

Министерство образования и науки Украины
Одесский государственный экологический университет

З.А. МИЩЕНКО

АГРОКЛИМАТОЛОГИЯ

Учебник

Рекомендовано

Министерством образования и наук Украины как учебник для
студентов высших учебных заведений, которые обучаются по
направлению «Гидрометеорология»

511390-TEMPUS-1-2010-1-SK-TEMPUS-JPCR

Одесса, 2006

Мищенко З.А. Агроклиматология. – Одесса, 2006. –с.540.

Учебник «Агроклиматология» издается впервые. В книге излагаются принципы сельскохозяйственной оценки климата и методы агроклиматической обработки многолетних наблюдений. Рассмотрен радиационный и тепловой баланс как энергетический механизм формирования сельскохозяйственного климата в различных регионах. Излагаются методы определения агроклиматических показателей, имеющих значение для роста, развития и продуктивности сельскохозяйственных культур. Освещаются лимитирующие факторы климата и их влияние на жизнедеятельность растений. Особое внимание уделено оценке агроклиматических ресурсов применительно к сельскохозяйственному производству. Излагаются методы картирования и агроклиматического районирования на территориях разного масштаба (мира, стран СНГ, административных областей и районов). Рассматривается оценка возможных агроклиматических ресурсов в связи с изменением глобального климата Земли.

Книга предназначена в качестве учебника для студентов, магистров и аспирантов гидрометеорологических вузов и государственных университетов, а также для специалистов, работающих в области сельскохозяйственной метеорологии, экологии и сельского хозяйства.

Рецензенты:

доктор географических наук, профессор А.А. Светличный (Одесский национальный университет им.В.В. Мечникова);

доктор сельскохозяйственных наук, профессор В.Я. Щербаков (Одесский государственный аграрный университет);

кандидат географических наук, доцент Г.В. Ляшенко (Национальный научный центр «Институт виноградарства и виноделия им. В.Е. Таирова»).

Издание подготовлено в рамках проекта 511390-TEMPUS-1-2010-1-SK-TEMPUS-JPCR «Система управления для учебных программ, связанных с изучением окружающей среды».

Проект финансируется при поддержке Европейской Комиссии. Содержание данной публикации является предметом ответственности автора и не отражает точку зрения Европейской Комиссии.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

ВВЕДЕНИЕ

В.1 Определение предмета и задач агроклиматологии

В.2 Связь агроклиматологии с другими науками

В.3 Агроклиматология и её хозяйственное значение

В.4 Краткий очерк истории развития агроклиматологии.....

РАЗДЕЛ 1 ПРИНЦИПЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ КЛИМАТА И МЕТОДЫ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НАБЛЮДЕНИЙ

Глава 1 ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ,
НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ЖИЗНИ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

1.1 Климатические факторы, необходимые для жизни
растений

1.2 Классификации культурных растений по их требованиям к
климату

1.3 Агроклиматические показатели и методы их определения..

1.4 Принципы и этапы сельскохозяйственной оценки климата..

Глава 2 МЕТОДЫ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
МНОГОЛЕТНИХ МАТЕРИАЛОВ НАБЛЮДЕНИЙ

2.1 Общие вопросы агроклиматической обработки наблюдений.

2.2 Основные виды климатических и агроклиматических
характеристик

2.3 Методы агроклиматической обработки метеорологических
и агрометеорологических рядов

2.4 Специфика обработки наблюдений за влажностью
промерзанием и оттаиванием почвы

2.5 Специфика обработки фенологических наблюдений

2.5.1 Контроль и обработка фенологических наблюдений за
озимыми культурами

2.5.2 Контроль и обработка фенологических наблюдений за
древесной растительностью

2.5.3 Расчет вероятности наступления фенологических фаз в
отдельные годы

РАЗДЕЛ II МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ АГРОКЛИМАТИ- ЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ТЕРРИТОРИИ.....

Глава 3	ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ТЕРРИТОРИЙ.....
3.1	Радиационный баланс подстилающей поверхности и его географическая изменчивость
3.2	Методы оценки радиационно-световых ресурсов территорий
3.3	Закономерности формирования теплового баланса земной поверхности и географическая зональность
Глава 4	МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТЕРМИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПО СРЕДНЕЙ СУТОЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ВОЗДУХА
4.1	Основные показатели термических ресурсов и методы их расчетов
4.2	Потребность растений в тепле и оценка тепловых ресурсов по температуре воздуха
4.3	Вероятностная характеристика показателей термических ресурсов и оценка теплообеспеченности растений
Глава 5	МЕТОДЫ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА И ТЕРМИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ДНЯ И НОЧИ
5.1	Суточный ход температуры воздуха и термопериодизм растений
5.2	Методы расчетов показателей теплового режима дня и ночи
5.3	Агроклиматическая оценка тепловых ресурсов дня и ночи на территории СНГ
5.4	Оценка теплообеспеченности культурных растений по суммам дневных и ночных температур воздуха
Глава 6.	АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ДЕЯТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, РАСТЕНИЙ И ПОЧВЫ
6.1	Сравнительная оценка методов определения температуры деятельной поверхности в суточном ходе
6.2	Методы климатологических расчетов и поля радиационного нагрева деятельной поверхности днем
6.3	Оценка тепловых ресурсов территории по дневной температуре деятельной поверхности
6.4	Оценка термического режима и тепловых ресурсов по температуре почвы
Глава 7	МЕТОДЫ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ РЕСУРСОВ ВЛАГИ И ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ.....

- 7.1 Оценка влагообеспеченности растений по количеству осадков
- 7.2 Оценка влагообеспеченности растений по эмпирическим методам
- 7.3 Оценка влагообеспеченности растений по теоретическим методам
- 7.4 Оценка влагообеспеченности растений по условным показателям увлажнения
- 7.5 Оценка влагообеспеченности растений по влагозапасам в почве

РАЗДЕЛ III ЛИМИТИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ КЛИМАТА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ.....

Глава 8 МЕТОДЫ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ МОРОЗООПАСНОСТИ ДЛЯ ЗИМУЮЩИХ КУЛЬТУР.....

- 8.1 Опасные агрометеорологические условия перезимовки сельскохозяйственных культур.....
- 8.2 Зимостойкость и морозостойкость растений
- 8.3 Агроклиматическая оценка условий морозоопасности применительно к территории СНГ.....
 - 8.3.1 Вымерзание.....
 - 8.3.2 Ледяная корка.....
- 8.4 Снежный покров и его влияние на условия перезимовки растений.....
- 8.5 Комплексные показатели условий перезимовки растений ...

Глава 9 МЕТОДЫ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ЗАМОРОЗКООПАСНОСТИ ВЕСНОЙ И ОСЕНЬЮ.....

- 9.1 Типы заморозков и условия их возникновения.....
- 9.2 Заморозки и сельскохозяйственные культуры.....
- 9.3 Агроклиматические показатели заморозков и их географическая изменчивость на территории СНГ.....
- 9.4 Вероятностная оценка показателей заморозкоопасности.....
 - 9.4.1 Вероятность заморозков
 - 9.4.2 Опасные заморозки на территории СНГ.....
- 9.5 Региональная оценка и агроклиматическое районирование показателей заморозков на ограниченной территории.....

Глава 10	АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАСУХ, СУХОВЕЕВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА УРОЖАЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР.....
10.1	Общие сведения о засухах и их типах.....
10.2	Агроклиматические показатели засух и методы их расчетов.....
10.3	Вероятностная оценка засух на территории СНГ.....
10.4	Агроклиматические показатели суховеев и методы их расчетов.....

РАЗДЕЛ IV МЕТОДЫ ОЦЕНКИ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМУ ПРОИЗВОДСТВУ....

Глава 11	ОЦЕНКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО БОНИТЕТА КЛИМАТА И БИОКЛИМАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕРРИТОРИИ
11.1	Общие сведения.....
11.2	Методы оценки сельскохозяйственного бонитета климата и его географическая изменчивость.....
11.3	Сравнительная оценка земель по биоклиматическому потенциалу на территории СНГ и континентах Мира.....
11.4	Региональная оценка биоклиматического потенциала на территории Украины.....
Глава 12	АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ ОДНОЛЕТНИХ И МНОГОЛЕТНИХ КУЛЬТУР.....
12.1	Урожайность как важный агроклиматический показатель условий произрастания растений.....
12.2	Статистические связи урожайности культурных растений с климатическими факторами.....
12.3	Физико-статистические модели «Климат – урожай» различной сложности.....
12.4	Агроклиматическая оценка урожаев разного вида на основе моделирования
Глава 13	АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА УРОЖАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР.....
13.1	Климат и химизм растений.....
13.2	Оценка влияния климата на качество урожая зерновых культур.....

- 13.3 Оценка влияния климата на качество урожая технических культур.....
- 13.4 Оценка влияния климата на качество урожая винограда и ряда субтропических культур.....

Глава 14 ОЦЕНКА АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ ПАСТБИЩНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И СЕЯНЫХ ТРАВ.....

- 14.1 Климат и географическое распределение трав в различных регионах СНГ.....
- 14.2 Требования трав к климатическим условиям.....
- 14.3 Агроклиматическая оценка и районирование территории, применительно к естественной пастбищной растительности
- 14.4 Агроклиматическая оценка условий произрастания сеяных трав и их продуктивности.....

Глава 15 ВЛИЯНИЕ КЛИМАТА НА ПОЯВЛЕНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ БОЛЕЗНЕЙ И ВРЕДИТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР.....

- 15.1 Роль климатических факторов на развитие и размножение вредоносной биоты.....
- 15.2 Агроклиматическая оценка распространения и вредоносности болезней культурных растений.....
- 15.3 Агроклиматическая оценка вредоносности насекомых - вредителей на территории СНГ.....

РАЗДЕЛ V МЕТОДЫ КАРТИРОВАНИЯ И АГРОКЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИЯХ РАЗНОГО МАСШТАБА.....

Глава 16 РАЗНОМАСШТАБНОЕ КАРТИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ.....

- 16.1 Методы пространственного обобщения агроклиматической информации. Виды и масштабы карт.....
- 16.2 Методика составления мелкомасштабных агроклиматических карт.....
- 16.3 Составление фоновых агроклиматических карт с учетом микроклимата.....
- 16.4 Картирование агроклиматических показателей в среднем масштабе.....

ГЛАВА 17	ОБЩЕЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ МИРА, КОНТИНЕНТОВ И СТРАН.....
17.1	Общие вопросы теории и методики агроклиматического районирования.....
17.2	Агроклиматическое районирование Мира и континентов.....
17.3	Мировые агроклиматические аналоги.....
17.4	Общее агроклиматическое районирование территорий СНГ и стран Балтии.....
ГЛАВА 18	СПЕЦИАЛЬНОЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ОТДЕЛЬНЫМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ КУЛЬТУРАМ.....
18.1	Агроклиматическое районирование яровой и озимой пшеницы.....
18.2	Агроклиматическое районирование кукурузы.....
18.3	Агроклиматическое районирование винограда в разном масштабе.....
18.4	Агроклиматическое районирование картофеля.....
18.5	Агроклиматическое районирование сахарной свеклы....
18.6	Агроклиматическое районирование подсолнечника.....
ГЛАВА 19	АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ОГРАНИЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В СРЕДНЕМ И КРУПНОМ МАСШТАБЕ.....
19.1	Специфика агроклиматического районирования ограниченных территорий.....
19.2	Среднемасштабное районирование агроклиматических ресурсов в пределах небольшой страны, административной области.....
19.3	Опыт агроклиматического и микроклиматического районирования ограниченных территорий.....
19.4	Крупномасштабное агроклиматическое районирование территорий отдельных хозяйств с учетом микроклимата.....
ГЛАВА 20	ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В ВСЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА ЗЕМЛИ.....
20.1	Анализ современных сценариев изменения глобального климата.....
20.2	Оценка агроклиматических ресурсов на территории России при глобальном потеплении.....

20.3	Региональная оценка возможных агроклиматических ресурсов в связи с изменением климата на территории Молдовы и Украины.....
20.4	Оценка влияния изменения климата на продуктивность озимой пшеницы в Украине.....

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.....
ОГЛАВЛЕНИЕ.....

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий учебник составлен в соответствии с утвержденной программой курса “Агроклиматология”, читаемого в Одесском государственном экологическом университете. Этот университет является единственным высшим учебным заведением не только в Украине, но и в ближнем и дальнем зарубежье, которое ведет подготовку инженеров-агрометеорологов. Агроклиматология является одной из основных дисциплин, изучение которой необходимо при подготовке специалистов такого профиля. Однако этот учебник может использоваться и для изучения курса “Агроклиматология” на географических факультетах, имеющих специализацию “Метеорология”. Он может быть использован не только студентами, магистрами, но и аспирантами.

Предшествующее издание не учебника, а учебного пособия “Агроклиматология” относится к 1973 году. Последние десятилетия характеризуются бурным развитием агроклиматологии, а, также сопутствующих областей знаний, завершающихся изданием десятков научных монографий и агроклиматических атласов. Это объясняется возросшим влиянием окружающей среды, в том числе климата, и антропогенных процессов в ней на сельскохозяйственное производство и жизнедеятельность человеческого общества, а также растущим осознанием ограниченности природных ресурсов и необходимости их сохранения. Как следствие получили дальнейшее развитие многие разделы “Агроклиматологии”, а также создан ряд новых научных направлений.

Учебник “Основы агроклиматологии” издается впервые. В нем содержится пять разделов и 20 глав, охватывающие современные достижения мировой науки в этой области знаний. Введены новые разделы и главы. Существенно переработаны, пополнены или упразднены главы, содержащиеся в предыдущем учебном пособии. В книге излагаются принципы сельскохозяйственной оценки климата и методы агроклиматической обработки многолетних наблюдений. Рассмотрен радиационный и тепловой баланс как энергетический механизм формирования сельскохозяйственного климата в различных регионах СНГ, в том числе в Украине. Излагаются методы определения агроклиматических показателей тепло и влагообеспеченности культурных растений для оценки агроклиматических ресурсов территории. Подробно освещены лимитирующие факторы климата и их влияние на жизнедеятельность растений. Особое внимание уделено оценке агроклиматических ресурсов применительно к сельскохозяйственному производству. Подробно излагаются методы картирования и агроклиматического районирования применительно к территориям разного масштаба и отдельным культурам. Освещаются вопросы, связанные с

оценкой возможных агроклиматических ресурсов в связи с изменением глобального климата Земли.

Книга предназначена в качестве учебника для студентов экологического университета, гидрометеорологического института и географических факультетов университетов, а также для аспирантов и специалистов, работающих в области агрометеорологии, экологии, биологии и сельского хозяйства.

Появлению учебника способствовало доброжелательное внимание и одобрение работы над ним со стороны сотрудников кафедры агрометеорологии и агрометеорологических прогнозов Одесского государственного экологического университета, прежде всего проф. Полевого А.Н. Всех их автор искренне благодарит.

Глубокую признательность автор выражает рецензентам: проф. А.А. Светличному, проф. В.Я. Щербакову и доценту Г.В. Ляшенко за просмотр рукописи и ряд полезных критических замечаний, способствующих её улучшению.

ВВЕДЕНИЕ

В.1 Определение предмета и задач агроклиматологии

В мировой флоре и фауне зарегистрированы сотни тысяч видов растений и животных, но лишь несколько сотен из них используются человеком для производства основных видов продовольствия. Зависимость удовлетворения потребностей человека в продовольствии от относительно узкого видового набора сельскохозяйственных растений и животных повышает зависимость сельского хозяйства от экстремальных условий погоды, развития сельскохозяйственных вредителей и болезней. Всё возрастающее население нашей планеты не только требует увеличения продуктов питания, но и само увеличивает антропогенное давление на природу, её экологические системы, получение продовольствия является функцией сложившихся природных условий, освоенных технологий производства и принятой в каждой стране социально-экономической и политической системы распределения продуктов питания.

Важнейшими задачами в проблеме питания населения стран СНГ и повышения его благосостояния является существенное увеличение производства зерна, коренное улучшение кормопроизводства и развитие на этой основе животноводства. Увеличение продукции разных отраслей сельского хозяйства может быть достигнуто, в первую очередь, за счёт внедрения высокопродуктивных сортов, широкой механизации всех работ, мелиорации земель применения удобрений, гербицидов и других научно-обоснованных приемов земледелия.

Наряду с вышеуказанным, необходимым условием повышения урожайности и качества сельскохозяйственной продукции является правильная оценка и рациональное использование всех природных ресурсов территории, среди которых климату принадлежит ведущее место. Академик Н.И. Вавилов, писал: «Климатические факторы в нашей стране, взятой в целом, являются определяющими в проблеме урожайности. Они сильнее экономики, сильнее техники». В век научно-технического прогресса зависимость основных отраслей народного хозяйства от климата не уменьшилась, а в абсолютном выражении даже возросла.. Особенно велика и очевидна зависимость сельского хозяйства от климата.

Несмотря на рост культуры земледелия, колебание урожайности находится в зависимости от погодных условий, являясь реальностью для земледелия всего мира. Дело в том, что влияние агрометеорологических условий наиболее резко сказывается на новых высокопродуктивных сортах и гибридах, имеющих более высокий уровень обмена веществ и энергии. Интенсивные сорта культурных растений обладают повышенной

чувствительностью к условиям среды и нуждаются в максимальной оптимизации водного, теплового и пищевого режимов.

Климатические ресурсы в отличие от других абиотических факторов среды, обладают одним замечательным свойством – они восстанавливаются непрерывно или почти непрерывно (свет, тепло, влага, ветер и др.). Можно смело утверждать, что ни одно другое мероприятие, кроме орошения, не дает такой прибавки урожая, как оптимальное соотношение нешаблонных элементов земледелия, пригнанное к климатическим условиям года. Определение этого соотношения возможно уже сейчас и это составляет обширную область агроклиматических исследований на современном этапе развития агроклиматологии.

Агроклиматология – это наука, изучающая климатические и гидрометеорологические условия в их взаимной связи с объектами и процессами сельскохозяйственного производства. Таким образом, предметом изучения агроклиматологии является климат применительно к запросам сельского хозяйства. Философской основой агроклиматических исследований является метод познания жизни, рассматривающий организм и среду как диалектическое единство, и требующий поэтому изучения растительных и животных объектов в их непрерывной связи с внешними условиями среды.

Исходя из вышеизложенного, можно сформулировать основные задачи агроклиматологии:

- 1) выявление климатических особенностей территории в целях наиболее рационального размещения объектов сельскохозяйственного производства;
- 2) изучение требований видов и сортов сельскохозяйственных культур к климату и разработка методов разномасштабного агроклиматического районирования территорий;
- 3) изучение климатов с региональным походом с целью их возможного улучшения для сельскохозяйственного производства (орошение и осушение земель, лесонасаждения, пескование, мульчирование почв и др.);
- 4) агроклиматическое обоснование способов и приемов агротехники, условий работы сельскохозяйственных машин;
- 5) климатическое обоснование распространения вредителей и болезней сельскохозяйственных культур и мер борьбы с ними;
- 6) изучение влияния колебаний глобального климата на изменение агроклиматических ресурсов к 2010, 2025 гг.

В.2 Связь агроклиматологии с другими науками

Агроклиматология стоит на стыке географических, геофизических и биологических наук. Поэтому она тесно связана с ними, использует их достижения и методы исследований. Вместе с тем агроклиматология, являясь прикладной наукой, сохраняет свою самостоятельность как по объектам, так и методам исследований. Наиболее близко эта наука соприкасается с агрометеорологией и климатологией. Общим для агроклиматологии и агрометеорологии являются объекты сельскохозяйственного производства и применяемы при этом показатели тепла и влаги, а также опасных явлений погоды. В качестве исходной информации используются данные наблюдений стандартной сети актинометрических, метеорологических и агрометеорологических станций. Основные отличия агроклиматологии от агрометеорологии заключаются в следующем. В агроклиматологии применяются в основном средние многолетние характеристики климата для оценки тепло и влагообеспеченности растений и конечной целью является агроклиматическое районирование территории для научного обоснования рационального размещения сельскохозяйственных культур. В агрометеорологии применяются показатели условий произрастания растений по периодам вегетации за отдельные годы. При этом преследуются две цели: оценка агрометеорологических условий произрастания культурных растений в конкретном году; разработка методов агрометеорологических прогнозов и урожайности.

Имея много общего с климатологией в методах обработки исходной метеорологической информации и картографирования показателей климата, агроклиматология сохраняет свою специфику исследований. Объектом исследований климатологии является климат. Основное отличие агроклиматологии от климатологии заключается в том, что она изучает условия среды в тесной взаимосвязи с условиями жизни растительных и животных организмов.

Основными методами исследований в агроклиматологии являются:

- а) агроклиматические расчеты и обобщения по данным сети метеорологических и агрометеорологических станций за многолетний период наблюдений;
- б) экспериментальные исследования в фитотронах и на полигонах в естественных условиях путем проведения сопряженных микроклиматических и биоэкологических наблюдений;
- в) картографирование агроклиматических показателей, их комплексов и районирование территорий в разном масштабе.

Реализация этих методов осуществляется с широким применением методов математической статистики с выходом на ЭВМ, а также на основе

физико-статистического моделирования продуктивности культурных растений по агроклиматическим показателям.

В.3 Агроклиматология и её хозяйственное значение

Вся производственная деятельность людей в сельском хозяйстве существенно зависит от климата. Например, приемы обработки почвы, сроки сева, применение паровых и непаровых предшественников, занятого пара, возможность использования пожнивного периода для получения второго урожая, необходимость мероприятий по сохранению влаги, применение удобрений, производительность машин и т.д. определяются климатическими особенностями района.

Агроклиматические исследования позволяют дать научное обоснование рационального размещения культур и их сортов с учетом различных почвенно-климатических условий, выявления потенциальных возможностей климата в связи с продуктивностью сельскохозяйственных культур. Агроклиматические разработки приобретают большое значение при обосновании мер борьбы с опасными метеорологическими явлениями и при защите растений от болезней и вредителей.

В пределах СНГ на больших площадях осуществляются мелиоративные мероприятия. Так, орошение, осушение, лесонасаждение, снегозадержание и другие мероприятия улучшают термический режим воздуха и почвы, условия увлажнения и т.д. Таким образом, направленная производственная деятельность человека влияет на местный климат в сторону его улучшения. Однако для повышения эффективности мелиоративных мероприятий необходимо агроклиматическое обоснование.

Сельскохозяйственное производство нередко называют «цехом под открытым небом», так как основная масса его продукции создается непосредственно в природных условиях. Сельское хозяйство во всех странах Мира занимает наибольшие площади земли по сравнению с другими отраслями народного хозяйства. Поэтому просчеты в использовании неполной или неточно агроклиматической информации оборачиваются громадными убытками.

Не случайно, в этой связи, в Женеве в феврале 1979 года на Всемирной конференции по климату [24] отмечалось, что прогресс в сельском хозяйстве в грядущие десятилетия до 2010-2030 гг. и далее будет определяться научно-технической революцией не столько в области биологии и техники, сколько в области совершенствования способов получения информации о климате и её эффективном использовании.

Климат определяет успешность возделывания культур и их географическое распространение. Он влияет на рост, развитие, продуктивность растений и животных, а также на производственную деятельность в сельском хозяйстве. Ни одно серьезное мероприятие в сельском хозяйстве не может обойтись без соответствующего учета климатических условий, иначе народному хозяйству любой страны может быть нанесен значительный ущерб.

В.4 Краткий очерк истории развития агроклиматологии

Возникновение агроклиматологии связано именами крупных ученых – климатолога А.И. Воейкова (1842-1916 гг.) и основоположника сельскохозяйственной метеорологии П.И. Броунова (1852-1927 гг.), Основателем агроклиматологии как науки является академик А.И. Воейков, исследования которого в области метеорологии, климатологии, географии, агроклиматологии, курортной климатологии широко известны в мировой науке. Воейков за полувековую деятельность опубликовал около двух тысяч работ, в которых обобщены наблюдения многих авторов и его собственные наблюдения, накопленные им в многочисленных путешествиях по зарубежным странам и в России.

