. 1997. № 3. С. 48-57.

11. Вериго С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 327 с.

12. Вериго С.А. Методика составления прогноза запасов продуктивной влаги в почве и оценка влагообеспеченности зерновых культур // Сборник методических указаний по анализу и оценке агрометеорологических условий. Л.: Гидрометеоиздат, 1957. С. 143-164.

13. Гольцберг И.А. Агроклиматическая характеристика заморозков в СССР и методы борьбы с ними. Л.: Гидрометеоиздат, 1961. 198 с.

14. Гордеев А.В., Клещенко А.Д., Черняков Б.А., Сиротенко О.Д. Биоклиматический потенциал России: теория и практика. М.: Т-во научных изданий КМК, 2006. 512 с.

15. Грингоф И.Г., Попова В.В., Страшный В.Н. Агрометеорология. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 310 с.

16. Грингоф И.Г., Пасечнюк А.Д. Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения. СПб.:Гидрометеоиздат, 2005. 552 с.

17. Гулинова Н.В. Методы агроклиматической обработки. Л.: Гидрометеоиздат, 1974.

18. Давитая Ф.Ф. Прогноз обеспеченности теплом и некоторые проблемы сезонного развития природы. М.: Гидрометеоиздат, 1964. 131 с.

19. Жуков В.А., Полевой А.Н., Витченко А.Н., Даниелов С.А. Математические методы оценки агроклиматических ресурсов. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 207 с.

20. Зоидзе Е.К. О концепции сельскохозяйственной бонитировки климата в Российской Федерации // Метеорология и гидрология. № 6. 1993. С. 92-101.

21. Зоидзе Е.К., Овчаренко Л.И. Сравнительная оценка сельскохозяйственного потенциала климата территории РФ и степени использования ее агроклиматических ресурсов сельскохозяйственными культурами. СПб.: Гидрометеоиздат, 2000. 75 с.

22. Иванов А.Л. Проблема глобального проявления техногенеза и изменений климата в агропромышленной сфере // Всемирная конференция по изменению климата. М.: Труды, 2004.

23. Изменение климата: Комплект информационных карточек по изменению климата. ЮНЕП РКИКООН, 2003.

24. Исаев А.А. Экологическая климатология. 2-е изд. М.: Научный мир, 2003. 472 с.

25. Клещенко А.Д., Сиротенко О.Д., Черняков Б.А., Павлова В.Н. Оценка влияния изменений климата на продуктивность сельского хозяйства России: Сборник докладов Международной научно-практической конференции 7-11 декабря 2010 г. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2011. С. 39-46.

26. Колосков П.И. Биоклиматический потенциал и его распределение на территории СССР // Труды НИИАК. Вып. 15. 1962. С. 90-111.

27. Колосков П.И. Климатический фактор сельского хозяйства и агроклиматическое районирование. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. 328 с.

28. Коровин А.И. Осенне-весенние условия погоды и урожай озимых. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 160 с.

29. Куперман Ф.М. Биологические основы культуры пшеницы. М.: Изд-во МГУ, 1950. 199 с.

30. Куперман Ф.М. Морфофизиология растений. М.: Высшая школа, 1973. 255 с.

31. Лосев А.П., Журина Л.Л. Агрометеорология. М.: Колос, 2001. 301 с.

32. Лосев А.П. Практикум по агрометеорологическому обеспечению растениеводства. С.-Петербург: Гидрометеоиздат, 1994. 245 с.

33. Лосев К.С. Климат вчера, сегодня… и завтра? Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 176 с.

34. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 639 с.

35. Моисейчик В.А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. 298 с.

36. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 11. Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. Часть 1. 5-е изд. Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. М., 2000. 248 с.

37. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3 Ч. 1. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 301 с.

38. Научный анализ результатов «Всемирной конференции по изменению климата». Москва, 2004. 264 с.

39. Павлова М.Д. Практикум по агрометеорологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 184 с.

40. Пасечнюк Л.Е., Сенников В.А. Агроклиматическая оценка суховеев и продуктивность яровой пшеницы. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 128 с.

41. Подольский А.С. Фенологический прогноз. М.: Колос, 1974. 287 с.