В классическом труде А.И. Воейкова [19] «Климат земного шара, в особенности России» главы 19, 20 посвящены вопросам агроклиматологии, а именно влиянию климата на сельскохозяйственные культуры и влиянию растительности, в особенности леса, на климат. Помимо этого, в целом ряде работ Воейковым уделяется большое внимание использованию климатологии в сельском хозяйстве. Например, на основе агроклиматического анализа условий возделывания чая в Индии, на Цейлоне и в Японии, он пришел к заключению, что для этой культуры пригодны только Западная Грузия, часть Кахетии и Ленкорани. Практика возделывания чая в наши дни подтвердила правильность выводов Воейкова.

Много внимания Воейков уделял развитию хлопководства в России. Он впервые определил требования хлопчатника к климату, показал, что эта культура боится весенних и ранних осенних заморозков, выявил, что для хлопчатника наиболее благоприятен (при орошении) климат Средней Азии и Восточного Закавказья. Его агроклиматические исследования по плодовым культурам, лесоразведению, орошению и осушению, снежному покрову и другими вопросам намного определили науку того времени и до сих пор не утратили своего значения.

Большое внимание на развитие агрометеорологии и агроклиматологии оказал известный русский ученый А.В. Клоссовский (1856-1917 гг.). Он

организовал на юго-западе России сеть станций, на которой впервые стали вестись наблюдения за ростом и развитием сельскохозяйственных культур. В 1896 году по инициативе П.И. Броунова и личном участии при Ученом комитете Департамента земледелия было организовано метеорологическое бюро, которое фактически явилось первым в России и в мире научным учреждением по вопросам агрометеорологии и агроклиматологии. Была организована сеть агрометеорологических станций, разработана единая программа агрометеорологических наблюдений. С 1901 года метеорологическое бюро стало издавать «Труды по сельскохозяйственной метеорологии».

Планомерное и всестороннее развитие агрометеорологии и агроклиматологии началось после Октябрьской социалистической революции в России. В 1921 декретом Совета Труда и Оборона была организована агрометеорологическая служба РСФСР. Весьма плодотворной в это время была деятельность П.И. Броунова [95]. Разрабатывая методы обработки климатических материалов для сельскохозяйственных целей, он впервые, хотя и схематично, произвел агроклиматическое районирование России (1924 г.). Интересна его работа по обоснованию мер борьбы с засухами на юго-востоке страны.

Научные и планирующие учреждения, разрабатывающие перспективные планы развития и размещения отраслей сельского хозяйства, нуждались в сведениях о поведении растений в разных климатических условиях, что, прежде всего упиралось в проблему агроклиматического районирования территории СССР. Поэтому в 1928 г. в Бюро сельскохозяйственной метеорологии, находившемся в это время при Государственном институте опытной агрономии, был создан сектор агроклиматологии. Одной из первых работ этого сектора была карта агроклиматического районирования СССР, составленная крупным ученым – Г.Т. Селяниновым, в которой впервые была дана оценка климатических ресурсов страны для сельскохозяйственного производства.

С именем Г.Т. Селянинова (1887-1966 гг.) связан большой период в развитии агроклиматологии [92, 93]. В его работе «К вопросу о классификации сельскохозяйственных культур по климатическому признаку» (1930 г.) впервые предложены агроклиматические показатели для сельскохозяйственной оценки климата. В дальнейших исследованиях Селянинова и его учеников (И.А. Гольцберг, Ф.Ф. Давитая, С.А. Сапожникова и др.) методика оценки климата строилась на принципе единства растений и среды, на связи климата и растений, выраженной в агроклиматических показателях. Эта методика явилась принципиальной основой для всех последующих исследований в агроклиматологии вплоть до наших дней.

В 30-е годы в планах развития сельского хозяйства страны предусматривался большой объем работ по эффективному

сельскохозяйственному использованию Советских субтропиков. Необходимого производственного опыта по выращиванию субтропических культур в то время не было. Для научного обоснования развития субтропического сельского хозяйства под руководством Г.Т. Селянинова была проведена работа по агроклиматическому изучению субтропической зоны СССР. Это были первые широкие комплексные исследования в конкретном регионе с применением микроклиматических съемок. С помощью этих исследований были разработаны агроклиматические показатели субтропических культур, решены некоторые методические вопросы и т.д.

Результаты этой большой коллективной работы опубликованы в двух томах фундаментального издания «Материалы по агроклиматическому районированию субтропиков СССР (1936 и 1938 гг.)». Составленная крупномасштабная карта агроклиматического районирования субтропиков Западного Закавказья и Ленкораньского района нашла широкое производственное применение при размещении плантаций субтропических культур. Последующий более чем 60-летний опыт воздействия субтропических культур подтвердил большую точность этой карты.

Развивающееся сельское хозяйство страны нуждалось в применении мирового опыта земледелия по возделыванию различных сельскохозяйственных культур. В связи с этим под руководством Селянинова в 1937 году был составлен «Мировой агроклиматический справочник». В нем впервые в мировой практике представлены основные агроклиматические показатели, по которым можно давать сельскохозяйственную характеристику климата всего Мира и устанавливать агроклиматические аналоги. При работе над справочником Селянинов разработал и использовал принципиально новый подход к определению аналогов по сходству не общих условий климата, а лишь агроклиматических условий произрастания конкретной культуры.

Большой вклад в развитие агроклиматологии внесли известные ученые П.И. Колосков (1887-1968 гг.) и Р.Э. Давид (1887-1939 гг.). Проработав на Дальнем Востоке более 20 лет, Колосков дал ценные рекомендации по размещению ряда сельскохозяйственных культур (льна, сои, риса, сахарной свеклы), плодотворно занимался изучением проблемы мелиорации климата почв отдельных районов, произвел агроклиматическое районирование территории Дальнего Востока. Его обширные исследования в целом развивали не только вопросы региональной агроклиматологии, но в значительной мере углубляли и общие теоретические положения [42]. Еще в начале тридцатых годов Колосков выделил в качестве отдельного крупного раздела агроклиматологии проблему климата почвы, подчеркнув тем самым необходимость учета его влияния на развитие растений. В дальнейшем эта проблема была широко развита А.М. Шульгиным.

Давид, изучая климат юго-востока СССР, дал первое агроклиматическое районирование этой территории, составил рекомендации по ведению сельского хозяйства в этих районах. Большое практическое значение имела его работа по агроклиматическому районированию территории СССР, применительно к зерновым культурам. В 1936 г. вышел из печати составленный Р.Э.Давидом первый в СССР учебник по сельскохозяйственной метеорологии. Несколько раньше, в 1934 г., под редакцией А.В.Федорова было опубликовано учебное пособие по сельскохозяйственной метеорологии для учащихся гидрометеорологических техникумов, в которых дана глава по агроклиматологии.

До Великой Отечественной войны благодаря научной и практической деятельности Г.Т. Селянинова, П.И. Колоскова, Р.Э. Давида, И.А. Гольцберг, Ф.Ф. Давитая, С.А. Сапожниковой и других агроклиматология окончательно оформилась как самостоятельная наука. Постановка и решение ряда вопросов в агроклиматологии в это время имели большое значение для развития общей климатологии. Так агроклиматологи впервые использовали короткорядные наблюдения, предложили методику их проведения к длинным метеорологическим рядам, применили вероятностные характеристики, разработали методику картирования элементов климата (на примере температуры) на уровне земной поверхности в мелком масштабе. Подобные вопросы в климатологии до этого не решались

После Великой Отечественной войны была разработана программа по резкому подъему сельского хозяйства в различных регионах СССР; предусматривалось расширение посевов в переувлажненных районах за счет осушения земель; пересмотр и набор новых культур и приемов земледелия в разных климатических зонах; освоение целинных и залежных земель; широкое применение различных мероприятий по борьбе с заморозками, засухами, суховеями, устройство лесозащитных полос и т.д. Правильное решение поставленных задач с наименьшими экономическими затратами требовали их глубокого научного обоснования, что явилось стимулом для дальнейшего развития агрометеорологии как науки.

В разработке этих вопросов принимали участие коллективы научных центров страны: Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ГГО), Гидрометеорологического центра страны СССР (ГМЦ СССР), Всесоюзного института растениеводства (ВИР), Научно-исследовательского института агроклиматологии (НИИАК), региональных научно-исследовательских гидрометеорологических институтов, Института экспериментальной метеорологии (ИЭМ), на базе которого в 80-е годы был создан Всесоюзный научно-исследовательский институт по сельскохозяйственной метеорологии (ВНИИСХМ). Агроклиматические

исследования были начаты также в Академии наук СССР и союзных республик, в высших учебных заведениях.

В 50^{ые} – 60^{ые} годы на основе агроклиматического изучения территории страны были разработаны варианты общего агроклиматического районирования СССР в мелком масштабе Г.Т. Селяниновым, П.И. Колосковым, С.А. Сапожниковой, Д.И. Шашко [22, 115]. В них для выделенных таксономических единиц (пояса, зоны, области и др.) была дана с различной степенью детализации агроклиматическая характеристика с указанием набора сельскохозяйственных культур и основных направлений сельского хозяйства. В этот же период П.И. Колосков, С.А. Сапожникова, Д.И. Шашко предложили показатели для оценки сельскохозяйственного бонитета климата, т.е. впервые произведена сравнительная оценка ресурсов климата, обеспечивающих определенную продуктивность сельскохозяйственных культур на территории СССР.

В эти же годы была разработана методика и впервые осуществлено специальное агроклиматическое районирование территории применительно к винограду Ф.Ф. Давитая [30] и кукурузы С.А. Сапожниковым, Ю.И. Чирковым [89, 114]. В 70^{ые} и 80^{ые} годы это направление агроклиматических исследований получило дальнейшее развитие применительно к территории страны, отдельных регионов, а также социалистических стран Восточной Европы с охватом большинства однолетних и многолетних культур. Например, было выполнено агроклиматическое районирование озимой пшеницы В.А. Моисейчик [71] и Е.С. Улановой [107], картофеля А.И. Руденко и Е.Л. Хершкович [3, 95], подсолнечника Ю.С. Мельником [50], сахарной свеклы Л.С. Кельчевской [3], хлопчатника Л.Н. Бабушкин [13].

В связи с освоением целинных и залежных земель на основе применения ряда новых расчетных методов была дана подробная агроклиматическая характеристика этой территории с практическими указаниями о мерах по улучшению условий произрастания сельскохозяйственных культур. Результаты этого крупного исследования изложены в работах, опубликованных в 50^{ые} годы под редакцией Ф.Ф. Давитая. Наряду с целиной крупные изменения в сельском хозяйстве были запланированы на территории центральных черноземных областей России. Для проведения их в жизнь понадобилась агроклиматическая оценка указанной территории с выявлением микроклиматических особенностей отдельных полей. Эту работу выполнил большой коллектив сотрудников ГГО и ВИРа.

Значительный научный и практический интерес представляют исследования ГГО в области полезащитного лесоразведения. Результаты исследований позволили составить ряд практических рекомендаций по выбору ширины межполосной клетки, направлению полос и их конструкции в различных климатах страны, а также рассчитать возможные

изменения климатических условий под влиянием этого мероприятия. В последующем проводились региональные исследования по оценке влияния лесных полос различной конструкции на урожайность сельскохозяйственных культур (А.Р. Константинов, Л.Р. Струзер и др.).

Широкой известностью пользуются работы Г.Д. Рихтера, А.М. Шульгина, И.Д. Копанева и других исследователей снежного покрова применительно к сельскому хозяйству [46, 95, 120]. В этих работах дана количественная оценка характеристик снежного покрова. Выявлена их географическая изменчивость на территории страны, глубоко исследовано влияние снежного покрова на климат почв, разработаны приемы снежной мелиорации для разных климатических зон.

В 70^{ые} годы для дальнейшего развития сельского хозяйства страны начали проводиться крупные мероприятия по мелиорации земель с доведением общей площади мелиорируемых земель (орошение, осушение) до 48 млн. га. В связи с этим мероприятием в эти и последующие годы проведены широкие исследования по сложной проблеме ресурсов влаги, влагопотребления и влагообеспеченности в различных климатических зонах. В этих исследованиях участвовали А.М. Алпатьев, М.И. Будыко, А.Р. Константинов, Л.И. Зубенок, Л.А. Разумова, С.А. Вериги, С.И. Харченко [8, 16, 17, 20, 36, 111].

В 60^{ые}-70^{ые} годы проведены значительные исследования М.И. Будыко, Т.Г. Берлянд, З.И. Пивоваровой, Л.И. Сакали и др. по новым показателям климата с выявлением географических закономерностей их распределения на территории СССР и континентах Мира [17, 28, 80, 91]. К их числу относятся составляющие радиационного и теплового баланса, которые в последующем стали широко использоваться в агроклиматических исследованиях. Например, М.И. Будыко и Л.С. Гандин предложили метод определения агроклиматических показателей, основанный на количественных связях солнечной радиации с продуктивностью фотосинтеза.

В связи с термопериодизмом растений З.А. Мищенко (60^{ые}-80^{ые} годы) на основе анализа и обобщения материалов по суточному ходу температуры воздуха предложила ряд новых термических показателей раздельных для дня и ночи, разработала методы их расчетов [61, 63]. В результате этой работы была составлена серия агроклиматических карт распределения суточной амплитуды температур воздуха, дневных и ночных температур воздуха и их сумм на территории СССР. Ею выполнены аналогичные разработки по радиационному нагреву и дневной температуре деятельной поверхности, а также её суммы. В последующем эти показатели стали использоваться для агроклиматической оценки тепловых ресурсов и теплообеспеченности растений, а также в моделях «климат-урожай».

В связи с тем, что микроклимат существенно влияет на рост, развитие, урожай и качество сельскохозяйственной продукции был проведен ряд работ для обоснования правильного использования в сельском хозяйстве микроклиматических особенностей. Эти вопросы нашли отражение в исследованиях по микроклимату различных регионов СССР, которые проводились силами ГГО и других учреждений. Наиболее значительные научные разработки были выполнены И.А. Гольцберг, З.А. Мищенко, Е.Н. Романовой, Т.А. Голубовой [60, 63, 85]. К их числу относятся: типизация мезо и микроклиматической изменчивости показателей климата на территории СССР; методы расчета микроклиматических параметров для детализации агроклиматических ресурсов на малых площадях. В этом направлении важно отметить новую методику составления расчетным путем крупномасштабных агроклиматических карт для отдельных хозяйств. В последующем разработки по микроклимату стали использоваться в агроклиматическом районировании ограниченных территорий (административная область, район).

За рассматриваемый период развития агроклиматологии выполнялись и другие важные исследования. Существенное значение имеют работы по агроклиматическому районированию сеяных трав и пастбищной растительности, по зооклиматическому изучению пастбищ и влиянию климата на животных и хозяйственную деятельность в отгонном животноводстве. Агроклиматические исследования и расчеты позволили сделать ряд принципиальных выводов относительно целесообразности отдельных приемов обработки почвы в зависимости от условий климата. Отдельные работы по вопросам влияния климата погоды на появление и развитие вредителей и болезней сельскохозяйственных культур позволили осветить и этот аспект агроклиматических исследований [21, 56, 75].

За последние 20 лет, помимо уже перечисленных исследований в области агроклиматологии, получили развитие новые научные направления. Так, в связи с изменением глобального климата Земли начались исследования по возможным агроклиматическим ресурсам к 2010-2030 гг. с оценкой последствий для сельского хозяйства в России, Молдове и на Украине (О.Д. Сиротенко и Е.В. Абашина, З.А. Мищенко и др.) [74, 78, 100, 101]. В.А. Жуковым, С.А. Даниеловым и другими изучались агроклиматические ресурсы разных регионов в пределах территории СНГ с учетом влияния неблагоприятных явлений погоды на основе теории распознавания образов с целью пересмотра структуры посевных площадей, занятых однолетними культурами [37, 39 и др.].

В эти же годы значительные исследования проводились по агроклиматической оценке продуктивности сельскохозяйственных культур с помощью физико-статистических моделей различной сложности. Весьма перспективной для целей агроклиматического районирования

ограниченных территорий оказалась модель «Климат – урожай», разработанная Х.Г. Тоомингом [104, 105], поскольку она основана на учете суммарной радиации и показателя влагообеспеченности, отличающихся чувствительностью к микроклимату. Новый метод агроклиматической оценки продуктивности растений получил дальнейшее развитие в исследованиях А.Н. Полевого и А.Н. Витченко [37, 77] применительно к Беларуси (озимая рожь, озимая пшеница, яровой ячмень, картофель, лен-долгунец, кукуруза), З.А. Мищенко [65, 66, 73] применительно к Молдове и Украине (кукуруза, подсолнечник и виноград).

Результаты научных исследований в области агроклиматологии опубликованы в многочисленных трудах научных учреждений, монографиях, рекомендациях и указаниях по использованию агроклиматической информации. При участии И.А. Гольцберг, З.А. Мищенко, Е.Н. Романовой и др. был подготовлен и издан в 1972 году «Агроклиматический атлас Мира». Значительная работа проведена по выпуску агроклиматических пособий, в том числе учебного пособия «Агроклиматология» для вузов (Н.И. Синицына, И.А. Гольцберг, Э.А. Струнников), изданного в 1973 году.

Под руководством Гидрометцентра СССР опубликовано 125 томов областных агроклиматических справочников в составлении которого принимали участие многие агроклиматологи Гидрометслужбы. В справочниках впервые по расчетным данным представлены агроклиматические характеристики административных районов. Значительно шире использованы агроклиматические закономерности и разработки в новом издании этих справочников под названием «Агроклиматические ресурсы области». Эта большая работа выполнялась под руководством ВНИИСХМ, указания к справочникам были подготовлены Н.В. Гулиновой и Л.С. Кельчевской. Первые выпуски этих справочников вышли из печати в 70^{ые} годы, а завершилось их издание в 80^{ые} годы [6].

В заключение кратко остановимся на агроклиматических исследованиях за рубежом. Здесь, прежде всего, следует отметить работы итальянского ученого Джироламо Ацци. В 1932 году была напечатана (в русском переводе) его большая работа «Сельскохозяйственная экология», второе издание этой книги вышло в 1959 году [12]. В ней изложены исследования Ацци о закономерностях в отношении между культурными растениями и средой их обитания (климатом). Он установил ряд показателей для сельскохозяйственных культур, выполнил агроклиматическую оценку территории Италии, впервые определил условия произрастания пшеницы в разных климатических зонах. Эти работы Ацци использованы во многих странах Мира в качестве руководства по изучению связей между климатом и растениями. Значительные исследования по влагообеспеченности растений в

различных климатических зонах выполнены Х. Пенманом, С. Торнтвейтом, Ф. Милторпом, Варга-Хасоничгем и др.

После второй мировой войны исследования по агроклиматологии стали интенсивно развиваться в социалистических странах Европы, причем идеи и методы исследований советской сельскохозяйственной метеорологии широко использовались учеными этих стран. В 1967-1973 гг. силами гидрометеорологических служб социалистических стран Европы по общему плану была выполнена большая работа по агроклиматическим ресурсам и специальному районированию озимой пшеницы, кукурузы, картофеля, сахарной свеклы, винограда на территориях Болгарии, Венгрии, Польши, Румынии, ГДР, ЕЧ Советского Союза и Чехословакии. В этих исследованиях принимали участие И.А. Гольцберг, Ф.Ф. Давитая, В.А. Моисейчик, С.А. Сапожникова, Е.Л. Хершкович, Е.С. Уланова и другие ученые. Работа завершилась изданием «Агроклиматического справочника социалистических стран Европы» (1974 г.) и двух коллективных монографий (1971 г., 1979 г.), содержащих серию цветных агроклиматических карт.

Еще в начале 20^{ого} столетия передовые ученые, полнимая исключительное значение агрометеорологии и агроклиматологии для сельского хозяйства любой страны стремились к международному сотрудничеству. В 1913 году была создана постоянная комиссия по сельскохозяйственной метеорологии при международной метеорологической организации. Одним из первых активных членов её был П.И. Броунов. Учитывая важность агроклиматических исследований на четвертой сессии по сельскохозяйственной метеорологии при ВМО (Всемирной метеорологической организации) в 1967 году была создана рабочая группа по сельскохозяйственной метеорологии из ведущих агроклиматологов различных стран. Председателем этой группы был известный агрометеоролог В.В. Синельщиков. В 70^{ые} и 80^{ые} годы в работе комиссии по сельскохозяйственной метеорологии при ВМО в качестве её членов или докладчиков по важным проблемам агрометеорологии и агроклиматологии принимали активное участие известные ученые России и Украины, в том числе И.Г. Грингоф, З.А. Мищенко, А.Н. Полевой, О.Д. Сиротенко, Е.С. Уланова.

РАЗДЕЛ 1 ПРИНЦИПЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ КЛИМАТА И МЕТОДЫ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НАБЛЮДЕНИЙ

Глава 1 ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ЖИЗНИ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

1.1 Климатические факторы, необходимые для жизни растений

Исследование климатических ресурсов применительно к разным аспектам сельскохозяйственного производства представляет сложную задачу, так как ее компоненты, входящие в неё (живые организмы и климат), характеризуются большой изменчивостью. Климат любой местности определяется большим числом элементов. При решении различных вопросов агроклиматологии важно знать какие элементы являются основными для жизни растений, а какие второстепенными. В результате многочисленных исследований, выполненных биологами, физиологами, агрометеорологами, экологами, получены ценные сведения об отношении растений к различным климатическим факторам.

Многие агроклиматические закономерности базируются на двух законах биологической науки: 1) равнозначности факторов жизни; 2) неравноценности факторов среды. Оба эти закона не противоречат друг другу, так как факторы жизни и факторы среды – разные понятия. К факторам жизни растений по многочисленным исследованиям К.А. Тимирязева, Д.Н. Прянишникова, Н.И. Вавилова, И.В. Якушкина и других следует отнести тепло, свет, влагу, воздух и питательные вещества. Равнозначность факторов жизни означает, что ни один из них не может быть заменен другим. Например, свет не может быть заменен теплом, тепло не может быть заменено влагой и т.д. Сущность второго биологического закона сводится к тому, что многочисленные факторы среды, характеризующие климат, оказывают на растения неравноценное воздействие.

Исходя из двух указанных законов, значительно упрощается подход к оценке климатических элементов в агроклиматологии. Элементы климата по их значимости для растений можно разделить на основные и второстепенные. Такое распределение весьма существенно, так как оно помогает разобраться в многообразии воздействия факторов среды на жизнедеятельность растений. Второстепенные факторы не оказывают существенного влияния на жизнь растений. Наиболее часто они лишь

корректируют действие основных факторов, усиливая или ослабляя их. Например, такой второстепенный фактор, как обеспеченность может несколько изменить количественный и качественный состав света, влажность воздуха влияет на тепловое состояние растений и т.д.

Второстепенные факторы приобретают самостоятельное значение лишь тогда, когда они достигают значительной интенсивности. В таких случаях они подлежат отдельному учету, так становятся опасными для жизни растений. Например, необходимо учитывать длительные туманы в период созревания пыльцы, интенсивные засухи и суховеи, губительные заморозки, выпадение крупного града. Однако и в таких случаях влияние второстепенных факторов часто ограничено определенным временем, территорией, конкретными видами растений, фазами их развития. Суховей, например, приносит вред в период цветения и налива зерна. Если же при суховее запасы влаги в почве оптимальные, а относительная влажность в травостое около 60-70 %, то он может оказать и полезное влияние, ускоряя процесс созревания.

Учитывая вышесказанное, рассмотрим факторы, жизненно необходимые для растений. Для всех организмов воздух – основа жизни. Из газов, составляющих атмосферный воздух, следует отдельно оценить кислород, азот, углекислый газ. Кислород (O_2) необходим растениям для дыхания. В процессе дыхания происходит окисление накопленных в растениях питательных веществ, создается энергия для всех жизненных процессов растительного организма. Дыхание – это сложная цепь окислительно-восстановительных процессов. Углекислый газ (CO_2) необходим растениям для образования органического вещества в процессе фотосинтеза. Исключительное значение CO_2 для растений видно из того, что сухое вещество растений состоит на 45-50 % из углерода. Азот (N_2) необходим растениям как элемент питания. Без него не может проходить синтез белковых веществ, а следовательно не может строиться протоплазма живой клетки. Однако азот воздуха могут использовать только некоторые растения (бобовые, сосна).

Свет является источником энергии для всех живых организмов на земле. Оценивая значение света в жизни растений обычно различают три аспекта этой проблемы: влияние спектрального состава, интенсивность и продолжительность освещения. Все важнейшие физиологические процессы определяются в основном световой частью солнечного спектра. Наибольшее значение среди них имеет фотосинтез. Часть солнечного света, непосредственно участвующую в фотосинтезе называют фотосинтетически активной радиацией (ФАР). Величину ФАР обычно ограничивают пределами длин волн 0,38-0,71 мкм.

Энергетическая сторона фотосинтеза впервые была рассмотрена великим русским физиологом К.А.Тимирязевым. В настоящее время установлено, что растения обладают селективным характером поглощения

падающей на них ФАР. Наиболее активно хлорофилл листьев поглощает красно-оранжевые и сине-фиолетовые лучи видимой части спектра. При поглощении этих лучей фотосинтез протекает с наибольшей скоростью. Что касается количественной стороны, то органическое вещество растений, созданное в процессе фотосинтеза, составляет 90-95 % всей сухой массы урожая. Следовательно, фотосинтез, протекающий благодаря поглощению ФАР, является главным фактором в создании урожая, формируя примерно 0,9 его величины. Минеральное почвенное питание способствует созданию 5-10 % урожая сухой массы, однако и оно возможно лишь при наличии фотосинтеза.

Помимо реакции растений на интенсивность и спектральный состав радиации растения реагируют также на продолжительность освещения. Реакция растений на продолжительность освещения получила название фотопериодизма. Это явление впервые было обнаружено американскими учеными Гарнером и Аллардом в 1920 году [95]. По реакции растений на продолжительность освещения растения делятся на три группы.

- 1) растения длинного дня, развитие которых ускоряется на севере (пшеница, рожь, ячмень, овес, лён и др.);
- 2) растения короткого дня, развитие которых ускоряется при выращивании на юге (просо, соя, конопля и др.);
- 3) растения нейтральные, у которых изменение длины дня не вызывает заметных изменений в развитии (гречиха, бобы, фасоль и др.).

Явление фотопериодизма необходимо учитывать в агроклиматических исследованиях. Определить соотношение длины дня и ночи в часах не представляет труд, так как она зависит от широты места и времени года. Настоящее время для большого числа сельскохозяйственных культур известна поправка на «фотопериод», позволяющая, учесть изменение потребности растений в тепле в зависимости от продолжительности дневного освещения.

Тепло также является необходимым фактором жизни. Давно установлено, что температура воздуха и почвы, как показатели теплообеспеченности, определяют жизненные процессы, происходящие в растениях. Биохимические и биофизические процессы протекают тем быстрее, чем выше температура (разумеется до определенного предела). Кроме того, она является одним из основных факторов роста и оказывает влияние на формирование урожая.

В многочисленных работах биологов и агрометеорологов получены зависимости скорости развития растений от средних суточных температур воздуха, выявлены пределы температур вредные для культурных растений. Выявлено, что на рост и развитие растений большое влияние оказывает суточная амплитуда колебаний температуры (чем она больше, тем быстрее идет процесс развития и роста). Величина амплитуды колебаний температуры воздуха влияет также на качество урожая.

Растениям для оптимального роста и развития требуется определенное сочетание дневных и ночных температур. Реакция растений на суточную ритмику температуры днем и ночью получила название термопериодизма растений. Это явление впервые было обнаружено в 40^{ые} – 50^{ые} годы канадским ученым Ф.В. Вентом и русскими учеными А.А. Малышевым, Т.В. Олейниковой. Поскольку потребность в тепле у различных растений и их сортов меняется в больших пределах, а сами ресурсы тепла изменчивы в пространстве и времени, в агроклиматологии учету тепла отводится первостепенное место.

Влага – одна из основных факторов жизни. Она имеет большое значение для развития растений, однако в наибольшей степени от неё зависит рост и величина урожая. Избыточное или недостаточное количество влаги вредно сказывается на растениях, так как в обоих случаях растения не могут полностью использовать ресурсы тепла для накопления своей биомассы и создания оптимального урожая. Так при малом количестве влаги растения используют лишь ту часть термических ресурсов, которая обеспечена этой влагой. Примером в данном случае могут быть эфемеры в зоне пустынь и полупустынь. При большом количестве влаги в почве часть тепла без пользы для растений расходуется на непродуктивное испарение с поверхности почвы.

Ресурсы влаги очень изменчивы как по территории, так и во времени. Поэтому всесторонне изучение их для сельскохозяйственного производства имеет исключительное значение. В агроклиматологии учету влаги уделяется не меньшее внимание, чем ресурсы тепла.

Учет минерального питания не входит в компетенцию агроклиматологии. Однако следует заметить, что дозировка, сроки внесения удобрений и их набор в значительной мере определяются климатическими условиями. Поэтому исследования по агроклиматическому обоснованию применения удобрений в различных климатических зонах применительно к конкретным сельскохозяйственным культурам очень важны.

В заключение заметим, что агроклиматология из всех факторов жизнеобитания растений и животных (климатических, почвенно-грунтовых, топографических, биологических, антропогенных) изучает лишь климатические. Однако это не означает, что другие факторы остаются вне поля зрения агроклиматологии. Поскольку все указанные факторы среды связаны между собой можно утверждать, что при изучении климатических факторов определенным образом рассматриваются и прочие.

1.2 Классификация растений по их требованиям к климату

Все растения в процессе исторического развития находились под непрерывным воздействием климатических условий своего места обитания и поэтому приспособлялись к ним. В результате у растений возникли определенные потребности к условиям существования, которые стали их биологическими особенностями. Например, для растений тропического происхождения характерна большая потребность в тепле и влаге. Растения умеренных широт отличаются холодостойкостью, умеренных – потребностью в тепле, а зимующие – способностью переносить морозы до определенного предела. Различные растения начинают расти и развиваться при разных температурах: при разных суммах тепла у них наступают определенные фазы развития и т.д.

Ранее было сказано, что из большого числа элементов, которыми характеризуется климат любой территории, жизненно важными для растений являются свет, тепло и влага. Следовательно, продуктивно использовать климатические ресурсы для целей сельского хозяйства можно лишь в тех случаях, когда известна потребность в них сельскохозяйственного объекта. Такие сведения служат «фундаментом» для выполнения любых агроклиматических исследований. Ещё К.А. Тимирязев в 1897 году писал: «Климатические условия представляют интерес лишь тогда, когда нам рядом с ними известны требования, предъявляемые им растением; без этих последних сведений бесконечные вереницы цифр метеорологических дневников останутся бесплодным балластом».

На основе анализа эмпирического материала и наблюдений других исследований Г.Т. Селянинов в 1930 году [92] впервые дал схему классификации сельскохозяйственных культур по трем основным признакам, характеризующим отношение растений к термическому режиму:

- 1) по колебаниям средней месячной температуры в течение вегетационного периода и форме кривой годового хода температуры воздуха;
- 2) по уровню температуры начала роста;
- 3) по сумме температур за период активного роста и развития (в пределах выше 10^0C).

Согласно этой классификации (табл.1.1), все культуры разделены на три группы – А, Б и В. В каждой группе выделены классы по температуре начала роста. Классы делятся на формы по требовательности к теплу (т.е. по скороспелости). Классификации растений по требовательности к другим климатическим факторам, например, к влаге и солнечному свету Селянинов не сделал из-за слабой изученности в то время этих вопросов.

Таблица 1.1 - Схема классификации травянистых сельскохозяйственных культур по отношению к температуре

Группа	Колебания Температуры	Культура	Класс	Уровень температуры начала роста	Характеристика культуры	Форма	Сумма температур выше 10 ⁰ С	Степень скороспелости
1	2	3	4	5	6	7	8	9
А	Колебание средней месячной температуры не превышает 5 ⁰	Тропические растения	I	0-5 ⁰	Холодолюбивые	1	1000	Очень скороспелые
		Бахчевые			Неизвестные растения из высокогорных зон тропиков	2	1000-2000	Скороспелые
					3	2000	Среднеспелые	
	Форма кривой годового хода температуры близка к прямой линии	Кукуруза, сорго, хлопок, кенаф, банан, клещевина, картофель	II	5-10 ⁰	Умеренные (картофель)	1	1000-2000	Скороспелые
						2	1000-2000	Среднеспелые
						3	3000	Позднеспелые
			III	10-15 ⁰	Теплолюбивые (кукуруза)	1	1000-2000	Скороспелые
						2	1000-2000	Среднеспелые
						3	3000-4000	Позднеспелые
						4	4000	Очень позднеспелые
			IV	15 ⁰	Очень теплолюбивые (огурец, люфа)	1	1000-2000	Скороспелые
						2	1000-2000	Среднеспелые
						3	3000-4000	Позднеспелые
						4	4000-6000	Очень позднеспелые
						5	6000	Непрерывно вегетирующие

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Б	Колебание средней месячной температуры в течение вегетационного периода не превышает 10° Форма кривой хода температуры выпуклая	Яровые (лен, овес, ячмень, яровая пшеница, яровая рожь, конопля, подсолнух)	I	0-5°	Холодолюбивые (лен)	1	1000	Очень скороспелые
						2	1000-2000	Скороспелые
						3	2000-3000	Среднеспелые
			II	5-10°	Умеренные (яровая пшеница)	1	1000	Очень скороспелые
						2	1000-2000	Скороспелые
						3	2000-3000	Среднеспелые
			III	5-10°	Теплолюбивые (подсолнух)	4	3000	Позднеспелые
						1	1000-2000	Скороспелые
						2	2000-3000	Среднеспелые
			IV	15°	Очень теплолюбивые (огурец, люфа)	3	3000-4000	Позднеспелые
						4	4000	Очень позднеспелые
						1	1000-2000	Скороспелые
В	Колебание средней месячной температуры в течение вегетационного периода превышает 5° Форма кривой хода температуры вогнутая	Озимые хлеба, капуста, корнеплоды, лук	I	0-5°	Холодолюбивые (капуста)	2	1000-2000	Скороспелые
						3	2000-3000	Среднеспелые
			II	5-10°	Умеренные (озимая пшеница)	1	1000	Очень скороспелые
						2	1000-2000	Скороспелые
						3	2000-3000	Среднеспелые

Примечание. Названия растений в таблице приведены только для примера.

П.И. Колосков [42] при классификации сельскохозяйственных культур по климатическому признаку, считая важным продолжительность вегетационного периода. Указанный признак имеет решающее значение при определении северной границы произрастания культур, при продвижении их в районы с засушливым климатом, а также при решении вопроса о пожнивных культурах. Поэтому Колосков в основу разделения культур на классы положил степень их скороспелости. По этому признаку им выделено пять классов:

Класс	Характеристика скороспелости	Длина периода вегетации
А	Ультраскороспелые (эфемеры)	Менее 85 дней
Б	Скороспелые	От 85 до 115 дней
В	Среднеспелые	От 115 дней до 145 дней
Г	Позднеспелые	От 145 дней до 175 дней
Д	Особо позднеспелые	Более 175 дней

Следующим важным признаком для классификации культур Колосков считал степень их влаголюбивости (или засухоустойчивости). Для этого он использовал коэффициент увлажнения, представляющий собой отношение годовых сумм осадков к сумме (за год) средних месячных дефицитов влажности воздуха. Поэтому признаку им выделено пять групп растений:

Группа	Характеристика влаголюбивости растения	Коэффициент увлажнения на территории произрастания культур
I	Культуры зоны крайней сухости, могут произрастать без полива до границы пустыни (ксерофиты)	Менее 1,6
II	Культуры, могут произрастать засушливой зоне	Не менее 1,6
III	Культуры малозасушливой зоны	Не менее 3,2
IV	Культуры умеренно влажной зоны	Не менее 4,6
V	Культуры влажной зоны	Только при орошении

Третьим признаком Колосков считал величину транспирационных коэффициентов культур. Он выделил пять родов: 1) растения с транспирационным коэффициентом менее 300; 2) от 300 до 400, 3) от 400 до 500; 4) от 500 до 600; 5) более 600.

В качестве четвертого признака он использовал начало вегетации и степень морозоустойчивости растений. По этому признаку им

выделено семь видов растений: 1) озимые культуры высокой зимостойкости (озимая рожь), 2) средней зимостойкости (озимая пшеница), 3) низкой зимостойкости (озимый ячмень, горох), 4) яровые культуры, допускающие сверхранний и подзимний посевы, очень морозостойкие, 5) культуры, которые можно сеять при наступлении среднесуточных температур воздуха 5°C , довольно морозостойкие, 6) культуры, которые можно сеять при наступлении среднесуточных температур воздуха 10°C , переносящие незначительные заморозки, 7) культуры, которые можно сеять при наступлении среднесуточной температуры воздуха 15°C , не выдерживающие незначительных заморозков. В итоге по схеме Колоскова сельскохозяйственная культура в соответствии с её агроклиматическими показателями, может быть описана краткой формулой.

В классификации В.Н. Степанова [95] в качестве признаков использованы потребность растений в тепле и продолжительность освещения. По этим признакам растения разделены на два типа.

Тип А – растения умеренных климатов. В начале развития потребность этих растений небольшая, они могут произрастать при температуре $3-5^{\circ}\text{C}$, затем их потребность в тепле быстро увеличивается. Это растения с длинной световой стадией, обладающие высокой холодостойкостью и зимостойкостью. К ним автор относит рожь, пшеницу, ячмень, лен и др.

Тип Б – растения тропических климатов, очень требовательные к теплу, нехолодостойкие, с короткой световой стадией. Это просо, кукуруза, хлопчатник, рис, дыня, арбуз, табак и др.

Растения обоих типов подразделяются на формы по структуре и продолжительности жизненного цикла: однолетние, двулетние и многолетние с растянутым или коротким периодом роста, развития, цветения и плодоношения.

Степанов делит все растения на пять классов по величине биологического нуля: I класс – биологический ноль растений $3-5^{\circ}\text{C}$, II - $6-8^{\circ}\text{C}$, III - $8-10^{\circ}\text{C}$, IV - $10-12^{\circ}\text{C}$, V - $12-15^{\circ}\text{C}$.

По степени морозостойкости растения разделены на расы: яровые и озимые.

1. Раса яровых подразделяется на пять подрас по степени выносливости заморозков: от -6 до -8°C , от -4 до -6°C , от -2 до -4°C , от -1 до 2°C и от 0 до -1°C .
2. Раса озимых подразделяется на три подрасы по выносливости низких температур: ниже -20°C , от -15 до 20°C , от -10 до -15°C .

Заканчивается классификация выделенных семи групп растений по потребности в тепле, выраженной суммой активных температур более 10 °С, и по длине вегетационного периода (в днях):

Группа растений	Сумма температур	Длина периода
Первая	До 1000 ⁰	От 60 до 80 дней
Вторая	От 1000 до 1500 ⁰	От 80 до 100 дней
Третья	От 1500 до 2000 ⁰	От 100 до 120 дней
Четвертая	От 2000 до 2500 ⁰	От 120 до 140 дней
Пятая	От 2500 до 3000 ⁰	От 140 до 160 дней
Шестая	От 3000 до 3500 ⁰	От 160 до 180 дней
Седьмая	Более 3500 ⁰	Более 180 дней

Используя, классификацию Степанова, сельскохозяйственную культуру можно описать довольно подробно небольшим количеством агроклиматических показателей. Например, кукуруза тип Б, однолетняя, яровая, класс III, раса 1 (подраса четвертая), четвертая группа по раннеспелым и средняя сортам и пятая по среднепоздним и поздним сортам.

Приведенные классификации представляют собой попытки комплексно оценить среду обитания растений путем учета ряда климатических факторов. При всей значимости такого подхода к классификации растений до настоящего времени не удалось добиться полного решения этой проблемы, что, прежде всего, объясняется большой сложностью поставленной задачи. Поэтому отдельные исследователи прибегают к построению частных классификаций, исходя из потребности растений в отдельных факторах жизни.

Например, А.М. Алпатыев [8] предложил биоклиматическую классификацию растений по требованию к воде. Первым критерием, определяющим место данного растения в классификационной системе, является суммарная потребность растения в воде за период вегетации. При оптимальной влажности почвы и достаточной растительной массе она определяется двумя факторами: климатическими условиями местообитания и продолжительностью вегетации данного сорта растения. Вторым критерием потребности растений в воде, является ритм развития и роста растений, определяющий скорость потребления влаги.

На основе этих двух критериев Алпатыев выделил следующие укрупненные группы и подгруппы растений, расположенные в нисходящем порядке по их потребности в воде.

I. Древесные: 1) вечнозеленые формы тропических широт; 2) листопадные формы тропических широт; 3) листопадные формы умеренных широт.

II. Травянистые многолетние: 1) многолетние формы тропических широт; 2) многолетние формы умеренных широт.

III. Травянистые однолетние и эфемероиды: 1) однолетние большой продолжительности вегетации; 2) однолетние средней продолжительности вегетации; 3) однолетние короткого периода вегетации и эфемероиды.

Конкретные величины потребности растений в воде предложено вычислять по методу Алпатьева (см. главу 7, § 72). Классифицируя растения по потребности в воде на основе продолжительности вегетации и ритма развития, необходимо принимать во внимание возможность количественного изменения этих критериев в различных климатических условиях для одного и того же сорта растения. Вследствие этого, по мнению Алпатьева, классификации растений по требованиям к воде должны быть универсально-региональными, т.е. отражать как общие закономерности, так и влияние местных условий.

1.3 Агроклиматические показатели и методы их определения

Потребность сельскохозяйственных объектов в климатических условиях среды обитания за весь период вегетации или за отдельные его отрезки можно выразить количественно через агроклиматические показатели. Под агроклиматическими показателями понимают количественные выражения связи роста, развития, состояния и продуктивности объектов сельскохозяйственного производства с факторами климата. Агроклиматические показатели могут отражать не только потребность объектов в определенных условиях климата, но и реакцию их на конкретное значение одного климатического элемента или их комплексов.

При изучении агроклиматических ресурсов территорий применяют агроклиматические показатели; которые получают путем осреднения в многолетнем разрезе за вегетационный период или его интервалы. Дополнительно для раскрытия межгодовой изменчивости агроклиматических показателей применяют вероятностные характеристики их.

Определение и обоснование агроклиматических показателей дано в обширной литературе. Г.Т. Селянинов [82] впервые в Мировой литературе ввел термин «климатические показатели культур». Он же предложил ряд агроклиматических показателей, которые и сейчас находят широкое применение. К ним относятся следующие показатели.

1) Сумма активных температур воздуха, рассчитанная по среднесуточной температуре. Этот показатель используется для определения потребности в тепле большинства растений, а также для

оценки термических ресурсов территории. Он определяется как сумма среднесуточных температур воздуха за период времени, в течение которого T_c была выше 5, 10 или 15 °С.

2) Гидротермический коэффициент (ГТК), который определяется по формуле

$$\tilde{A}\tilde{O}\tilde{E} = \frac{\Sigma r}{\Sigma T_c / 10}, \quad (1.1)$$

где Σr – сумма атмосферных осадков за определенный период;
 ΣT_c – сумма активных температур воздуха за тот же период. Исследованиями Селянинова установлено, что знаменатель в формуле $\Sigma T_c / 10$ приближенно равен испаряемости. Поэтому ГТК используется в агроклиматических расчетах как показатель атмосферного увлажнения.

3) Средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха и почвы ($\bar{T}_m, \bar{T}_{mn}$), используемые как характеристики условий перезимовки растений. Эти показатели рассчитываются как средняя величина из самых низких годовых температур воздуха или почвы за достаточно длительный интервал времени (желателен ряд наблюдений не менее 25 лет).

В последующие годы советскими и зарубежными учеными были предложены и другие агроклиматические показатели, в том числе показатели, связывающие урожай определенных культур с климатическими условиями. В настоящее время для характеристики роста и развития растений, а также оценки агроклиматических ресурсов территории используются следующие показатели:

- а) продолжительность вегетационного и теплого периодов и их подпериодов;
- б) суммы среднесуточных температур воздуха и почвы за вегетационный период или его отдельные отрезки;
- в) оптимальные пределы температур, необходимые для нормального роста и развития растений;
- г) критические (низкие и высокие температуры, повреждающие растения;
- д) термические показатели, учитывающие термопериодизм растений и живых организмов;
- е) показатели интенсивности солнечной радиации и освещения в растительной среде;
- ж) показатели холодостойкости и морозостойкости растений;
- з) показатели устойчивости растений к засухе и суховеям;

и) суммы осадков, запасы продуктивной влаги в почве, относительные показатели увлажнения;

к) показатели, связывающие урожай с климатическими элементами (т.е. комплексные показатели тепла, влагообеспеченности и продуктивности).

Кроме этих показателей в агроклиматологии необходимо учитывать жизненный ритм развития различных растений, характеризующийся такими, как порядок чередования фенологических фаз, время наступления цветения и плодоношения, особенности зимнего покоя и т.д. В зависимости от конкретных задач, которые поставлены перед исследователями, используются разные показатели.

Для ряда сельскохозяйственных культур в настоящее время определены многие из указанных показателей. Однако эта работа должна продолжаться в связи с появлением новых сортов и гибридов, необходимостью более полной и точной оценки продуктивности климата, а также в связи с разработкой региональных моделей агроклиматического районирования в среднем и крупном масштабе с учетом микроклимата и другими задачами.

Наиболее распространенными экспериментальными определениями агроклиматических показателей являются следующие.

1. Метод параллельных или сопряженных наблюдений за ростом, развитием и урожайностью культур и сопутствующими или метеорологическими условиями. Накопив за ряд лет материал параллельных наблюдений и соответственно обработав его, можно определить потребность культурных растений в тепле и влаге, их устойчивость к низким температурам и т.д. Основоположителем этого метода является П.И. Броунов. Указанный метод широко применяется в настоящее время на территории СНГ, а также во многих зарубежных странах.
2. Метод географических посевов, предложенный Н.И. Вавиловым. Для нахождения агроклиматических показателей по этому методу сельскохозяйственную культуру в один и тот же вегетационный период выращивают в большом числе пунктов, расположенных на различных широтах и высотах в горах. Собранный материал дает возможность за короткий интервал времени (2-3 года) определить основные агроклиматические показатели для конкретного сорта или гибрида. Однако этот метод не учитывает различий свойств почвы, форм рельефа и условий фотопериодизма в разных географических пунктах.
3. Метод учащенных сроков сева, предложенный Г.Т. Селяниновым, нашел широкое применение как в агрометеорологических исследованиях так и в растениеводстве при сортоиспытании. При

использовании этого метода растения высевают в одном месте, но в различные сроки, обычно через 5, 10, 15 или 20 дней. При таком смещении сроков сева рост и развитие растений происходит при разных погодных условиях. Материал наблюдений, собранный за 1-2 года позволяет определить агроклиматические показатели с меньшей затратой времени по сравнению с предыдущими методами.