42. Полевой А.Н. Сельскохозяйственная метеорология. С.-Петербург: Гидрометеоиздат, 1992. 424 с.

43. Руководство по агрометеорологическим прогнозам. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 309 с.

44. Сапожникова С.А. Опыт интегральной сельскохозяйственной оценки климата территории социалистических стран Европы // Агроклиматическое районирование пяти основных сель-скохозяйственных культур на территории социалистических стран Европы. София: Изд-во Болгарской АН, 1979. С. 99-120.

45. Сапожникова С.А. Принципы сельскохозяйственной бонитировки климата СССР // Труды Всесоюзного научного метеорологического совещания. Т. 8. Л.: Гидрометеоиздат, 1963. С. 3-10.

46. Сапожникова С.А., Бринкен Д.А. Метод оценки увлажнения территории социалистических стран Европы // Экспресс-информация ГМЦ СССР. Вып. 5 (10). 1970. С. 3-15.

47. Сапожникова С.А., Шашко Д.И. Агроклиматические условия размещения и специализации сельскохозяйственного производства // Материалы к III съезду географического общества. Доклады по проблеме природного районирования страны для целей сельского хозяйства. Л.: Гидрометеоиздат, 1959.

48. Сенников В.А., Ларин Л.Г., Белолюбцев А.И., Коровина Л.Н. Практикум по агрометеорологии. М.: КолосС, 2006. 215 с.

49. Сенников В.А., Ларин Л.Г., Россинская Т.М., Белолюбцев А.И. и др. Колебания и изменения климата Петровско-Разумовского за 125-летний период наблюдений // Известия ТСХА. 2005. Вып. 1. С. 141-146.

50. Сенников В.А., Сиротенко В.Г., Вольвач В.В. и др. Методы оценки агроклиматических ресурсов территории и агроклиматического районирования. Обнинск, 1971. 155 с.

51. Справочник агронома по сельскохозяйственной метеорологии / Под ред. И.Г. Грингофа. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 528 с.

52. Справочник по гидрометеорологическим приборам и установкам. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 432 с.

53. Стернзат М.С. Метеорологические приборы и измерения. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 392 с.

54. Толковый словарь по сельскохозяйственной метеорологии. – С.-Петербург: Гидрометиздат, 2002. 472 с.

55. Туманов И.И. Зимостойкость культурных растений. М.: Сельхозгиз, 1970. 365 с.

56. Уланова Е.С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы. Л.: Гидрометиздат, 1975. 302 с.

57. Уланова Е.С. Методы оценки агрометеорологических условий и прогнозов урожайности зерновых культур. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 53 с.

58. Уланова Е.С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. 302 с.

59. Федосеев А.П. Погода и эффективность удобрений. Л.: Гидрометеоиздат, 1985.

60. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология: Учебник. 4-е изд., перераб. и дополн. М.: Изд-во МГУ, 1994. 520 с.

61. Чирков Ю.И. Агрометеорология. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 293 с.

62. Шашко Д.И. Агроклиматические ресурсы СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 248 с.

63. Шашко Д.И. Агроклиматическое районирование СССР. М.: Колос, 1967. 336 с.

64. Шиголев А.А. Методика составления фенологических прогнозов // Сборник методических указаний по анализу и прогнозу агрометеорологических условий. Л.: Гидрометеоиздат, 1957. С. 5-18.

65. Шульгин А.М. Агрометеорология и климатология. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 200 с.

66. Шульгин А.М. Климат почвы и его регулирование. 2-е изд. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 341 с.

67. Шульгин А.М. Температурный режим почвы. Л.: Гидрометеоиздат, 1957. 242 с.

68. Шульгин И.А. Лучистая энергия и энергетический баланс растений. –М.: Изд-во МГУ, 2004. 141 с.

69. Шульгин И.А. Радиационные и физиологические параметры продуктивности агрофитоценозов. М.: Альтекс, 2002. 56 с.

70. Яковлев Н.Н. Климат и зимостойкость озимой пшеницы. Л.: Гидрометеоиздат, 1966. 419 с.

71. Янишевский Ю.Д. Актиполистрические приборы и методы наблюдений. Л.: Гидрометеоиздат, 1957. 416 с.