4. Метод обработки статистических материалов по урожайности и сопутствующим им метеорологическим условиям. Этот метод широко использовал П.И. Броунов. В результате чего им были найдены «критические периоды» в развитии растений. Рассмотренный метод получил дальнейшее развитие в исследованиях В.А. Жукова и других по оценке влияния неблагоприятных агрометеорологических условий в отдельные декады развития ряда культур на снижении их урожайности.
5. Метод микроклиматических посевов и посадок заключается в том, что одна и та же культура изучается в условиях разного микроклимата нескольких рядом расположенных участков. В этом случае наблюдается сходство общих географических и климатических условий. Результаты применения этого метода позволили Ф.Ф. Давитая сделать вывод, что в течение одной зимы можно получить агроклиматические показатели морозостойкости ряда субтропических культур. Этот метод позднее был усовершенствован З.А. Мищенко путем организации в Молдове полигонов, на которых в характерных участках рельефа круглогодично в течение ряда лет проводились микроклиматические наблюдения и биоэкологические обследования на виноградниках.
6. Метод лабораторных исследований. Выращивая растений в камерах искусственного климата, в фитотронах экспериментально может в широком диапазоне задавать различные сочетания метеорологических элементов (суточный ход температуры воздуха и почвы, режим увлажнения, продолжительность освещения и др.), получая, таким образом, ценные сведения о биоклиматических характеристиках. Этот метод перспективен при изучении реакции новых сортов и гибридов на проявление лимитирующих факторов климата (заморозки, морозы, засухи, суховеи).

1.4 Принципы и этапы сельскохозяйственной оценки климата

Изучение климата определенной территории земного шара имеет большое значение. Различные классификации приводят климаты нашей планеты в определенную систему и определяют границы распространения отдельных типов климата. Однако ни одна из ныне принятых классификаций климата (Берга, Кёппена, Алисова и др.) не может быть достаточно эффективно использована в сельском хозяйстве. Это объясняется тем, что многие важные показатели климата не связаны или мало связаны с объектами и процессами сельскохозяйственного производства.

В обоснование этого приведем следующий пример. По классификации Кёппена, широко принятой в различных странах мира, территория Северного Кавказа, Прибалтики и восточной части Украины объединена в один тип климата, для которого характерно увлажнение и определенный за год термический режим. Однако в сельскохозяйственном отношении, указанные районы различаются между собой не только в наборе культур, но и в приемах земледелия.

Так, на Северном Кавказе могут произрастать южные культуры с длинным периодом вегетации и большой теплолюбивостью. Основные агротехнические приемы здесь направлены на сохранение влаги в почве. В восточной Украине произрастает более скороспелые культуры. Здесь необходимы более интенсивные агротехнические приемы по накоплению и сохранению влаги в почве. В Прибалтийских странах набор культур резко отличается от вышеуказанных регионов. Основные приемы земледелия здесь направлены на борьбу с переувлажнением и улучшением термического режима приземного слоя воздуха и корнеобитаемого слоя почвы.

Следовательно, нельзя общеклиматические сведения без соответствующей обработки использовать для решения агроклиматических прикладных задач. Поэтому разными учеными разрабатывались различные принципы и схемы, предназначенные для сельскохозяйственной оценки климата. Первую попытку разработать такую схему для ботаники и сельского хозяйства предпринял русский ботаник Р.Э. Регель в 1905-1909 гг. Для этой цели он предложил 31 показатель. Из-за громоздкости эта схема не нашла применения. Крупный недостаток её заключается также в том, что в ней учитывались климатические, а не агроклиматические условия произрастания растений. Кроме того, в схеме не рассматривался вопрос о потребности растений в условиях климата.

В 1921 году, американский ботаник В.Е. Ливингстон опубликовал свои исследования по оценке климата США для сельскохозяйственных растений. Считая вегетационный период большинства растений совпадающим с безморозным периодом, что для Америки правильно, он дал климатическую характеристику в основном этого периода. Ливингстон сделал шаг вперед по сравнению с Регелем, однако и в его методе нет комплексного агроклиматического подхода к оценке климата.

Известный климатолог Е.Е. Федоров в 1921 году разработал новый комплексный метод оценки климата, который, по его мнению, мог найти применение для сельскохозяйственных целей. Его принципиальная схема заключалась в том, что характеристика климата давалась комплексно – сочетанием метеорологических элементов. Однако оценка климата по сочетаниям элементов свойственен некоторый субъективизм. На практике метод Федорова оказался весьма громоздким и поэтому трудно применим.

Итальянский агрометеоролог Джироламо Ацци в 1926 году, предложил свою схему сельскохозяйственной оценки климата, в основу которой были положены фенологические даты роста и развития культур. Предварительно им были изучены требования растений к климату. Оценка климатических ресурсов дана им для условий Италии по межфазным периодам развития культур с учетом повторяемости климатических характеристик за эти периоды. Недостатком метода является отказ от использования средних климатических величин.

В СССР, начиная с 20^х годов, интенсивно разрабатывались принципы сельскохозяйственной оценки климата. Начало им положено работами Г.Т. Селянинова [92] и П.И. Колоскова [42]. Исследования в этом плане позднее были продолжены И.А. Гольцберг [26], Ф.Ф. Давитая [30], С.А. Сапожниковой [90], Д.И. Шашко [115] и другими.

При построении схемы сельскохозяйственной оценки климатов советские исследователи исходили из диалектического принципа единства растений и среды, выражающего в потребности растений в определенных условиях существования и бесспорном положении о том, что отдельные климатические факторы неравноценны по своему значению для сельскохозяйственных растений. За основу взят принцип сельскохозяйственной оценки климата, заключающийся в сопоставлении требований сельскохозяйственных культур к климату на определенных этапах развития и в целом за вегетационный период, и агроклиматических ресурсов территории. Совокупность агроклиматических факторов, создающих условия для получения

определенных величин урожая сельскохозяйственных культур, составляет агроклиматические ресурсы данной территории.

Исходя из такого принципиального подхода, схема сельскохозяйственной характеристики климата на современном этапе исследований складывается из оценки:

- 1) радиационно-световых ресурсов вегетационного периода и его подпериодов;
- 2) термических ресурсов вегетационного периода и его подпериодов;
- 3) условий увлажнения и влагообеспеченности вегетационного периода и его подпериодов;
- 4) условий морозоопасности для зимующих культур;
- 5) явлений неблагоприятных для сельского хозяйства (заморозки, засухи, суховеи и др.).

Методику процесса исследований климата для сельскохозяйственного производства можно представить несколькими взаимосвязанными этапами.

Этап I. Устанавливают зависимости роста, развития, урожайности и качества сельскохозяйственной продукции от климатических факторов, т.е. определяют агроклиматические показатели растений.

Этап II. Параллельно тщательно изучают агроклиматические ресурсы территории.

Этап III. Определяют степень соответствия агроклиматических ресурсов требованиям сельскохозяйственных объектов.

Этап IV. Изучают микроклимат и определяют его влияние на общие агроклиматические ресурсы.

Этап V. Проводят подробное агроклиматическое районирование территории с рекомендациями по размещению видов и сортов сельскохозяйственных культур.

Этап VI. Определяют рентабельность возделывания отдельных культур на исследуемой территории. Эта часть исследования может правильно решаться при совместной работе агроклиматологов со специалистами сельского хозяйства.

Изложенная методика сельскохозяйственной оценки климата позволяет полнее выявить разницу между общеклиматическими и агроклиматическими исследованиями. В последних сельскохозяйственную оценку климата дают на основе лишь агроклиматических условий, оказывающих существенное влияние на жизнь растений и домашних животных. Таким образом, сельскохозяйственная оценка климата заключается в комплексном тщательном изучении агроклиматических условий данной территории и сопоставлении её агроклиматических ресурсов с требованиями к климату сельскохозяйственных растений и животных.

Глава 2 МЕТОДЫ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МНОГОЛЕТНИХ МАТЕРИАЛОВ НАБЛЮДЕНИЙ

2.1 Общие вопросы агроклиматической обработки материалов наблюдений

Сравнительная агроклиматическая характеристика условий произрастания сельскохозяйственных культур в различных регионах территории СНГ, в том числе Украины, агрометеорологическое обслуживание отдельных отраслей сельского хозяйства невозможны без надежного и выраженного в доступной для использования форме агроклиматического материала. В связи с указанным весь материал агрометеорологических наблюдений подвергается агрометеорологической обработке. Основной целью такой обработки является получение различных числовых характеристик климата. К таким характеристикам следует отнести средние многолетние величины агрометеорологических элементов, их изменчивость, повторяемость, обеспеченность и ряд других показателей. Эти показатели обычно оформляются в виде агроклиматических таблиц, графиков и карт.

В агроклиматологии используются почти все материалы метеорологических наблюдений, прошедшие климатическую обработку. Теория климатической обработки метеорологических наблюдений разработана известными учеными России – А.А. Каминским, Е.С. Рубинштейн, О.А. Дроздовым, Н.В. Кобышевой [50, 95] и др. Она же является основой агроклиматической обработки многих материалов агрометеорологических наблюдений. Вместе с тем методы агроклиматической обработки многолетних наблюдений имеют свою специфику. Она обусловлена особыми задачами, связанными с обслуживанием сельского хозяйства, а также наличием специальных агрометеорологических материалов наблюдений, проводимых на сети агрометеорологических станций и постов. Агроклиматические методы обработки детально изложены в работах Г.Т. Селянинова, И.А. Гольцберг, Ф.Ф. Давитая, С.А. Сапожникова, З.А. Мищенко и ряда других ученых [26, 28, 41, 63, 91].

Проявившееся в последние десятилетия в большинстве наук известное несоответствие между объемом собираемой информации и долей её использования на практике характерно и для агроклиматологии. Современные математические методы, наряду с использованием электронных вычислительных машин (ЭВМ), а также ПЭВМ, позволяют в значительной степени ускорить как научные агроклиматические исследования, так и обработку агрометеорологических наблюдений.

В 50-60 годы в развитых странах стали применять механизированную обработку многолетних агрометеорологических наблюдений для решения различных агроклиматических задач. Впервые в России П.К. Евсеев в 1954 году применил счетно-аналитические машины для получения агроклиматической характеристики развития яровой пшеницы по данным многолетних наблюдений на трех станциях. В 1959-1963 гг. Г.З. Венцкевич применил макеты агрометеорологических перфокарт для обоснования оптимальных сроков уборки картофеля в Подмосковье.

В 1965-1966 гг. А.Г. Новиков провел работу по созданию новых макетов агрометеорологических перфокарт и разработки программы решения типичных агроклиматических и агрометеорологических задач с использованием их на ЭВМ. В перфокарту он включил все агрометеорологические наблюдения. Причем данные агрометеорологические наблюдений для всех сельскохозяйственных культур были включены в четыре макета: 1) физико-географическая характеристика (с описанием участков наблюдений и почв; 2) агрометеорологические наблюдения (по каждой культуре своя перфокарта); 3) влажность почвы; 4) агротехника сева и урожай.

В последующие годы совершенствовалась методика обработки режимной агрометеорологической информации автоматизированными средствами с помощью ЭВМ. В.А. Горбачевым, В.А. Жуковым и др. разработана система сбора, обработки и передачи информации об окружающей среде. Суть её заключается в рациональной организации и переводе на технические носители агрометеорологических данных за прошедшие годы. Создана информационная система (ААИС), ориентированная на поколение ЭВМ серии «Ряд», обладающих большими объемами памяти на запоминающих устройствах и развитой системой ввода-вывода информации.

Использование ЭВМ значительно расширило и углубило возможности статистического и физико-статистического моделирования во всех областях науки и техники, в том числе в агроклиматологии. В настоящее время практически сняты ограничения на объем и сложности проводимых вычислений. Доступность ЭВМ, в том числе персональных, оснащенных пакетами статистических программ, позволяет при минимальной математической подготовки исследователя проводить обширные расчеты с применением достаточно сложных методов при обработке агроклиматической информации. К их числу относятся: 1) методы корреляционного и регрессионного анализа; 2) теория вероятности; 3) физико-статистический метод, основанный на математическом моделировании.

2.2 Основные виды климатических и агроклиматических характеристик

Исходными величинами агроклиматической обработки материалов многолетних наблюдений служат метеорологические и агрометеорологические наблюдения. Наблюдение – это единичное измерение (прямое или косвенное) какой-либо величины. Многократное наблюдение этой величины X_i во времени или в пространстве составляет ряд наблюдений $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$. Агрометеорологические ряды могут состоять из значений агрометеорологического элемента в отдельные сроки наблюдений, из средних суточных, декадных, месячных, сезонных и годовых значений, из экспериментальных значений, из числа дней с явлением и т.п.

Для анализа и сравнения этих рядов между собой проводится климатическая или агроклиматическая обработка агрометеорологических рядов. В результате получают обобщающие климатические характеристики или агроклиматические показатели рядов многолетних наблюдений за агрометеорологическими элементами и явлениями. В дальнейшем эти показатели оформляются в виде унифицированных для сравнимости таблиц и графиков и используются в исследовательских целях, а также для составления «Агроклиматических справочников» по административным областям и краям.

Простейшей характеристикой метеорологического ряда является среднее арифметическое $\bar{X}$. Средней арифметической величиной называется сумма значений элемента X_i , разделенная на число n этих значений

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2.1)$$

Средние арифметические могут быть средними или во времени или в пространстве. Например, средней арифметической величиной во времени является средняя суточная температура, вычисленная по данным наблюдений за все сроки в течении суток в одном пункте. Примером средней арифметической величины в пространстве может служить средняя областная сумма осадков за вегетационный период данного года, полученная из суммы осадков за тот же период отдельных станций, имеющих на данной территории области.

Среднее квадратическое отклонение наряду со средним арифметическим является важной характеристикой распределения. Оно показывает разброс,

или рассеяние отдельных значений элемента климата по обе стороны от среднего. Среднее квадратическое отклонение (или стандарт) σ равно квадратическому корню из суммы квадратов всех отклонений от среднего, деленного на число всех наблюдений.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad \text{или} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n}}, \quad (2.2)$$

где $\sum d^2$ - сумма квадратов отклонений элемента от среднего арифметического значения;

n – число наблюдений в статистическом ряду.

Одним из этапов обобщений данных многолетних наблюдений является их группировка. Интервал величин, по которым группируются данные метеорологического ряда называют градацией. Существуют определенные принципы выбора градаций.

Тип 1. Градации человека и равные по величине. Например, сумма температур воздуха выше 10°C может быть сгруппирована по градациям: 1001-1200, 1201-1400, 1401-1600, 1601-1800 $^\circ\text{C}$ и т.д., т.е. каждый интервал составляет 200 $^\circ\text{C}$.

Тип 2. Градации числовые и неравные по величине. Например, градации запасов продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см: ≤ 50 , 51-80, 81-100, 101-120, 121-160, 161-200, >200 мм, т.е. интервалы составляют 30, 20 и 40 мм.

Тип 3. Градации нечисловые (выраженные словами). Например, число дней с различным состоянием верхнего слоя почвы: мерзлое, текучее, липкое, мягкопластичное, сухое.

Число градаций (или групп), по которым можно распределить данный ряд наблюдений, может быть различным, но рекомендуется руководствоваться правилом, на основании которого оно не должно превышать десятичного логарифма числа наблюдений, умноженного на 5 ($5 \lg n$, где n – число наблюдений).

Число наблюдений	50	100	500
Максимальное число градаций	8	10	13

После того как градации выбраны, все наблюдения распределяют по соответствующим градациям. Число случаев m_i , вошедших в каждую градацию называется частотой. Сумма частот всех градаций равна общему числу наблюдений данного ряда, выраженное в долях единицы ($\frac{m_i}{n}$) или в

процентах ($\frac{m_i}{n} \cdot 100\%$), в климатологии называют повторяемостью данной градации P_i .

Под вероятностью явления понимается повторяемость его значения в отдельные годы, выраженная в процентах. Вероятность показывает как часто повторяется это явление в отдельный интервал лет (10, 100 лет). Например, вероятность 80 % указывает, что данное явление (в пределах рассматриваемой градации) может наблюдаться 8 раз в 10 лет, или 80 раз в 100 лет.

Суммарная вероятность явления выше или ниже определенного предела называется обеспеченностью. Например, если вероятность суммы температур в пределах 1800-2000 °С составляет 20 %, а суммы температур 1601-1800 °С – 15 %, то обеспеченность суммы температур 1601-2000 °С составляет 35 %. Расчет вероятностей и обеспеченностей различных явлений или интегральных кривых их распределения производится эмпирическим способом с использованием длинного ряда наблюдений (не менее 25-30 лет).

Из эмпирических формул наиболее часто применяется формула Г.А. Алексеева

$$P_i = \frac{m_i - 0,25}{n + 0,50} \cdot 100\%, \quad (2.4)$$

где m_i – порядковый номер членов статистического ряда $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, расположенного в убывающем порядке;

n - число лет наблюдений в ряду;

P_i - обеспеченность в процентах.

Эту формулу можно использовать как для асимметричных кривых распределения характеристик климата так и для симметричных кривых..

Интегральное распределение метеорологического элемента и его средняя величина позволяют выявить закономерность многолетнего режима данного элемента, т.е. временную структуру различных показателей климата и их комплексов. Распределение одних элементов климата (кривые дат перехода температуры воздуха через определенные уровни, дат заморозков, сумм температур, продолжительности периодов с температурой разного уровня) симметрично. В симметричном или нормальном распределении число наблюдений выше среднего равно числу наблюдения ниже среднего.

Это позволяет применять для расчета суммарной вероятности закон Гаусса, т.е. использовать только два параметра - $\bar{x}$ и σ . В этом случае можно применять формулу вида

$$x(\%) = \bar{x} \pm \sigma \cdot \kappa_z \quad (2.5)$$

где $x(\%)$ – суммарная вероятность элемента климата, равная 5 %, 10, 20, ..., 90, 95 %;

$\bar{x}$ – средняя многолетняя величина элемента климата; σ – среднее квадратическое отклонение;

$\hat{e}_{\hat{\alpha}}$ – коэффициенты нормального распределения Гаусса.

В этой формуле произведение $\sigma \cdot \hat{e}_{\hat{\alpha}}$ характеризует величину n , т.е. отклонение элемента климата заданной вероятности от средней многолетней.

Симметричное распределение вероятности может искажаться вследствие непропорционального малого или большого числа наблюдений в области, лежащей около среднего значения. Это искажение носит название «эксцесс». Мера эксцесса или коэффициент эксцесса C_ε , выраженная формулой

$$C_\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{n \cdot \sigma^4} \quad (2.6)$$

Нарушение симметричности кривой распределения вероятности называется асимметрией. Статистическая величина асимметрии характеризуется коэффициентом асимметрии (C_S), который определяется по формуле

$$\tilde{N}_S = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n \cdot \sigma^3} \quad (2.7)$$

Кривые распределения вероятности некоторых элементов климата (количество осадков, ГТК, минимальная температура воздуха, число дней с определенными явлениями и т.д.) асимметричны и могут быть выражены аналитически биномиальной кривой распределения (кривой Пирсона, типа III) логарифмически нормальной кривой распределения и кривой распределения С.Н. Криницкого и М.Ф. Менделя. Параметры биномиальной кривой распределения определяются по трем стандартным статистическим характеристикам: по среднему значению $\bar{x}$, коэффициенту асимметрии C_S , среднему квадратическому отклонению σ или коэффициенту вариации (C_v). Последний определяется по формуле

$$\tilde{N}_v = \frac{\sigma}{\bar{\sigma}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\frac{x_i}{\bar{x}} - 1)^2}{n-1}} \quad (2.8)$$

Кривые обеспеченности, рассчитанные аналитически с помощью параметров $\bar{x}$, σ и C_S , можно назвать теоретическими или аналитическими.

Теоретическая кривая обеспеченности, так же как и эмпирическая, при построении в прямоугольной системе координат имеет изогнутую верхнюю и нижнюю часть кривой, приближающуюся к осям координат. Это затрудняет, пользование такой кривой с достаточной точностью в верхнем и нижнем её кольцах. Для повышения точности отсчета рассматриваемого элемента кривая обеспеченности строится в сетке вероятностей, на которой можно уменьшить кривизну кривой вплоть до спрямления.

Расчет вероятностных характеристик климата нашел широкое применение в агроклиматических исследованиях Г.Т. Селянинова, И.А. Гольцберг [26], Ф.Ф. Давитая [30], С.А. Сапожниковой [89]. В настоящее время кривые суммарной вероятности явления в зависимости от задачи строятся для конкретной станции как в абсолютных значениях, так и в виде отклонений значений элемента климата от средней многолетней величины. По оси ординат откладываются значения суммарной вероятности (P_i) в процентах, а по абсциссе возможные значения того или иного элемента климата.

Для характеристики больших территорий используются кривые суммарной вероятности ряда станций. По этим данным строится номограмма обеспеченности того или иного элемента климата. Впервые Н.Н. Иванов построил номограмму для расчета возможных сумм осадков степной полосы Северного Кавказа. В дальнейшем А.Н. Лебедев [52], И.А. Гольцберг [26], З.А. Мищенко [63] развили метод номографирования путем построения номограмм обеспеченности для расчета возможных климатических и агроклиматических показателей относительно средних многолетних значений.

Номограмма обеспеченности – чертеж, с помощью которого можно, не проводя вычислений, получать искомую величину по двум переменным X и Y . Например, на номограмме по оси ординат откладываются средние многолетние суммы температур воздуха по данным ряда станций, охватывающих значительную территорию, а по абсциссе их возможные значения в отдельные годы с различной вероятностью. В поле графика имеются прямые или кривые линии

различной обеспеченности – 5 %, 10 %, 20 % и т.д. до 90, 95 %. В настоящее время метод построения номограмм обеспеченности широко применяется в климатологии и агроклиматологии.

2.3 Методы агроклиматической обработки метеорологических и агрометеорологических рядов

Качество наблюдений, первичная обработка и контроль являются основополагающими для агроклиматической обработки режимной информации. Обработка метеорологических и агрометеорологических материалов многолетних наблюдений на станциях гидрометеорологической сети состоит из нескольких этапов:

- первичная обработка материалов наблюдений (составление годовых выводов и таблиц);
- контроль материалов наблюдений;
- пополнение данных за пропущенные сроки и годы наблюдений;
- приведение материалов наблюдений к однородному периоду (ряду наблюдений);
- определение многолетних средних величин и крайних (экстремальных) значений;
- расчет вероятностных характеристик агроклиматических показателей.

Указанный перечень работ почти одинаков при обработке многолетних материалов агрометеорологических наблюдений. В дальнейшем полученные материалы могут быть использованы для составления "Агроклиматических справочников" по административным областям, а также в исследовательских целях для решения различных агроклиматических задач.

Первичная обработка материалов наблюдений заключается в составлении таблиц наблюдений за определенный отрезок времени (сутки, декада, месяц, год). Исходными данными для таких таблиц являются первичные материалы наблюдений – полевые книжки. Данные полевых книжек и таблицы подвергаются тщательному контролю, который разделяется на три вида.

1. Технический контроль. Цель его – определить правильность всех подсчетов и записей в книжках, например, КСХ-1 и таблицах ТСХ-1. Метод технического контроля состоит в повторной обработке полевых наблюдений работником, который не участвовал в проведении наблюдений.
2. Локальный контроль. Цель его – выявить ошибки и просчеты в наблюдениях. Например, в определении влажности почвы, при расчете процента охвата растений. Фенологической фазой развития и т.д.

Локальный контроль ведется параллельно с техническим контролем и его метод состоит в сравнении текущих наблюдений с предыдущими. Указанные виды контроля проводятся сразу после наблюдений, чтобы в случае обнаружения ошибки, можно было бы возвратиться на поле и исправить допущенную неточность.

3. Критический контроль. Цель его заключается в определении качества материалов наблюдений, а следовательно, и возможности их дальнейшего использования. Критический контроль проводится инженером-агрометеорологом агрометотдела Бюро погоды, обсерватории или АГМС, участвующих в составлении или подготовке материалов для агрометеорологических ежегодников.

В основе критического контроля лежит тот факт, что изменение большинства метеорологических элементов, а следовательно, и наступление фаз развития, роста и урожая растений и изменение влажности почвы происходит согласованно на сравнительно больших территориях. Поэтому фено и метеопроцессы на близлежащих станциях оказываются качественно аналогичными, а количественное их выражение разное и зависит от местных особенностей.

Основной метод критического контроля заключается в сопоставлении данных одной станции с данными близлежащих станций, расположенных в сходных физико-географических условиях. При этом можно применить метод картографического сравнения аномалий, например, наступления фенофаз данного года от предыдущего или от средних многолетних значений. Наблюдения за температурой и влажностью воздуха, температурой и влажностью почвы можно сопоставить графическим методом, т.е. анализировать изменение указанных величин на соседних станциях, учитывая факторы, определяющие эти изменения. После критического контроля наблюдений исправляются погрешности и материал готов для составления агрометеорологических ежегодников и других целей.

Вышеуказанный материал наблюдений может быть использован в агроклиматологии, но к такому первичному материалу предъявляются особые требования. Прежде всего, он должен быть однородным по количеству лет и по годам. Приведение материалов наблюдений к однородному периоду является важным этапом агроклиматической обработки. Только в таком случае можно получить сравнимые средние многолетние значения $\bar{x}$ тех или иных элементов климата путем осреднения рассматриваемой величины x_i за данный ряд лет n . Например, среднемесячная многолетняя температура воздуха вычисляется как средняя арифметическая величина из средних месячных значений одноименных месяцев за длинный ряд лет. Если ряд достаточно велик (50-60 лет), то такие средние нередко называют «климатическими нормами».

Однако для решения многих прикладных задач в области агроклиматологии достаточно высокая точность в получении средних многолетних значений из рядов наблюдений длиной в 25-30 лет. Допускается пополнение данных, т.е. приведение разорванных по времени рядов наблюдений на отдельных станциях к однородному ряду наблюдений.

Для этой цели используются определенные зависимости, которые, как правило, выражены в виде графиков связи или математическими уравнениями. Например, если необходимо пополнить ряд по суммам средних суточных температур воздуха выше 10^0 С на ст. Б с коротким рядом наблюдений по алогичным данным ст. А с длинным рядом наблюдений строится график связи ΣT_c , на котором по ординате откладываются данные ст. Б, а по абсциссе – данные ст. А.

Приведение средних многолетних величин (например, количество осадков за вегетационный период, дат фаз развития культур и т.д.) к одному периоду и пополнение недостающих лет наблюдений проводится методом разностей, широко используемым климатологами. В этом случае составляется рабочая таблица с одновременными годами наблюдений на короткорядной и длиннорядной станциях, рассчитываются ежегодные разности в значениях элемента климата, алгебраически определяется средняя разность. Последняя затем используется для пополнения рядов наблюдений на короткорядной станции.

Приведение средних многолетних величин к одному периоду проводится также методом разностей с применением следующей формулы:

$$\bar{B}_N = \bar{A}_N + \frac{(B_1 - A_1) + (B_2 - A_2) + \dots + (B_n - A_n)}{n}, \quad (2.9)$$

где $\bar{B}_N$ - приведенная к длинному ряду ($N_{\text{лет}}$) средняя многолетняя дата фазы развития по станции В с коротким рядом наблюдений за n лет;

$\bar{A}_N$ средняя многолетняя дата фазы развития по длиннорядной станции А;
 n – число лет с параллельными наблюдениями на обеих станциях.

Средняя многолетняя величина не дает полного представления о возможных колебаниях любого элемента климата в отдельные годы. Поэтому в агроклиматологии широко используются статистические параметры – среднее квадратическое отклонение (σ), коэффициент вариации (C_v) и др., а также рассчитываются вероятность и обеспеченность агроклиматических показателей с последующим построением номограмм. Впервые метод кривых вероятностей был применен П.А. Барановым в 1923 г. для раскрытия временной структуры абсолютных годовых минимумов температуры воздуха на территории Крымского полуострова.

В качестве примера рассмотрим расчет кривой вероятности по величине σ для даты последнего заморозка на ст. Василевичи с применением формулы 2.5. Суммарная вероятность наступления беззаморозкового периода весной приведена в табл. 2.1, по данным которой вычерчена кривая вероятности (рис.2.1). Для расчета кривой вероятности использованы коэффициенты (K_σ) Гаусса к среднему значению σ (первая строка табл. 2.1) и средняя дата наступления беззаморозкового периода, вероятность которой в случае симметричной кривой равна 50 %. Умножая σ на K_σ соответствующий, например, вероятности 30 % ($0,52 \cdot 15,1$) = 8 дням и, алгебраически суммируя полученную величину со средней датой, получим 23 апреля, или асимметрично для 70 % - 9 мая (третья строка табл.2.1).

По осредненному для ряда станций значению σ строят ряд кривых суммарной вероятности для большого района. Их используют для построения номограммы обеспеченности или составления сводной таблицы вероятности метеорологического элемента от средней. Построение кривых вероятностей и составление таблиц длительности беззаморозкового периода, сумм температур, дат перехода температуры воздуха через соответствующие пределы, продолжительности теплого периода и т.д. производится по той же схеме как показано в табл.2.1 и на рис.2.1 – 2.2.

Рассмотрим пример расчета кривой вероятности для осадков (длина ряда наблюдений 56 лет) с применением формулы 2.4 Г.А. Алексеева [9]. Кривая суммарной вероятности распределения осадков представлена на рис. 2.3. Для составления таблицы вероятностей в зависимости от средней, в этом случае, предварительно строится номограмма (рис. 2.4), для которой необходимо иметь подсчет вероятностей для ряда станций с разным средним количеством осадков. Номограмма обеспеченности строится в прямоугольных координатах. По вертикальной оси откладываются средние значения элемента (осадки), по горизонтальной оси наносятся данные за весь период наблюдений. Для соответствующего значения вероятностей проводится прямая или плавная линия. С построенной номограммы снимаются соответствующие значения обеспеченности элемента климата, используемые даже для составления сводной таблицы 2.2.

Преимуществом такой номограммы является возможность характеристики на одном графике структуры средних многолетних величин для большой территории во времени и пространстве. Длина наклонных линий показывает, как исследуемый элемент изменяется по территории, а ширина в границах 5 и 95 % обеспеченности указывает на изменчивость элемента климата во времени (рис.2.4).

Таблица 2.1 – Суммарная вероятность наступления безморозкового периода на ст. Василевичи

Показатели	Обеспеченность, %										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Коэффициент (K_r) к значению σ	-2,25	-1,28	-0,84	-0,52	-0,25	0	0,25	0,51	0,84	1,28	2,25
Отклонения в днях $n = \sigma \cdot K_r$ ($\sigma = 15,1$)	-34	-19	-13	-8	-4	0	4	8	13	19	34
Даты по отклонению от средней (1 V)	26 III	12 IV	18 IV	23 IV	27 IV	1 V	5 V	9 V	14 V	20 V	4 VI

Таблица 2.2 – Возможное количество осадков в отдельные годы при
различном среднем количестве их (мм)

Среднее	Вероятность, %						
	95	90	80	50	20	10	5
60	8	12	25	50	95	120	180
100	20	30	45	95	150	190	260
140	30	45	65	130	210	265	345
180	40	60	90	170	270	340	425

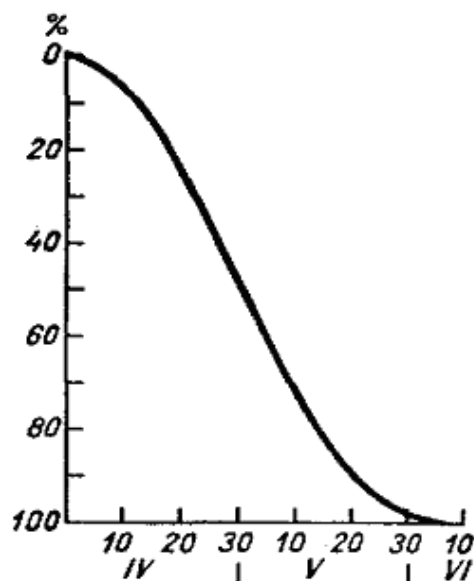


Рис. 2.1 - Кривая вероятности наступления безморозного периода весной при $\sigma = 15,1$ (Василевичи)

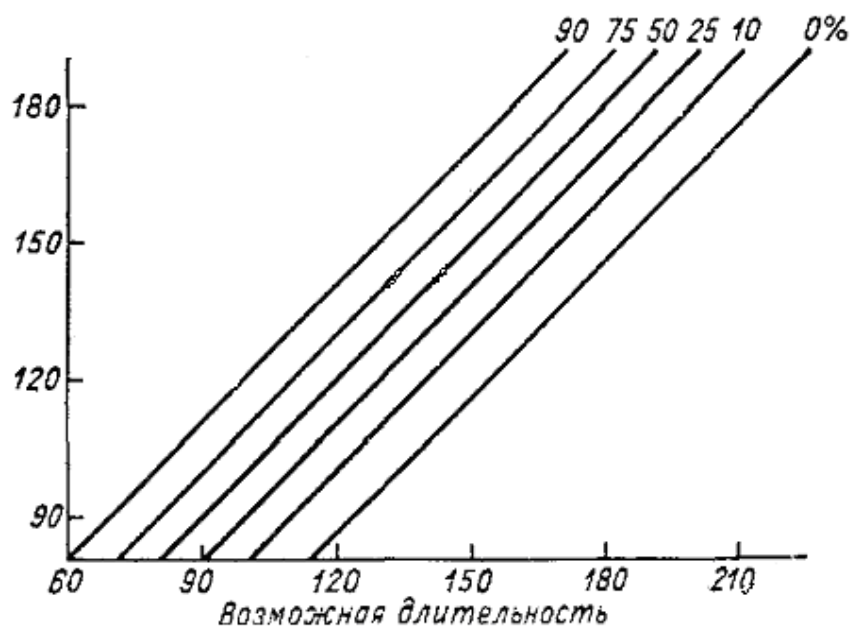


Рис. 2.2 – Номограмма для расчета возможной длительности беззаморозкового периода по разным средним значениям ($\sigma = 16$ дням)

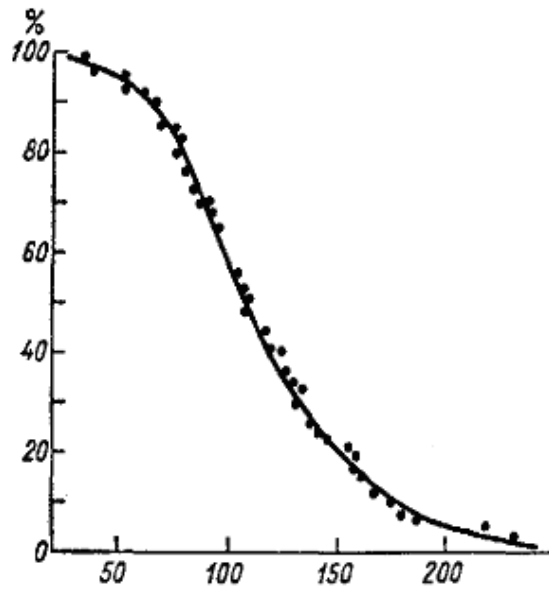


Рис. 2.3 – Интегральная кривая
распределения осадков

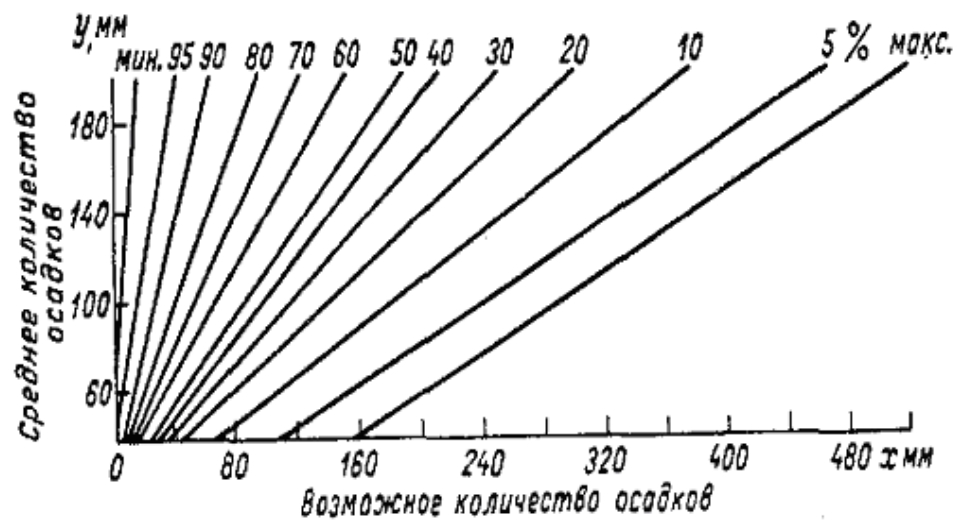


Рис. 2.4 – Номограмма для расчета месячных сумм осадков
различной обеспеченности

2.4 Специфика обработки наблюдений за влажностью и промерзанием почвы

Методы контроля и обработки наблюдений за влажностью и промерзанием почвы в основном разработаны С.А. Вериго и Л.А. Разумовой [20]. Они достаточно детально изложены в специальных руководствах. В учебных пособиях по агроклиматической обработке наблюдений подготовленных Н.В. Гулиновой [28] и Л.С. Кельчевской [41] также подробно рассмотрены методы контроля и обработки наблюдений за влажностью почвы. Здесь мы рассмотрим лишь некоторые из основных положений контроля и обработки наблюдений за указанными характеристиками.

Последовательность первичной обработки наблюдений за влажностью и промерзанием почвы, а также этапы агроклиматической обработки сохраняются в том же виде как это описано в 2.3, но имеется и своя специфика. Целью технического контроля является проверка правильности записи и обработки результатов наблюдений. Локальный контроль выявляет ошибки и просчеты в наблюдениях. Оба вида контроля выполняются непосредственно после записи наблюдений и их первичной обработки.

При техническом контроле наблюдений за влажностью почвы, прежде всего, проверяют полноту записи в полевых книжках, правильность арифметических подсчетов, качество высушивания проб (по сопоставлению первой и контрольной сушки), правильность определения влажности почвы. Тщательно проверяют подсчеты средних из повторностей величин влажности почвы для каждой глубины. После устранения погрешностей в полевых книжках проверяют таблицы. Проверку начинают с правильности переноса цифрового материала из полевых книжек, далее выявляют правильность подсчетов в таблицах. Например, в таблице «Запасы продуктивной влаги в почве» (ТСХ-7) должны быть правильно вписаны сведения об агрогидрологических константах данного поля. Проверяют правильность подсчетов непродуктивной и общей влаги в отдельных слоях почвы, содержание продуктивной влаги нарастающим итогом. Проверенные наблюдения сопоставляют с предыдущими данными. Если обнаруживаются резкие отклонения, то последующие возможные причины такого изменения, для чего анализируется режим температуры и осадков.

Материалы наблюдений по промерзанию и оттаиванию почвы начинают проверять также с правильности заполнения соответствующих полевых книжек и таблицы. Далее определяют точность всех расчетов. По истечению холодного периода проверке подлежат даты наступления первого и устойчивого промерзания и оттаивания почвы, продолжительность периода с устойчивым промерзанием почвы,

правильность выбора максимальной глубины промерзания почвы, абсолютного максимума промерзания за год и пр. Обязательно проверяют правильность построения графика изоплет.

Целью критического контроля является определение качества материалов наблюдений и, следовательно, возможности их дальнейшего использования. В основе критического контроля лежит та известная физическая закономерность, согласно которой большинство метеоэлементов, а также показатели роста и развития растений являются взаимосвязанными и взаимообусловленными.

Изменения влажности почвы увязывают с режимом температуры и осадков. Кроме того, учитывают глубину залегания грунтовых вод, если она не превышает 5 м. Критический контроль влажности почвы начинают с таблиц. Прежде всего сопоставляют данные влажности почвы аналогичных глубин для отдельных повторностей. Далее сопоставляют запасы продуктивной влаги с водоудерживающей способностью почвы. При глубоком залегании грунтовых вод и отсутствии верховодок запасы продуктивной влаги не должны быть более наименьшей влагоемкости, указанной в табл. 2.3.

Таблица 2.3 – Наименьшая полевая влагоемкость (мм)

Почва	Слой почвы	
	0-20 см	0-100 см
Суглинистая	40-50	170-190
Супесчаная	30-40	150-170
Песчаная	20-30	80-120

Одним из способов критического контроля является сопоставление динамики запасов почвенной влаги с ходом метеорологических элементов (обычно с ходом температуры воздуха и осадков). Такой контроль проводят с помощью графиков Вериги – Разумовой – Мاستинской. Эти графики характеризуют связь между изменением запасов влаги в почве, осадками, температурой и фазами развития растений.

Контролируются также и зимние определения влажности почвы. Необходимо помнить, что количество влаги в почве зимой может увеличиваться за счет подтягивания е. Из нижележащих слоев при близком стоянии грунтовых вод (увеличение может достигать 50 и даже 10 мм за зиму). А юге увеличение влаги в почве зимой обычно связано с частыми оттепелями.

При критическом контроле материалов по промерзанию и оттаиванию почвы обычно используют наблюдения за температурой и снежным покровом. Весьма полезны при этом графики изменения глубины промерзания почвы в зависимости от суммы отрицательных средних

суточных температур и высоты снежного покрова (рис.2.5), а также графика изменения глубины оттаивания почвы.

Многолетние материалы наблюдений за влажностью и промерзанием почвы позволяют дать количественную характеристику их режима, что необходимо для решения различных практических вопросов. Агроклиматическую обработку материалов наблюдений начинают с группировки станций по местоположению, которая может быть, выполнена по описаниям в паспортах станций или в климатических справочниках. Выделяют группы станций, наблюдательные участки которых находятся в разных местоположениях рельефа, на почвах разного типа по плодородию и механическому составу, а также под различными сельскохозяйственными культурами.

Обработку материалов начинают с составления сводных таблиц запасов продуктивной влаги, куда включают за отдельные годы величины влажности по слоям 0-10, 0-20, 0-50, 0-100 см. Для каждого слоя составляют свою таблицу. Обычно в таких таблицах бывают пропуски в наблюдениях за отдельные сроки. Эти пропуски восполняются с помощью указанных выше графиков Вериги-Разумовой-Мастинской, а также подобных графиков, построенных для ряда конкретных культур. С этой же целью могут использоваться соответствующие уравнения регрессии.

Например, для яровых и озимых зерновых культур уравнение имеет вид

$$\Delta W = a \cdot T_c + \epsilon r + CW + l, \quad (2.10)$$

где ΔW - изменение запасов продуктивной влаги за декаду (мм);

T_c - средняя за декаду температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$);

r – сумма осадков за декаду (мм);

W – запасы продуктивной влаги к началу декады (мм);

a, ϵ, c, l числовые параметры.

На рис. 2.6 приведен график для яровой пшеницы. Для восполнения пропущенного срока в данном случае необходимо знать запасы влаги в почве на начало декады, осадки за декаду и среднюю за декаду температуру воздуха. Пополнение данных за отдельные сроки наблюдений за влажностью почвы обычно не представляют трудности, необходимо только в каждом конкретном случае правильно выбрать нужные графики или уравнения.

Сравнимость средних многолетних запасов влаги в почве может быть обеспечена лишь в том случае, когда они (как и другие элементы климата) получены на основе однородного по годам и количеству лет исходного материала. Однако не исключено, что по каким-либо причинам на отдельных станциях нет наблюдений по некоторым культурам за ряд лет. Для восстановления таких пропусков можно использовать два приема.

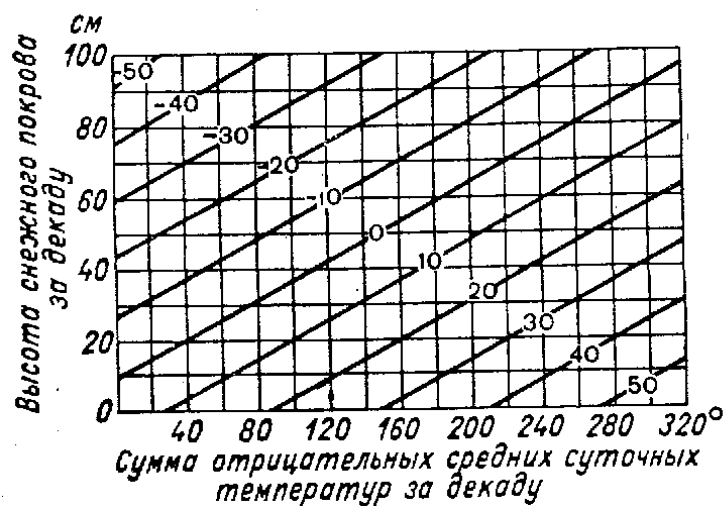


Рис.2.5 – Изменение глубины (см) промерзания почвы (изолинии в поле графика) для районов с глубоким залеганием грунтовых вод

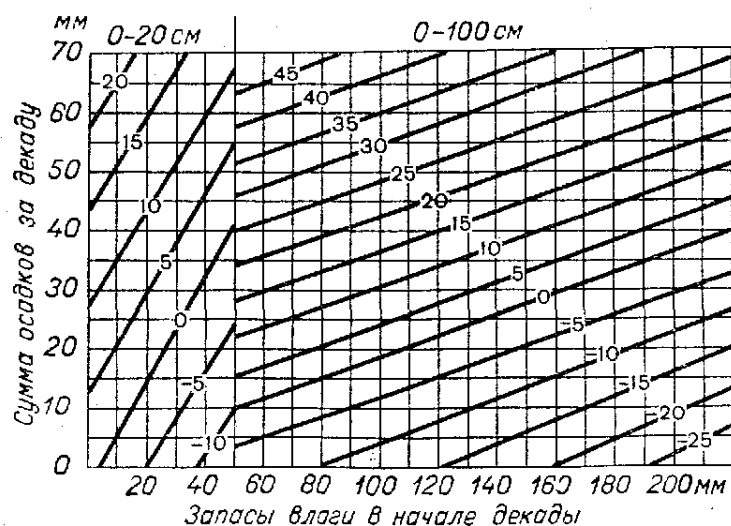


Рис. 2.6 – Изменение запасов продуктивной влаги в зоне черноземных почв под яровой пшеницей в период формирования всходов и листьев (до выхода в трубку) в слое почвы 0-20 и 0-100 см.

Первый из них заключается в восполнении данных от даты к дате на основе учета изменения метеорологических элементов, т.е. по указанным выше графикам Вериги-Разумовой-Мастинской.

Второй прием состоит по существу в использовании метода разности значений наблюдаемых элементов. В этом случае по станции за параллельные годы наблюдений находится средняя разность между запасами продуктивной влаги для каждого срока наблюдений для культуры, по которой пополняются данные и для культуры, имеющий полный ряд наблюдений. Чтобы пополнить данные за пропущенный год по данной культуре, полученную среднюю разность для каждой декады алгебраически складывают с фактическими запасами влаги каждой декады под другой культурой, имеющей наблюдения в этом году.

Для каждой декады это можно представить в виде

$$W_n = W_{\phi} + dW, \quad (2.11)$$

где W_n – запасы влаги в почве (на конец декады), пополненные по данной культуре за пропущенный год;

W_{ϕ} – запасы влаги (на конец той же декады) под другой культурой, имеющей наблюдения в рассматриваемом году;

dW – средняя разность запасов влаги в почве (для этой же декады) под культурой с пропущенным годом наблюдений и под культурой, имеющий полный ряд лет, полученная из данных параллельных наблюдений на обеих станциях.

После пополнения данных за пропущенные сроки наблюдений выводят средние многолетние величины запасов продуктивной влаги в почве. Принято их вычислять по слоям почвы 0-10, 0-20, 0-50 и 0-100 см. По данным Вериги С.А. и Разумовой Л.А. ряд наблюдений за влажностью почвы длиной в 20-25 лет достаточен для получения надежных средних многолетних величин, а также для расчета вероятности и обеспеченности различных величин влажности почвы в отдельные годы.