72. Alexandrov V.A., Hoogenboom G. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. Agric. For. Meteorol., 2000. 104. 315-327.

73. Belolyubtsev A.I. Agri-environmental effectiveness of techniques to protect soil from erosion in the context of global climate change // IZVESTIA of timiryzev-academy, 2009. P. 9. Special Issue.

74. IPCC. Climate change 2007: The Physical Science Basis. SummaryforPolicymakers. Geneva, 2007.

75. Kleschenko A.D. Agromrteorological applications for sustainable management of farming systems // CAgM report. N. 92. Geneva, Switzerland. 2004. P. 5-28.

76. Kleschenko A.D., Zoidze E.K., Boken V.K. Monitoring Agricultural Drought in Russia // Monitoring and Predicting Agricultural Drought. Oxford: University Press. 2005. P. 196-208.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
Глава 1. РЕСУРСНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ БИОКЛИМАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА АГРОЭКОСИСТЕМ 5
1.1. Биоклиматический потенциал природной среды: понятия, методы, определения 5
1.2. Оценка термических ресурсов и теплообеспеченности сельскохозяйственных культур 13
1.3. Оценка условий увлажнения (ресурсов влаги) и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур 23
Контрольные вопросы 36
Глава 2. ВЛИЯНИЕ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА БИОКЛИМАТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ АГРОЭКОСИСТЕМ 37
2.1. Неблагоприятные агроклиматические явления теплого периода года 37
2.1.1. Заморозки 37
2.1.2. Засухи и суховеи 41
2.2. Неблагоприятные агроклиматические явления холодного периода года 44
2.2.1. Оценка (районирование) территорий по условиям перезимовки сельскохозяйственных культур 51
2.3. Влияние неблагоприятных агроклиматических явлений на урожайность сельскохозяйственных культур 54
2.3.1. Оценка снижения урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от неблагоприятных агроклиматических условий на территории РФ 54
2.3.2. Агроклиматическая оценка состояния и продуктивности зимующих сельскохозяйственных культур 58
Контрольные вопросы 64
Глава 3. СОВРЕМЕННЫЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ И АДАПТИВНЫЕ МЕРЫ В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА 65

3.1. Современное представление о климате. Климатическая система и условия ее формирования 65
3.2. Современные изменения и колебания климата. Глобальное потепление, причины и прогнозы на будущее. Адаптация сельского хозяйства к меняющемуся климату 72
3.2.1. Природа парникового эффекта 77
3.2.2. Парниковые газы и аэрозоли 79
3.2.3. Адаптация к изменению климата 82
3.2.4. Сельское хозяйство и продовольственная безопасность 86
3.2.5. Агроэкологические аспекты использования агроландшафтов с учетом современных климатических рисков 89
3.3. Микроклимат и его роль в конструировании адаптивных агроценозов и агроэкосистем 96
3.3.1. Роль микроклимата в функционировании эрозионно-опасных агроландшафтов 101
Контрольные вопросы 108
Глава 4. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ БИОКЛИМАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА АГРОЭКОСИСТЕМ И ОБРАБОТКИ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ 109
4.1. Агроклиматическая характеристика района (Самостоятельная работа) 109
4.2. Оценка агрометеорологических условий года (Самостоятельная работа) 115
4.3. Микроклиматические наблюдения 128
Контрольные вопросы 138
ПРИЛОЖЕНИЯ 139
АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕРМИНЫ 148
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 151

Учебное издание

Белолюбцев Александр Иванович
Сенников Валентин Алексеевич

БИОКЛИМАТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ АГРОЭКОСИСТЕМ

Учебное пособие

Редактор *В.И. Марковская*
Компьютерная верстка, оригинал-макет – *А.С. Лаврова*
Обложка – *Н.В. Савина*



00004532

Подписано в печать 24.04.2012 г. Формат 60×84 $^{1}/_{16}$
Усл. печ. л. 9,3. Уч.-изд. л. 9,6. Усл. кр.-отт. 9,78.
Тираж 100 экз. Изд. № 40. Зак. 184.

Издательство РГАУ-МСХА
127550, Москва, Тимирязевская ул., 44
Тел.: 977-00-12, 977-26-90, 977-40-64