Могут отсутствовать и данные наблюдений за промерзанием и оттаиванием почвы. Они также должны быть восполнены. Это можно сделать с помощью соответствующих графиков или уравнений. Например, пополнение пропущенных сроков наблюдений за глубиной промерзания почвы для районов сильного увлажнения и высокого стояния грунтовых вод можно выполнить с использованием следующего уравнения

$$\Delta h_1 = - 0,280 H + 0,078 \Sigma T_1 + 0,02 h_1 + 5,7, \quad (2.12)$$

где Δh_1 – изменение глубины промерзания почвы за декаду (см);

H – высота снежного покрова к началу декады;

ΣT_1 – сумма отрицательных температур воздуха за декаду;

h_1 – глубина промерзания почвы к началу декады.

Отсутствующие данные наблюдений за оттаиванием почвы можно пополнить с помощью графиков или уравнений. Например, связь скорости оттаивания почвы с метеорологическими условиями в районах сильного увлажнения и высокого стояния грунтовых вод характеризуется следующим уравнением.

$$\Delta h_2 = 0,575 \cdot \Sigma T_2 + 0,125 h_2 + 3,0, \quad (2.13)$$

где Δh_2 – изменение глубины оттаивания почвы за декаду;

ΣT_2 – сумма положительных температур воздуха за декаду ($^{\circ}\text{C}$);

h_2 – глубина оттаивания почвы сверху к началу декады (см).

Для получения достаточно надежных величин средней наибольшей глубины промерзания почвы, абсолютного максимума и минимума промерзания почвы, средней многолетней продолжительности с устойчивым промерзанием средних дат начала промерзания почвы необходим однородный материал наблюдений за период не менее 20 лет.

Важным этапом агроклиматической обработки выше указанных материалов наблюдений является вычисление вероятности и обеспеченности различных значений влажности почвы и характеристик её промерзания. Указанные характеристики обычно вычисляют для больших градаций влажности почвы и укрупненных межфазных интервалов. Например, для яровых культур расчет обычно проводят за межфазные периоды: посев – всходы, всходы – выход в трубку, выход в трубку – колошение, колошение – молочная спелость, молочная спелость – восковая спелость.

Градации влажности почвы по слоям можно брать следующие:

- 1) в слое 0-20 см – 0-10, 11-20, 21-30, 31- 40 и более 40 мм.
- 2) в слое 0-50 см – 0-20, 21-40, 41-60, 61- 80 и более 80 мм.
- 3) в слое 0-100 см – 0-40, 41-80, 81-120, 121- 160 и более 160 мм.

Для определения вероятности глубины промерзания почвы обычно берут интервалы через 20 см: 0-20, 21-40, 41-60 и т.д. При определении вероятности времени устойчивого промерзания и полного оттаивания почвы расчеты ведут для промежутков времени с интервалами в 15 дней: 16-30 ноября, 1-15 декабря, 16-31 декабря и т.д.; 16-31 марта, 1-15 апреля, 16-30 апреля и т.д. При расчете вероятности продолжительности периода с устойчивым промерзанием почвы градации обычно ограничивают интервалами в 1 месяц.

Вероятность (%) вычисляется делением суммы случаев каждой градации на общее число случаев с последующим умножением частного на 100. Величина обеспеченности, как и в общей климатологии, определяется

как суммарная вероятность всех значений данного элемента выше или ниже определенного предела с применением формулы 2.4.

2.5 Специфика обработки фенологических наблюдений

Контроль и обработка фенологических наблюдений для агроклиматических целей имеют свои особенности. Основными этапами обработки наблюдений за фазами развития растений являются; технический локальный и критический контроль; пополнение недостающих данных в отдельные сроки и годы наблюдений; нахождение средних многолетних самых ранних и самых поздних дат наступления фаз развития каждой конкретной культуры; вычисление суммарной вероятности наступления фенологической фазы или периода вегетации культуры. Но, чтобы провести эту обработку, необходимо иметь многолетний материал фенологических наблюдений, однородный по сортам, срокам сева и периоду наблюдений по основным фазам развития каждой конкретной культуры.

Материалы фенологических наблюдений также дважды подвергаются техническому и локальному контролю. Повторный выборочный контроль проводится в УГМС или ГМО. Методика контроля данных фенологических наблюдений разработана А.А. Шиголевым [95]. Она дает хорошие результаты для районов избыточного и достаточного увлажнения, т.е. там, где развитие растений определяется термическим режимом и не лимитируется увлажнением. В засушливых и сухих районах методика Шиголева неприменима, так как основанная на суммах среднесуточных температур воздуха, она не учитывает недостатка влаги, задерживающее развитие растений.

Ниже рассмотрим основы критического контроля и агроклиматической обработки материалов фенологических наблюдений за озимыми культурами и древесной растительностью.

2.5.1 Контроль и обработка фенологических наблюдений за озимыми культурами

Сроки сева. Они не контролируются агроклиматологами. Но в каждом конкретном случае целесообразно сравнить расчетные (оптимальные) сроки сева с фактическими. Поэтому, используя методику Шиголева, желательно в конце осени рассчитать оптимальные сроки сева и сопоставить их с фактическими.

Всходы. При благоприятных агрометеорологических условиях после посева всходы у озимой ржи появляться на 5^й-6^й день, а у пшеницы – на 6^й-7^й день. Критический контроль всходов проводится с использованием сведений о влажности почвы в пахотном слое – 20 см и осадков. В

условиях достаточного увлажнения можно использовать показатели Шиголева для периода посев-всходы озимой ржи и озимой пшеницы, выраженные в суммах эффективных средних суточных температур воздуха выше 5 °С и соответственно равные 52 и 67 °С.

Для проверки времени наступления фазы всходов можно также использовать уравнение Е.С. Улановой [107].

$$n = \frac{74,2}{W^{0,74}}, \quad (2.14)$$

где n - продолжительность периода посев-всходы;

W – запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-20 см.

Это уравнение можно применять при температуре воздуха выше 14 °С и запасах влаги в слое почвы 0-20 см менее 30 мм.

3-й лист появляется при оптимальных условиях погоды на 3-й-7-й день после всходов. Запоздывание и наступление этой фазы связано с недостаточным увлажнением почвы и понижением температуры.

Кущение. Эта фаза развития растения наступает при благоприятных условиях вскоре после 3-ого листа. Однако часто в условиях недостатка влаги в почве или понижения температуры она может задерживаться и даже переходить на начало весны. При достаточных запасах влаги и температуре ниже 18 °С. Можно для проверки наступления этой фазы использовать сумму эффективных температур воздуха равную 67 °С как для озимой ржи, так и для пшеницы.

При температуре выше 13 °С и запасах влаги в слое почвы 0-20 см менее 30 мм можно пользоваться формулой Е.С.Улановой

$$n = \frac{93,4}{W^{0,64}}, \quad (2.15)$$

где n - продолжительность периода всходы-кущение;

W – запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-20 см.

Прекращение вегетации озимых культур обычно наблюдается в период перехода средней суточной температуры воздуха через 5 °С осенью.

Возобновление вегетации озимых культур наступает почти одновременно с переходом средней суточной температуры воздуха весной через 5 °С при условии, что растения перезимовали благополучно. Поэтому наступление этой фазы можно проконтролировать, сопоставляя дату наступления фазы с датой перехода средней суточной температуры воздуха через 5 °С. При неблагоприятных условиях перезимовки возобновление вегетации озимых зерновых культур может задерживаться.

Выход в трубку. Эта фаза при благополучной перезимовке растений наступает вскоре после возобновления вегетации. Однако наблюдатели часто допускают ошибки при фиксировании фазы из-за трудности её определения.

При контроле даты наступления этой фазы можно воспользоваться сопоставлением по близлежащей территории сумм температур, накопившихся за период от возобновления вегетации до выхода в трубку в данном году. Кроме того, можно воспользоваться константными суммами эффективных температур воздуха выше 5 °С 183 °С для озимой ржи и 330 °С для озимой пшеницы, рассчитанных в обратном порядке за период от колошения до выхода в трубку. Допустимая разность в этом случае наблюдаемых и расчетных дат составляет ± 3 дня.

Колошение. Фаза считается опорной для проверки других фенологических фаз развития. Правильность фиксации наблюдателем контролируется путем сопоставления с суммой температур, накопившихся от возобновления вегетации до наступления этой фазы.

Цветение. Наступление этой фазы для ржи можно проверить по накоплению. Сумм активных температур, равных 144 °С (за период от колошения до цветения). Кроме того, для этой же цели можно использовать данные аномалий дат наступления фазы в данном году по сравнению с проверенным прошлым годом.

Молочная спелость. Наступление этой фазы для озимой ржи может быть проверено по сумме температур, равной 225 °С (за период от цветения до молочной спелости). Для озимой пшеницы аналогичная сумма за период от колошения до молочной спелости составляет 230 °С. Расчетные даты и в этих случаях сопоставляются с наблюдениями.

Восковая спелость – одна из наиболее трудных для наблюдения фаз. Контроль её наступления можно провести по суммам температур, накопившихся от молочной спелости до восковой (175° для озимой ржи и 260° для озимой пшеницы), или по аномалиям дат наступления фазы в данном году по сравнению с прошлым годом.

Полная спелость. Проверка правильности наблюдения этой фазы может быть осуществлена путем сопоставления периодов восковая спелость – полная спелость. Обычно эти периоды по продолжительности близки, если условия погоды были одинаковыми.

После критического контроля материалы фенологических наблюдений могут использоваться для составления агрометеорологических ежегодников и решения различных агроклиматических задач. Многолетние фенологические материалы позволяют получить средние многолетние даты фаз развития сельскохозяйственных культур в данном пункте.

Рассмотрим особенности агроклиматической обработки фенологических наблюдений за озимыми культурами. Надежные средние

величины можно получить по материалам наблюдений продолжительностью в 20-25 лет. Поэтому обнаруженные пропуски в наблюдениях отдельных фаз необходимо восстановить. Пополнение пропусков в наблюдениях можно осуществить несколькими способами: методом разностей; расчетным по агрометеорологическим показателям; картографическим, графическим.

Для восстановления пропущенных дат методом разности сопоставляются данные станций, не слишком удаленных друг от друга. Разности между соответствующими фенологическими датами приводимых пунктов можно считать устойчивыми, если в отклонениях за ряд лет преобладает один знак (плюс или минус).

Расчет недостающих фенологических дат по агрометеорологическим показателям можно выполнить при наличии константных сумм эффективных температур воздуха выше 5°C по периодам вегетации конкретной культуры, т.е. применить те же методы, что и при критическом контроле. Кроме того, отдельные пропущенные даты можно восстановить методом интерполяции, если для данного района построить карты наступления фаз в данном году.

Если по каким-либо причинам фенологические наблюдения за культурой не проводились в течение целого года, то их можно восстановить, используя метод сопряженных наблюдений за прошлые годы. Например, в данном году не велись наблюдения за озимой рожью, а в прошедшие годы были синхронные наблюдения за рожью и пшеницей. В этом случае по данным прошлых лет составляют графики сопоставления дат наступления определенных фаз в развитии озимой ржи и озимой пшеницы и по ним восстанавливают пропуски наблюдений всего года. Графическим способом можно также пополнить недостающую фенологическую дату. В этом случае на графике по оси Y наносят даты наступления определенной фазы одной культуры (или сорта), а по оси X – даты наступления этой же фазы другой культуры (или сорта) за годы параллельных наблюдений. Для приведения к длинному ряду средних величин короткорядных фенологических материалов рекомендуется использовать формулу 2.9.

2.5.2 Контроль и обработка фенологических наблюдений за древесной растительностью

Критический контроль фенологических материалов наблюдений за древесной растительностью не представляет большого труда, так как развитие древесных культур достаточно строго следует за термическими условиями среды. Поэтому проверка отмеченных наблюдениями дат проводится по известным суммам температур, т.е. методом сопоставления рассчитанных и наблюденных дат.

Кроме того, можно использовать метод сопоставления фенологических аномалий. Для примера приводится табл.2.4, где даются контрольные даты начала цветения абрикоса. Эта таблица наглядно показывает, что константа 88^0 (представляющая сумму эффективных температур) дает возможность вполне надежно проверять даты начала цветения абрикоса в разных пунктах территории ЕЧ СНГ.

Таблица 2.4 – Проверка фазы начала цветения абрикоса

Станция	Дата начала цветения	Сумма эффективных температур более 5^0 (град)	Число дней с температурой более 5^0	Дата накопления 88^0 ($\pm 3^0$)	Отклонение фактических дат от вычисленных
Белореченская	22 III	90	25	22 III	0
Салгирка	23 III	96	23	22 III	+1
Ташлы-Кипчак	26 III	91	21	26 III	0
Херсон	10 IV	83	28	11 IV	-1
Вознесенск	15 IV	85	30	15 IV	0
Одесса	17 IV	85	34	17 IV	0
Мигея	19 IV	88	30	19 IV	0
Изюм	24 IV	97	25	24 IV	0
Цимлянская	24 IV	79	20	25 IV	-1
Нижнечирская	25 IV	84	19	26 IV	-1
Мариуполь	26 IV	89	24	26 IV	0
Прилуки	27 IV	86	24	27 IV	0

Однако этот метод можно использовать далеко не всегда. Например, если весна была затяжная, или, наоборот, дружная, ранняя, или наблюдались неблагоприятные условия перезимовки древесных культур то между рассчитанными и зафиксированными датами возможны большие отклонения. Поскольку такие отклонения могут наблюдаться на обширной территории, то анализ материала будет своеобразной формой контроля в подобных случаях.

Обработка многолетних материалов фенологических наблюдений за древесной растительностью, включая плодовые культуры и виноград, сводится, прежде всего, к восстановлению пропущенных наблюдений за фазами развития. Их можно восстановить, используя указанные ранее методы: расчетный по суммам температур, необходимых для наступления данной фазы; графический – путем сопоставления фенологических дат

культуры на двух станциях и т.п. Определение средних и крайних дат фаз развития древесных культур также не представляет труда.

Иногда для приведения средних величин, вычисленных по коротким рядам к длинному периоду используют закономерность синхронного развития ряда древесных культур. В этом случае строят графики синхронности сроков, например, начала цветения серой ольхи, березы, черемухи, рябины и липы на ст. А и Б. Если нужно определить по среднему сроку цветения вишни на ст. Б (18 мая) среднюю многолетнюю дату цветения вишни на ст. А, то, пользуясь таким графиком, получает ответ – 24 мая.

Для определения средних многолетних дат наступления фаз развития древесных можно также использовать метод, рекомендованный Ф.Ф. Давитая. Сущность его заключается в следующем. Допустим, на станции А отсутствуют наблюдения за датой цветения вишни, но для составления фенокарты эта величина необходима. Тогда на небольшом удалении от ст. А выбираем станции Б и В, для которых известны средние многолетние даты цветения вишни. Используя гистограммы, находим для станций Б и В агроклиматический показатель цветения - среднюю температуру воздуха на дату цветения вишни. Обычно такие средние очень близки для рядом расположенных станций. Поэтому полученный показатель можно использовать и для станции А, определяя по ее гистограмме среднюю многолетнюю дату цветения вишни.

2.5.3 Расчет вероятности наступления фенологических фаз в отдельные годы

Изменчивость наступления фаз развития растений в отдельные годы достигает больших величин, ± 20 дней в северных районах ЕТ СНГ и ± 15 дней – в южных. С продвижением с запада на восток территории СНГ она уменьшается и составляет на Дальнем Востоке ± 10 дней. В горных районах она зависит от высоты над уровнем моря, форма рельефа и экспозиции склонов. В связи с этим составляются отдельные типовые кривые номограммы вероятности сроков наступления фаз развития в различные годы для территорий, однородных в климатическом отношении.

Для расчета интегральных кривых вероятности выбирают станции с достаточно длинным рядом наблюдений (20-25 лет). Вероятность рассчитывается по основным фазам развития конкретной культуры. Например, для озимых такие расчеты выполняются для возобновления вегетации, колошения, цветения, молочной и восковой спелости. Кривые распределения фенологических дат, так же как кривые вероятности перехода температуры воздуха через различные пределы близки к кривым нормального распределения. Поэтому вероятность наступления фенодат можно выполнить аналитическим способом по среднему квадратическому

Таблица 2.5 – Вероятность (%) наступления фаз колошения озимой ржи (ст.Купина)

Показатели	Вероятность (%)								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Коэффициент (K_r)	-1,28	-0,84	-0,52	-0,25	0	0,25	0,52	0,84	1,28
Отклонение в днях ($\sigma = 7,3$)	-9	-6	-4	-2	0	2	4	6	9
Даты отклонений от средней (13 VII)	4 VII	7 VII	9 VII	11 VII	13 VII	15 VII	17 VII	19 VII	22 VII

Таблица 2.6 – Начало цветения черемухи, сирени различной вероятности (%) ранее указанных дат

Средняя дата	Вероятность (%)										
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
10 V	24 IV	29 IV	3 V	6 V	9 V	11 V	13 V	15 V	17 V	22 V	24 V
15 V	29 IV	4 V	8 V	11 V	14 V	16 V	18 V	20 V	22 V	27 V	29 V
20 V	4 V	9 V	13 V	16 V	19 V	21 V	23 V	25 V	27 V	1 VI	3 VI
25 V	9 V	14 V	18 V	21 V	24 V	26 V	28 V	30 V	1 VI	6 VI	8 VI
31 V	15 V	20 V	24 V	27 V	30 V	1 VI	3 VI	5 VI	7 VI	12 VI	14 VI
5 VI	20 V	25 V	29 V	1 VI	4 VI	6 VI	8 VI	10 VI	12 VI	17 VI	19 VI

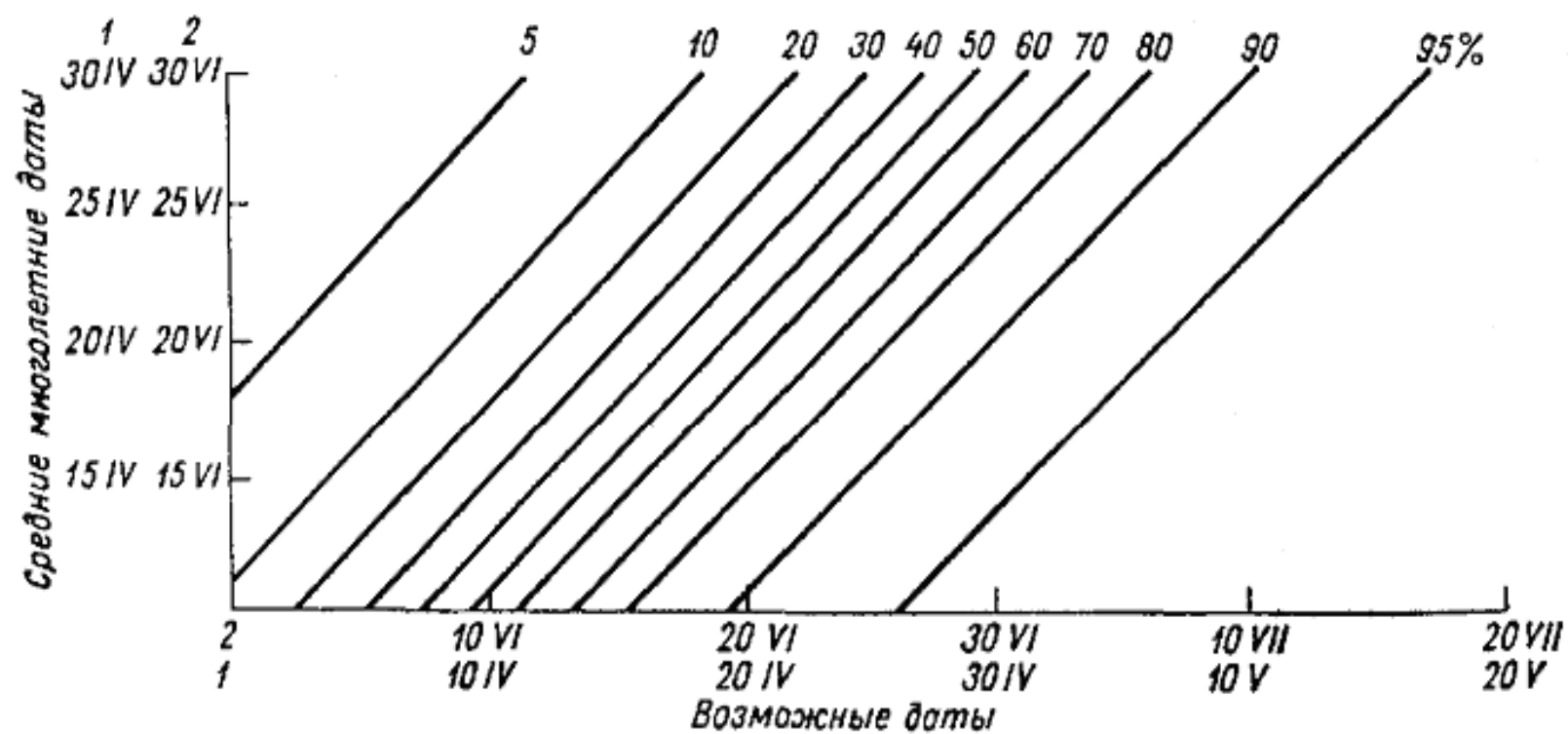


Рис.2.7 – Номограмма для расчета обеспеченности фаз развития клевера.

отклонению (σ) от средней многолетней даты, используя коэффициенты кривой нормального распределения (K_z), т.е. по формуле 2.5.

В таблице 2.5 дан пример расчета суммарной вероятности наступления фазы колошения озимой ржи. Полученное среднее квадратическое отклонение (σ) умножают на соответствующие коэффициенты Гауссовой кривой (первая строка (табл. 2.5) и получают для каждой фенодаты вероятность отклонений от средней многолетней даты (вторая строка табл.2.5). Прибавляя или вычитая значения отклонений ($n = \sigma K_z$) от средней даты находим абсолютные значения возможных дат колошения озимой ржи различной вероятности (третья строка табл. 2.5).

По полученным данным обеспеченности конкретной фенодаты культуры строится типовая кривая вероятности фенодат в отклонениях от средней или кривая вероятности фенодат в абсолютных значениях. На оси абсцисс наносятся градации положительных и отрицательных отклонений фенодат от средней или абсолютные значения возможных фенодат различной вероятности; на оси ординат – вероятности с шагом в 10 %.

Номограмма вероятности фенодат строится так же, как и номограмма для других элементов, т.е. по ряду станций, охватывающих значительную территорию. На рис. 2.7 представлена номограмма обеспеченности для расчета возможных дат развития клевера по средним датам. Для каждой станции рассчитываются суммарные вероятности с последующим построением кривых. С каждой из них снимаются значения обеспеченности фенодат относительно средней многолетней даты и составляется сводная таблица для последующего построения номограммы обеспеченности. Примером может служить табл.2.6, где даны возможные фенодаты начала цветения черемухи и сирени различной вероятности относительно средних дат.

РАЗДЕЛ II МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ТЕРРИТОРИИ

Глава 3 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ТЕРРИТОРИЙ

3.1 Радиационный баланс подстилающей поверхности и его географическая изменчивость

Солнце – ближайшая к земле звезда, принадлежащая к классу желтых звезд-карликов. Диаметр Солнца около 1,4 млн. км. среднее расстояние от Земли 149,5 млн. км. В результате происходящих на Солнце ядерных реакций температура на его поверхности равна приблизительно 6000 °С, что обуславливает излучение Солнцем значительного количества энергии. Поступающая от Солнца на Землю радиация является единственной формой прихода лучистой энергии, определяющей тепловой баланс и термический режим Земли. Радиационная энергия, приходящая к Земле от всех других небесных тел, настолько мала, что не оказывает сколько-нибудь заметного влияния на происходящие на Земле процессы теплообмена.

Солнечная радиация, приходящая к верхним слоям атмосферы, характеризуется солнечной постоянной S_0 ; она принята равной 1,98 кал/см²мин, что соответствует освещенности порядка 140 тыс.лк. К поверхности Земли солнечная радиация приходит обычно лишь в течении части суток. Суточная продолжительность освещения земной поверхности определяется астрономическими факторами – вращением Земли вокруг оси и наклоном относительно Солнца. Вращение Земли обуславливает смену дня и ночи, наклон Солнца – изменение длины дня и ночи в течении года.

Излучение Солнца (солнечная радиация) служит источником энергии многих процессов, происходящих в природе. К ним, прежде всего относится жизнедеятельность растений, животного мира и человека. Рост и развитие сельскохозяйственных культур представляют собой процесс усвоения и переработки солнечной энергии. Она обеспечивает растения энергией, которую они используют в процессе фотосинтеза для создания органического вещества, влияет на процессы роста и развития, расположение и строение листьев, на химический состав и качество продукции, образование урожая, продолжительность вегетации, а также на ряд их свойств – засухоустойчивость, морозоустойчивость.

В связи с тем, что Земля окружена сплошной оболочкой атмосферы, солнечные лучи, прежде чем достичь поверхности Земли, проходят всю толщу атмосферы, которая частично отражает их, частично рассеивает, изменяя тем самым количество и качество солнечной радиации, поступающей к поверхности Земли. При агроклиматической оценке солнечной энергии необходим дифференцированный учет всех видов радиации, а именно: прямой солнечной радиации, рассеянной радиации и суммарной радиации.

Прямая солнечная радиация представляет собой поток солнечных лучей, непосредственно падающих на поверхность Земли. Её интенсивность зависит от высоты солнца, состояния атмосферы (наличие в ней облачности, пыли, водяного пара и др.) и времени года. Молекулы газов, входящих в состав атмосферы, частички водяного пара (облака), пыль, взвешенная в атмосфере, рассеивают часть солнечной радиации. Солнечная радиация, дошедшая до нижних слоев атмосферы и поверхности почвы после рассеяния атмосферой, а также отраженной облаками, называется рассеянной радиацией. Общий приход прямой солнечной и рассеянной радиации называется суммарной радиацией.

Свет и тепло, получаемые растениями от Солнца, являются результатом действия не только прямой, но и рассеянной радиации, т.е. результатом действия суммарной радиации. Последняя служит основной приходной частью радиационного баланса деятельной поверхности. Прямую солнечную, рассеянную и суммарную радиацию называют коротковолновой радиацией, в отличие от радиации, излучаемой атмосферой и поверхностью почвы, называемой длинноволновой.

Часть суммарной радиации, отраженной от деятельной поверхности называется отраженной радиацией, а величина, характеризующая отражательную способность поверхности, называется альбедо. Альбедо выражается отношением отраженной радиации к суммарной радиации. В табл. 3.1 представлены типичные значения альбедо для различных видов поверхности суши по данным М.И. Будыко [17]. Характер подстилающей поверхности меняется в течении года. Поэтому альбедо подстилающей поверхности имеет годовой ход.

Таким образом, на деятельной поверхности непрерывно наблюдается прихода-расход лучистой энергии Солнца. Приход состоит из прямой радиации S ; рассеянной радиации D и из излучения атмосферы E_a . Расход складывается из отраженной радиации R_k , собственного излучения подстилающей поверхности E_s относительного коэффициента поглощения длинноволновой радиации подстилающей поверхности δ , встречного излучения атмосферы E_a .

Таблица 3.1 – Альбе́до естественных поверхностей (А)

Вид поверхности	А	Вид поверхности	А
<u>Снег и лёд</u>		<u>Поля, луга, тундра</u>	
Свежий сухой снег	0,85-0,95	Поля ржи и пшеницы	0,10-0,25
Чистый снег	0,60-0,70	Картофельные поля	0,15-0,25
Загрязненный снег	0,40-0,50	Хлопковые поля	0,20-0,25
Морской лёд	0,30-0,40	Луга	0,15-0,25
<u>Обнаженная почва</u>		Сухая степь	0,20-0,30
Черноземные почвы	0,05-0,15	Тундра	0,15-0,20
Влажные серые почвы	0,10-0,20	<u>Древесная растительность</u>	
Сухие глинистые почвы	0,20-0,35	Хвойные леса	0,10-0,15
Сухие серые почвы	0,20-0,35	Лиственные леса	0,15-0,20
Сухие песчаные почвы	0,35-0,40	Лес при снежном покрове: неустойчивом	0,25-0,30
		устойчивом	0,40-0,45

Разность между расходом и приходом радиации называется радиационным балансом деятельной поверхности и обозначается буквой R. Уравнение радиационного баланса имеет вид:

$$R = (S' + D - R_k) - (E_s - \delta E_a) = Q(1 - A) - E_e, \quad (3.1)$$

где Q – суммарная радиация;

A – альбе́до подстилающей поверхности;

$Q(1 - A)$ – поглощенная коротковолновая радиация;

E_e – встречное излучение атмосферы.

Закономерности радиационного баланса определяются различными факторами, влияющими на его основные составляющие [17, 34, 80]. Ночью значение радиационного баланса, определяемое только эффективным излучением, зависит от температуры подстилающей поверхности, облачности и стратификации атмосферы. Днем основная составляющая радиационного баланса – суммарная радиация зависит от высоты солнца, облачности и альбе́до подстилающей поверхности. Здесь будут рассматриваться закономерности радиационного баланса на поверхности метеорологической площадки: в теплый период года - поверхности с естественным травяным покровом, в холодный период года - поверхности снежного покрова.

Рассмотрим географические особенности распределения радиационного баланса земной поверхности. Как видно из рис. 3.1 годовые суммы радиационного баланса поверхности суши изменяются от значений

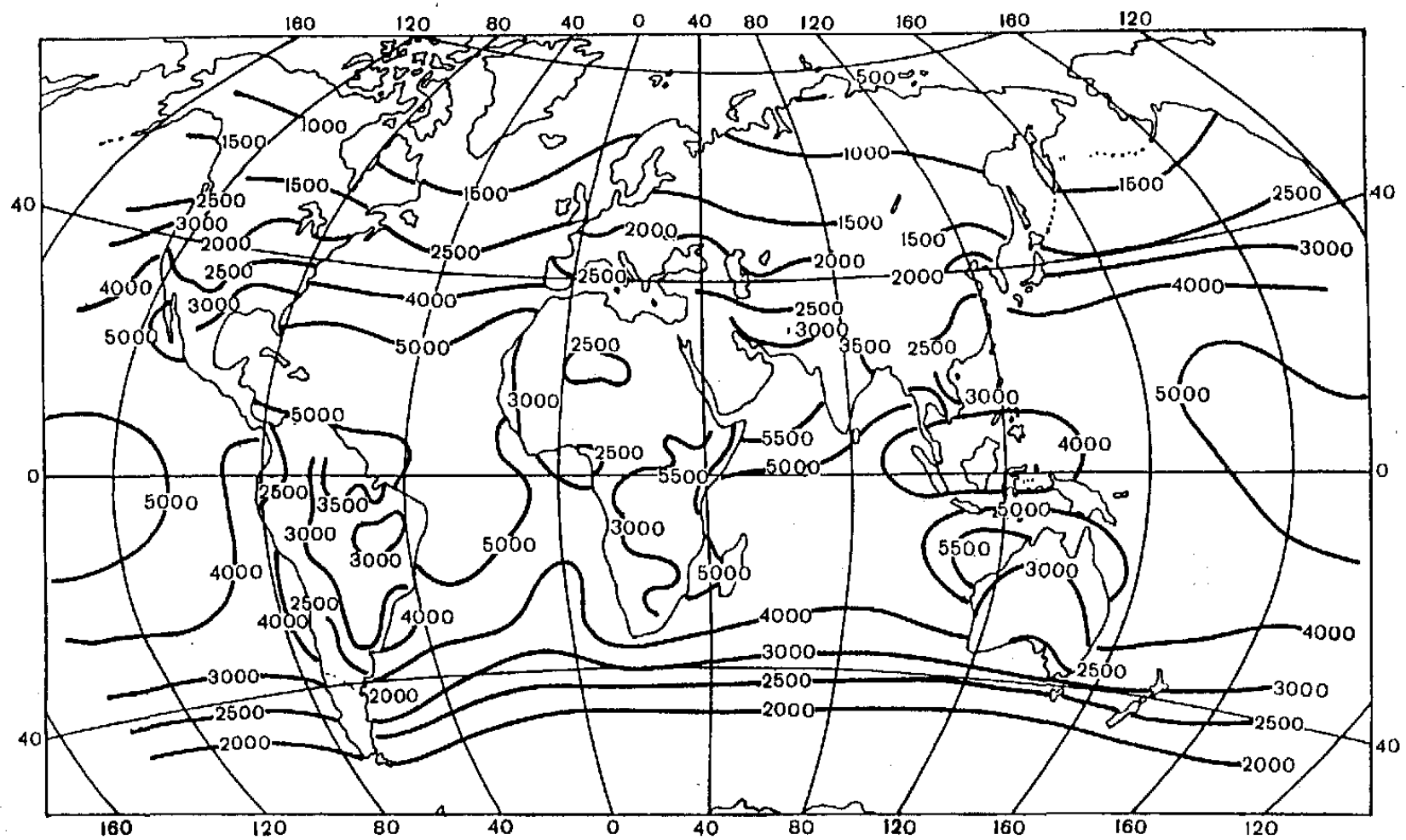


Рис. 3.1 - Радиационный баланс земной поверхности за год (МДж/м²)

меньше 200 МДж/м² в Антарктиде до 4000-5000 МДж/м² в тропических широтах. В средних высоких широтах полушарий Земли имеет место зональное распределение радиационного баланса, которое нарушается в областях, где существенно увеличивается облачность по действием циклонической деятельности. На территории СНГ годовые суммы радиационного баланса увеличиваются в направлении с севера на юг и юго-восток от 800-900 МДж/м² до 2500 МДж/м²; т.е. в три раза (табл.3.2).

Таблица 3.2 – Годовые суммы радиационного баланса подстилающей поверхности (МДж/м²) на территории СНГ

Станция	R	Станция	R
Оленек	889	Якутск	1340
Хибины	1029	Омск	1585
Воейково	1309	Одесса	2179
Куйбышев	1790	Ташкент	2545

Представляет интерес значения радиационного баланса в летние и зимние месяцы. Над сушей в январе в полярных и умеренных широтах наблюдается отрицательный радиационный баланс, изменяющийся от –40 до –90 МДж/м² за месяц. В тропических широтах радиационный баланс положителен и составляет 120-200 МДж/м². Летом радиационный баланс положителен на всей территории земного шара и колеблется примерно от 250 МДж/м² за месяц в полярных районах до 500 МДж/м² в тропических широтах.

В настоящее время данные по режиму солнечной радиации широко применяются при решении многих проблем биологии, особенно в области экологии и физиологии растений, а также в агроклиматических исследованиях, связанных с продуктивностью сельскохозяйственных культур. Радиационный баланс деятельной поверхности – это энергетическая база формирования тепловых ресурсов и транспирации растительного покрова. М.И. Будыко [17], изучая связь радиационного баланса с некоторыми физико-географическими характеристиками, установил тесную зависимость между радиационным балансом за год и суммой активных температур воздуха выше 10 °С (рис. 3.2). Позднее подобный график связи был построен для территории Западной Сибири В.В. Орловой. Графики такого типа являются физическим обоснованием использования сумм активных средних суточных температур воздуха выше 5 °С, 10, 15 °С как агроклиматических показателей тепловых ресурсов той или иной территории и теплообеспеченности культурных растений.

Используя концепцию А.А. Григорьева и М.И. Будыко [15] о связи продуктивности растительных сообществ с годовой суммой

$\Sigma T, ^\circ C$

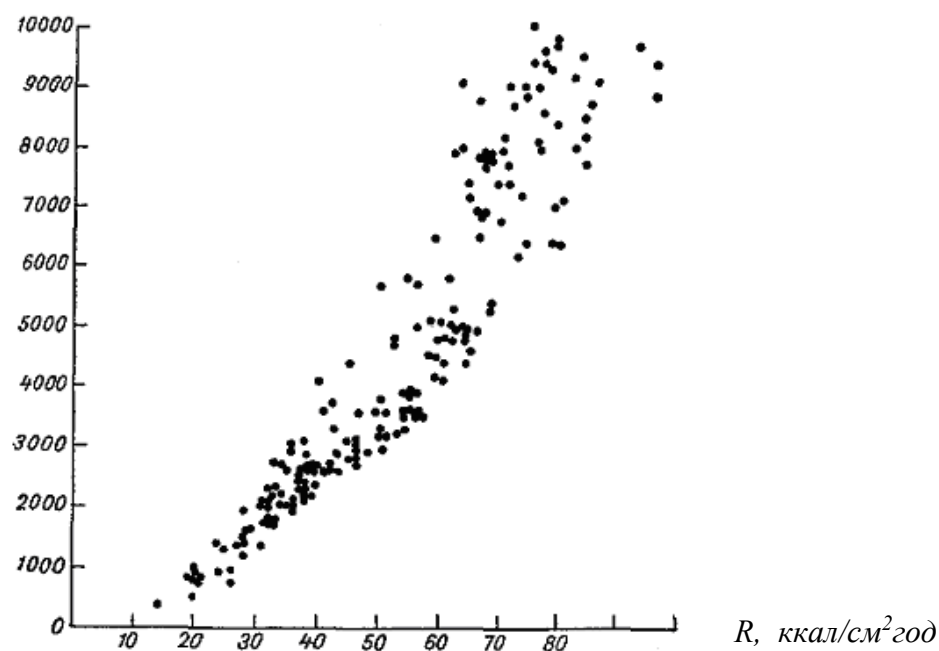


Рис.3.2 – Сравнение сумм температур со значениями радиационного баланса

$R, \text{ кка}/(\text{см}^2\text{год})$

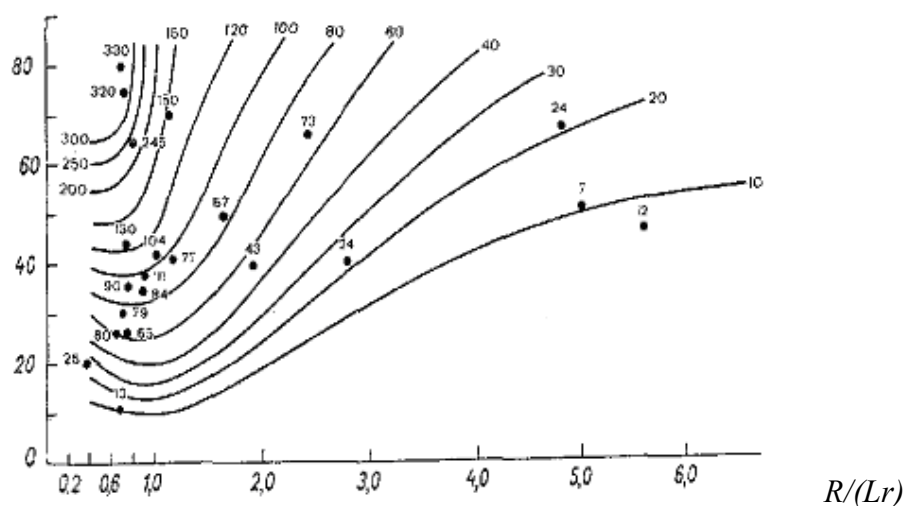


Рис.3.3 – Зависимость продуктивности растений (годового прироста биомассы надземной и подземной частей растений в сухом весе) от радиационного баланса R и радиационного индекса сухости $R/(Lr)$

радиационного баланса и радиационный индексом сухости, Н.А. Ефимова [28] установила зависимость продуктивности природных растительных покровов (РП) от ресурсов тепла и влаги на территории бывшего СССР. На рис.3.3 по вертикальной оси отложены годовые суммы радиационного баланса R , а по горизонтальной – радиационный индекс сухости R/Lr , представляющий собой отношение годовых сумм радиационного баланса к количеству тепла L , необходимого для испарения годовой суммы осадков r . Линии на комплексном графике соответствуют значениям продуктивности РП (среднего годичного прироста сухого органического вещества надземной и подземной частей растений ц/га). Наглядно видно, что продуктивность растений увеличивается с возрастанием радиационного баланса при малых значениях индекса сухости и уменьшается в несколько раз при увеличении индекса сухости от 1,0 до 6,0.

3.2 Методы оценки радиационно-световых ресурсов территорий

При оценке действия лучистой энергии на растения учитывается продолжительность освещения, интенсивность и спектральный состав солнечного света. Реакция растений на эти показатели и их физическая сущность изложены в главе 1, § 1.1. Здесь же остановимся на количественных определениях основных показателей радиационно-световых ресурсов.

Выявленная реакция различных экологических групп растений на длину дня определяет продолжительность их фотосинтетической деятельности. Поэтому длина дня (n_d) и ночи (n_n) в часах широко используются как показатели продолжительности освещения и термопериодической деятельности (т.е. реакции растений на длину дня и ночи в период активной вегетации. Для растений длинного дня нормальная продолжительность освещения составляет 15-18 часов, для растений короткого дня – 12-14 часов.

Нередко продолжительность дня вместе с характеристикой термических ресурсов используются совместно в виде комплексного показателя Жеслена (последний представляет собой произведение сумм температур на длину дня).

Ф.Ф. Давитая [95] предложил комплексный индекс (FT), учитывающий одновременно термические и световые ресурсы:

$$FT = \sum_{i=D_n}^{D_K} [C(\bar{\theta} + \Delta T_{p-B} - \theta_o)] \cdot L, \quad (3.2)$$

где D_n - дата начала фазы развития;

D_k – дата конца фазы;

C – коэффициент, учитывающий влияние дневного максимума температуры и тормозящих температур;

2 – средняя суточная температура воздуха;

T_{p-B} – разность температур растений и воздуха;

2_0 – биологический нуль;

L – множитель, учитывающий влияние длины дня.

Важным показателем световых ресурсов территории является продолжительность солнечного сияния (ΣS_c) в часах, рассчитанная за год или вегетационный период развития сельскохозяйственных культур. Из табл.3.3 видно, что ΣS_c за год существенно возрастают в направлении с севера ЕЧ СНГ на юг от 1563 часов до 2460 часов.

Вопрос обеспеченности световыми ресурсами вегетационного периода культурных растений изучался Г.Т. Селяниновым. Из построенной им карты для территории СНГ следует, что на севере ($\varphi = 70^\circ$ с.ш.) продолжительность дня с 17 мая по 28 июля составляет 24 часа, а сумма часов солнечного сияния (ΣS_c) не превышает 500 часов. На юге Украины продолжительность дня в июне составляет 16 часов, а ΣS_c превышает 1500 часов; на юге Среднеазиатских республик указанные величины соответственно равны в июне-июле 14 часам, а ΣS_c возрастают о 2000 часов. Следовательно, за период вегетации на территории СНГ продолжительность дня уменьшается с севера на юг почти в 2 раза, а сумма часов солнечного сияния возрастают в этом направлении в 4 раза.

Энергетической основой земледелия служит суммарная солнечная радиация (ΣQ), в особенности, фотосинтетически активная радиация – ФАР (ΣQ_p). Согласно исследованиям Н.А. Ефимовой [34] суммы ФАР за теплый период с T_c выше 10°C в тундре не превышают 500-700 МДж/м²; в умеренных широтах Земного шара ΣQ_p увеличиваются до 1400-1600 МДж/м². В полупустынях и пустынях умеренных широт суммы ФАР за тот же период возрастают до 2400-3200 МДж/м². В субтропиках ΣQ_p составляют 3600-4100 МДж/м²; в тропических пустынях суммы ФАР увеличиваются до 3900-4400 МДж/м². Только на территории СНГ суммы суммарной радиации и суммы ФАР возрастают в три раза в направлении с севера на юг и юго-восток.

Поскольку во многих странах Мира, актинометрические наблюдения проводятся в ограниченном виде, разработаны косвенные методы актиоклиматологических расчетов по продолжительности солнечного сияния или по облачности. Наиболее распространенной являются формула В.Н. Украинцева, уточненная впоследствии С.И. Сивковым [94] вида:

$$\Sigma Q = 49 \cdot S_c^{1,31} \cdot 10^{-4} + 10,5(\text{Sin} h_\theta)^{2,1}, \quad (3.3)$$

Таблица 3.3 – Продолжительность солнечного сияния в часах за отдельные месяцы и за год на территории России и Украины

Станция	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Санкт-Петербург	17	38	111	166	253	263	277	212	130	66	21	9	1563
Москва (ТСХА)	30	58	113	161	242	256	258	218	136	73	32	20	1597
Воронеж	38	656	114	174	233	278	292	250	189	107	49	38	1828
Львов	58	67	116	167	238	239	253	227	191	139	52	45	1792
Киев	42	64	112	162	257	273	287	252	189	123	51	31	1843
Полтава	57	77	128	181	264	293	296	275	214	141	58	37	2021
Волгоград	54	82	135	209	279	313	332	311	242	139	83	46	2225
Синельниково	67	73	127	182	252	290	313	285	223	154	67	42	2069
Жданов	76	80	145	210	290	308	352	334	260	171	80	51	2338
Одесса	71	79	129	197	266	298	327	304	240	172	69	55	2207
Симферополь	92	94	159	207	276	314	347	320	260	203	114	74	2460
Ялта	76	83	140	187	242	290	326	304	240	176	101	69	2234

где S_c – действительная продолжительность солнечного сияния за месяц, период (часы);

h_θ - высота солнца в полдень на середину месяца.

Полуденная высота Солнца определяется по уравнению

$$h_\theta = 90^\circ - \varphi + \delta_\theta, \quad (3.4)$$

где φ - широта места;

δ_θ - склонение Солнца.

Отклонения вычисленных месячных сумм суммарной радиации за отдельные годы от измеренных ΣQ до широты 65° обычно не превышает 5-10 %.

Фотосинтез, протекающий благодаря поглощению ФАР растениями, является главным фактором в получении урожая. Согласно исследованиям Б.И.Гуляева, Х. Молдау, Х.Г. Тооминга [94] переход от коротковолновой радиации к ФАР для горизонтальной поверхности осуществляется по формулам

$$\Sigma S_\phi = \bar{C}_s \cdot \Sigma S \quad (3.5)$$

$$\Sigma D_\phi = \bar{C}_d \cdot \Sigma D \quad (3.6)$$

где ΣS_ϕ , ΣD_ϕ , ΣQ_ϕ – суммы соответственно прямой, рассеянной и суммарной радиации, подсчитанных за день, декаду, месяц и вегетационный период;

$\bar{C}_s, \bar{C}_d, \bar{C}_o$ - средние коэффициенты перехода от КВР к ФАР.

Расчетный и экспериментальный методы показали сравнительно хорошую стабильность и географическую универсальность переходных коэффициентов. Можно принять $C_s = 0,43$ и $C_d = 0,57$. Отсюда следует, что дневные суммы ФАР можно рассчитать по формуле

$$\Sigma Q_\phi = 0,43 \Sigma S + 0,57 \Sigma D = 0,5 \Sigma Q \quad (3.8)$$

Агроклиматическая оценка энергетических ресурсов в конкретной местности выполняется по суммам суммарной радиации ($\Sigma Q'$) и суммам ФАР ($\Sigma Q'_\phi$) за теплый период со средней суточной (T_c) или средней дневной (T_d) температурами воздуха выше 5, 10, 15 $^\circ\text{C}$ с применением следующих формул:

$$\Sigma Q' = (\Sigma Q_{IV} + \Sigma Q_V + \dots + \Sigma Q_X) \quad (3.9)$$

$$\Sigma Q'_{\Phi} = (\Sigma Q_{\Phi IV} + \Sigma Q_{\Phi V} + \dots + \Sigma Q_{\Phi X}), \quad (3.10)$$

где ΣQ , ΣQ_{Φ} - месячные суммы суммарной радиации и ФАР; индексы IV, V, VI и до X характеризуют месяцы с апреля по октябрь. За неполные месяцы (в начале и конце периода) суммы суммарной и фотосинтетически активной радиации рассчитываются по соответствующим графикам годового хода этих показателей с учетом дат перехода температуры воздуха через 5, 10, 15 °C.

За последние годы в целях уплотнения агроклиматической информации рядом авторов установлены количественные зависимости между показателями радиационно-световых и тепловых ресурсов для различных регионов СНГ. Например, З.А. Мищенко, Г.В. Ляшенко, С.В. Ляхова [59, 65] предложили формулы расчета месячных сумм суммарной радиации (МДж/м²) по продолжительности солнечного сияния (час.) для весны, лета, осени применительно к территории Украины. Формулы имеют вид;

$$\text{Весна } \Sigma Q = 2,114 \Sigma S_c + 44,92 \quad (3.11)$$

$$\text{Лето } \Sigma Q = 1,678 \Sigma S_c + 134,92 \quad (3.12)$$

$$\text{Осень } \Sigma Q = 1,927 \Sigma S_c - 29,88 \quad (3.13)$$

Коэффициенты корреляции (r) составляют соответственно: 0,97; 0,80; 0,98. Это указывает на достаточно высокую тесноту связей для равнинных земель.

Для региональной оценки показателей радиационно-тепловых ресурсов на территории Украины за теплый период со средней суточной температурой воздуха выше 10 °C установлены взаимосвязи между $\Sigma Q'$ и ΣT_c , $\Sigma Q'_{\Phi}$ и ΣT_c , ΣS_c и ΣT_c . Уравнения имеют вид:

$$\Sigma Q' = 0,89 \cdot \Sigma T_c + 450,2 \quad (3.14)$$

$$\Sigma Q'_{\Phi} = 0,44 \cdot \Sigma T_c + 225,1 \quad (3.15)$$

$$\Sigma S'_c = 0,47 \cdot \Sigma T_c + 30,34 \quad (3.16)$$

Коэффициенты корреляции оказались достаточно высокими и колеблются в пределах 0,91-0,96.

Выполненные методические разработки позволили З.А. Мищенко и С.В. Ляховой получить массовые данные по $\Sigma Q'$, $\Sigma Q'_{\Phi}$ и $\Sigma S'_c$ за теплый

период с T_c выше 10°C и выполнить агроклиматическое районирование радиационно-световых и тепловых ресурсов на территории Украины в среднем масштабе (1:750000). К карте (рис. 3.4) прилагается легенда в виде табл.3.4, содержащая количественную информацию по этим показателям, а также по $\sum T_c$ выше 10°C и продолжительности теплого периода (N_{mn}). На карте выделено семь микрорайонов. Диапазон зональных различий (1, 7 микрорайоны) составляет в $\sum Q'$, $\sum S_c$, $\sum T_c$ и N_{mn} соответственно 1000 МДж/м², 545 часов, 1150°C и 40 дней. Эти материалы являются необходимой основой для научного обоснования рационального размещения однолетних и многолетних культур на сортовом уровне в пределах страны, а также на территориях административных областей.

При этом необходимо располагать данными о биологических суммах ФАР для конкретной культуры. Для ряда однолетних культур и винограда определена биологическая потребность в суммах фотосинтетически активной радиации за период их активной вегетации (табл.3.5). Сопоставляя климатические суммы ФАР с биологическими можно дать практические рекомендации по оптимизации размещения видов и сортов однолетних и многолетних культур на конкретной территории.

Таблица 3.5 – Биологическая потребность ряда сельскохозяйственных культур в суммах ФАР за период активной вегетации

Культура, сорт	Сумма ФАР		Автор
	Ккал/см ²	МДж/м ²	
Озимая пшеница	20,9	875	Н.И. Гойса
Кукуруза, сорта:			Н.И. Гойса
-раннеспелые	27,5	1152	
-среднеспелые	31,5	1320	
-позднеспелые	34,0	1425	
Сахарная свекла	37,2	1549	Н.И. Гойса
Подсолнечник, сорта:			Н.В. Кирнасовская
-раннеспелые	24,8	1039	
-среднеспелые	27,4	1149	
-позднеспелые	31,1	1303	
Виноград, сорта:			З.А. Мищенко
-раннеспелые	39,3-40,6	1650-1700	
-среднеспелые	41,8-42,9	1750-1800	
-позднеспелые	42,9-44,1	1800-1850	

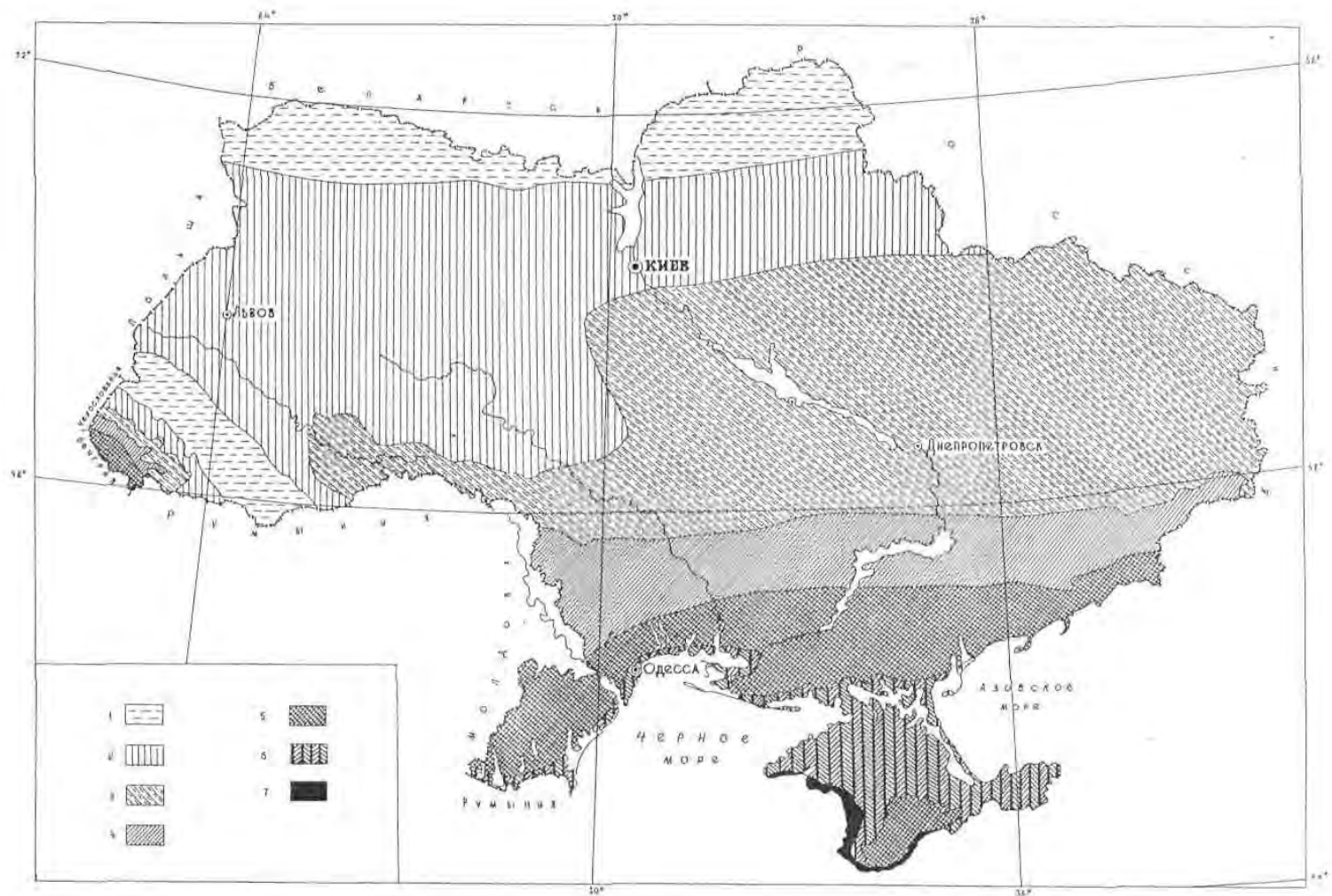


Рис.3.4 – Агроклиматическое районирование радиационно-световых и тепловых ресурсов на территории Украины. Макрорайоны 1-7 (см. легенду к карте в табл.3.4)

Таблица 3.4 – Агроклиматическая оценка радиационно-световых и тепловых ресурсов Украины за период с температурой воздуха выше 10°C

№ п/п	Макрорайон	ΣQ , МДж/м ²	ΣQ_{ϕ} , МДж/м ²	ΣS_c , часы	ΣT_c , °C	N _m , дни
1	Крайний северный холодный	<2700	<1350	<1200	<2500	<157
2	Северный относительно холодный	2700-2900	1350-1450	1200-1320	2500-2750	157-163
3	Центральный прохладный	2900-3100	1450-1550	1322-1416	2750-2950	163-172
4	Центральный теплый	3100-3300	1550-1650	1416-1534	2950-3200	172-180
5	Южный теплый	3300-3500	1650-1750	1534-1628	3200-3400	180-188
6	Южный, очень теплый	3500-3700	1750-1850	1628-1745	3400-3650	188-196
7	Южный жаркий	>3700	>1850	>1745	>3650	>196

Например, применительно к территории Украины разработаны рекомендации по размещению групп сортов винограда с учетом их теплообеспеченности в каждом из семи макрорайонов, выделенных на агроклиматической карте (рис.3.4 и табл.3.4). Суть сводится к следующему. В северной части страны макрорайоны 1, 2 непригодны для выращивания винограда даже очень ранней и ранней группы сортов из-за недостаточной обеспеченности солнечным теплом (их созревание возможно не более 5-6 раз из 10 лет) и суровых условий перезимовки. В 4-ом макрорайоне могут успешно возделывать на равнинных и склоновых землях очень ранние и ранние сорта винограда с высокой обеспеченностью теплом (9-10 раз из 10 лет). Здесь также хорошо обеспечены солнечным теплом ранне-среднеспелые и среднеспелые сорта (их созревание возможно 8-9 раз из 10 лет). Самые благоприятные условия для ведения неукрывного виноградарства создаются на крайнем юге (макрорайоны 6, 7). Здесь на 100 % обеспечены теплом все группы сортов винограда, включая позднеспелые и очень позднеспелые сорта.

Кроме того, агроклиматическая карта распределения показателей радиационно-тепловых ресурсов и материалы к ней могут быть использованы для региональной оценки продуктивности теплолюбивой группы сельскохозяйственных культур с помощью модели «Климат-урожай», если в ней учитывается ФАР и показатель влагообеспеченности. Например, З.А. Мищенко и С.В. Ляхова применительно к винограду выполнили количественную оценку потенциальных (U_{nc}) и действительно возможных урожаев сырых гроздей (U_{dc}) винограда с привязкой к карте для макрорайонов 4-7 (рис. 3.4, табл. 3.6). Наглядно видно, что потенциальный урожай при различных η увеличивается с севера на юг Украины с возрастанием сумм ФАР. Действительно возможный урожай ягод винограда изменяется в обратном направлении, следуя за географической изменчивостью показателя влагообеспеченности в виде E_{ϕ}/E_o и оказывается более чем в 2 раза ниже U_{nc} . Оба вида расчетных урожаев повсеместно возрастают в три раза при увеличении η от 1 % до 3 %.

Одним из путей интенсификации производства является поиск возможностей повышения КПД использования солнечной энергии агрофитоценозами. Теоретически возможность освоения ФАР растениями лежит в пределах 6-7 % без гарантии получения экологически чистой продукции. Практически в полевых условиях, однолетние и многолетние культуры при нынешней агротехнике реально могут использовать 2-3 % приходящей за период их вегетации ФАР. К настоящему времени уровень использования фотосинтетически активной радиации посевами зерновых и технических культур в хозяйствах на территории СНГ, в том числе Украины, колеблется в пределах 0,5-0,7 % и 0,7-1,0 %.

Таблица 3.6 – Агроклиматическая оценка потенциально возможных ($Y_{\text{пс}}$) и действительно возможных урожаев сырых гроздей винограда ($Y_{\text{дс}}$) в ряде районов Украины (т/га)

Макрорайон	Станция	$\Sigma Q_{\text{фб}}$, МДж/м ²	$Y_{\text{пс}}$ при η , %			$E_{\text{ф}}/E_0$	$Y_{\text{дс}}$ при η , %		
			1,0	2,0	3,0		1,0	2,0	3,0
4	Любашевка	1355	13,0	26,0	39,0	0,55	7,2	14,4	21,6
	Запорожье	1380	13,1	26,2	39,3	0,50	6,5	13,0	19,5
	Вознесенск	1399	13,4	26,8	40,2	0,47	6,3	12,6	18,9
5	Берегово	1414	13,4	26,8	40,2	0,65	8,7	17,4	26,1
	Николаев	1433	13,8	27,6	41,4	0,42	5,8	11,6	17,4
	Аскания-Нова	1462	13,9	27,8	41,7	0,39	5,4	10,8	16,2
6	Одесса	1480	14,1	28,2	42,3	0,44	6,2	12,4	18,6
	Владиславовка	1503	14,2	28,4	42,6	0,40	5,7	11,4	17,4
	Керчь	1508	14,4	28,8	43,2	0,42	6,0	12,0	18,0
7	Севастополь	1555	14,9	29,8	44,7	0,40	6,0	12,0	18,0
	Ялта	1562	14,9	29,8	44,7	0,39	5,8	11,6	17,4
	Алушта	1586	14,7	29,4	44,4	0,39	5,7	11,4	17,4

Примечание. $\Sigma Q_{\text{фб}}$ – биологическая сумма ФАР за вегетационный период среднеспелых сортов винограда;
 η - коэффициент полезного использования ФАР виноградниками;
 $E_{\text{ф}}/E_0$ – показатель влагообеспеченности.

Повышение его до уровня 1,5-2,0 % в ближайшей перспективе вполне реально, что обеспечит получение более высоких урожаев сельскохозяйственных культур, выращиваемых в производственных условиях. Пути увеличения использования ФАР растениями заключаются в следующем:

- правильном выборе видов и сортов культур, наиболее подходящих к особенностям ФАР в конкретном географическом районе;
- определении норм посева и степени запущенности растений с учетом светолюбивости вида и сорта;
- создании посевов с определенной геометрической структурой и площадью листьев;
- формировании оптимальных условий минеральных и водного питания растений, способствующих наиболее полному проявлению фотосинтеза;
- правильно организованном орошении сельскохозяйственных полей в южных районах с очень засушливым и сухим климатом.

3.4 Закономерности формирования теплового баланса земной поверхности и географическая зональность

Уравнение теплового баланса земной поверхности включает потоки энергии между элементом поверхности почвы или растительности и окружающим пространством. В число этих потоков входят радиационные потоки, сумма которых равна радиационному балансу. Положительная или отрицательная величина радиационного баланса компенсируется несколькими потоками тепла. Так как температура земной поверхности обычно не равна температуре воздуха, то между деятельной поверхностью и атмосферой возникает поток тепла, обусловленных турбулентной теплопроводностью.

Аналогичный поток тепла наблюдается между деятельной поверхностью и поверхностными слоями почвы. При этом поток тепла в почве определяется механизмом молекулярной теплопроводности. Существенное значение в тепловом балансе земной поверхности имеет расход тепла на испарение. Величина испарения зависит от увлажнения земной поверхности, ее температуры, влажности воздуха и интенсивности турбулентного обмена в приземном слое воздуха, которая определяет скорость переноса водяного пара от поверхности Земли в атмосферу. В связи с влиянием последнего фактора закономерности затраты тепла на испарение оказываются во многих отношениях сходными с закономерностями турбулентного теплообмена между земной поверхностью и атмосферой.

В первом приближении уравнение теплового баланса земной поверхности, которое является частным случаем закона сохранения энергии, можно записать в виде:

$$R = LE + P + B, \quad (3.18)$$

где R – радиационный баланс;

LE – затрата тепла на испарение (L – скрытая теплота парообразования, E – скорость испарения);

B – поток тепла от деятельной поверхности к нижележащим слоям почвы. При этом величина радиационного потока (радиационного баланса) R считается положительной, если она характеризует приход тепла к деятельной поверхности, а все остальные величины считаются положительными, когда они характеризуют расход тепла.

Из членов теплового баланса, не включенных в уравнение 3,18, наиболее значительным может быть расход тепла на таяние льда или снега на земной поверхности (или приход тепла от замерзания воды). Хотя для больших периодов осреднения, например, для года последняя величина, как правило, оказывается значительно меньшей по сравнению с основными составляющими теплового баланса. Другие члены теплового баланса, в том числе расход энергии на фотосинтез и приход от окисления биомассы – значительно меньше основных членов баланса для любых периодов осреднения.

Тепловой баланс земной поверхности объединяет в единый комплекс не только процессы нагревания и охлаждения воздуха и почвы, но и две важные статьи влагооборота – испарение и конденсацию. Физическое обоснование тех или иных особенностей микроклимата и местного климата в большинстве случаев сводится к раскрытию особенностей теплового и водного балансов деятельной поверхности, к выявлению роли отдельных их компонентов. Географическая изменчивость тепловых ресурсов и режима увлажнения, а значит и условий тепло и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур, обусловлена изменениями соотношений составляющих теплового баланса.

Турбулентный поток тепла (P) характеризует теплообмен между деятельной поверхностью и приземным слоем атмосферы. Атмосферная турбулентность оказывает влияние на распределение с высотой и суточный ход таких метеорологических элементов как скорость ветра, температура и влажность воздуха в приземном слое. Турбулентность влияет также на концентрацию различных примесей в воздухе, скорость испарения и интенсивность теплообмена между деятельной поверхностью и прилегающими слоями воздуха. Интенсивность турбулентного обмена характеризуется коэффициентом турбулентности. Этот коэффициент выражает в простейшем случае кинетические свойства турбулентного

течения. При помощи коэффициента турбулентности можно увязать турбулентный поток тепла с вертикальным градиентом переносимой субстанции. Уравнение для турбулентного потока тепла имеет вид

$$P = - \rho \cdot C_p \cdot K_m \cdot \frac{d\theta}{dZ}, \quad (3.19)$$

где ρ - плотность воздуха;

C_p – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении;

K_m - коэффициент турбулентного обмена (м²/сек или см²/сек);

$\frac{d\theta}{dZ}$ вертикальный градиент температуры воздуха;

Z – высота измерения.

Турбулентный поток водяного пара определяется уравнением вида

$$LE = - \rho \cdot K_m \cdot \frac{dq}{dZ}, \quad (3.20)$$

где q – удельная влажность воздуха;

$\frac{dq}{dZ}$ - вертикальный градиент удельной влажности воздуха;

Z – высота измерения.

Важнейшими тепловыми характеристиками любого тела являются объемная теплоемкость (C_n), коэффициент температуропроводности (a). Эти величины связаны между собой уравнением вида

$$a = \frac{\lambda}{C_n} \quad (3.21)$$

Поток тепла от поверхности в глубь почвы определяется уравнением молекулярной теплопроводности

$$\frac{d\theta_i}{dt} = a \cdot \frac{d^2 \cdot Q_i}{dZ^2}, \quad (3.22)$$

где θ_n - температура почвы (°C), Z – глубина измерения (см), t – время измерения (мин), a – коэффициент температуропроводности.

Точность измерения теплообмена в естественных условиях сравнительно невелика. Разработка методов расчета потоков тепла в почву направлено на повышение точности определения градиентов температуры

в почве и её теплофизических свойств. Для расчета потока тепла в почву (B) может быть использована формула Г.Х. Цейтина, которая имеет вид

$$B = \frac{C_n}{t} \cdot S_1, \quad (3.23)$$

где S_1 – изменение температуры в слое почвы 0-20 см за интервал времени t ;

C_n – объемная теплоемкость почвы.

В различных ландшафтных зонах соотношение составляющих теплового баланса изменяется. Огнева Т.А. сопоставила отношение составляющих теплового баланса к радиационному балансу в различных ландшафтных зонах бывшего СССР. В табл. 3.7 приведены отношения месячных сумм турбулентного потока тепла и затрат тепла на испарение к суммам радиационного баланса за теплый период года. Наглядно видно, что по мере продвижения с севера на юг и юго-восток территории СНГ отношение P/R за теплый период увеличивается более чем в три раза, а отношение LE/R – уменьшается почти в три раза.

На основании этих данных, а также исследований М.И. Будыко [17] и Л.И. Сакали [88] можно сделать следующее заключение. Доля радиационного тепла, затрачиваемого на турбулентный поток и испарение существенно изменяется при изменении ландшафтных зон. В среднем в теплое время года в лесной зоне турбулентный поток тепла составляет 20 %, а испарение 80 % от радиационного тепла R . В степной зоне с засушливым климатом $P = 30 \dots 50$ % и $LE = 70 \dots 50$ % от R . В пустыне с очень сухим климатом доля радиационного тепла, расходуемого на турбулентный поток тепла в воздухе, возрастает до 70 ... 90 %. При этом затрата тепла на испарение не превышает здесь 30 ... 10 % от радиационного тепла R .

Многочисленные исследования показывают, что от соотношений составляющих теплового баланса зависит формирование особенностей микроклимата. На малых площадях под влияние форм рельефа, экспозиции и крутизны склонов, на почвах с разным механическим составом, а также на орошаемых землях происходит перераспределение составляющих теплового баланса, и прежде всего R , P и LE . Причем эти различия сравнимы с зональной изменчивостью R , LE и P на значительной территории ЕЧ СНГ [60, 63, 86 и др.].

Э. Иит [46] исследовал дневной ход составляющих теплового баланса на различных почвах Эстонии, где преобладают затраты тепла на испарение в условиях избыточного и достаточного увлажнения. На песчаных и супесчаных почвах в мае до 60 % радиационного тепла тратится на испарение, а турбулентный теплообмен составляет 23 %. На суглинистых почвах 60-80 % радиационного тепла идет на испарение, 12-

Таблица 3.7 – Отношение (%) месячных сумм турбулентного потока тепла Р и затрат тепла на испарение LE к суммам радиационного баланса R

Станция	V	VI	VII	VIII	IX	Сезон	V	VI	VII	VIII	IX	Сезон
P/R						LE/R						
Хибины	27	30	33	28	26	29	70	66	62	64	68	66
Кострома	14	15	17	10		14	80	94	80	89		86
Смоленск	18	15	23	16	13	17	80	84	75	81	83	81
Пинск	11	24	26	14	11	17	91	87	76	74	85	83
Берегово	14	10	14	22	26	17	83	88	84	74	74	81
Кубышев	16	24	18	24	16	20	78	73	79	74	82	77
Полтава	15	28	28	36	33	28	80	70	74	62	64	70
Хомутово	41	42	35	38	34	38	56	56	62	60	66	60
Аскания- Нова	44	41	51	60	68	53	54	54	46	35	32	44
Андарлы	60	65	80	77	76	73	39	33	17	21	22	26

20 % - на турбулентный теплообмен. На глинистых почвах на испарение затрачивается до 90 % радиационного баланса. На суходоле затраты тепла на испарение колебались от 35-40 % в сухие дни, а после дождя – до 60 %. При сухой почве на суходоле турбулентный поток тепла в воздух достигал 50 % радиационного тепла, а при хорошем увлажнении уменьшался до 25 %. Поток тепла в почву на всех участках различался мало и составлял 10-15% от радиационного баланса.

В степной зоне только на орошаемом поле затраты тепла на испарение будут близки к LE в условиях достаточного увлажнения. Например, по данным исследований З.А. Мищенко [60] в районе Тирасполя летом на орошаемом поле $LE/R = 83$ %, а $P/R = 3$ %. В то же время рядом на богарных землях без орошения LE/R не превышала 46 %, а P/R – возросла до 51 %. Особенно велик контраст соотношения дневных сумм составляющих теплового баланса на орошаемом поле и неорошаемом участке, покрытом травой, в полупустыне. Соотношение составляющих теплового баланса существенно изменяются под влиянием холмистого и горного рельефа. Например, по данным исследований в районе Казахского Мелкосопочника затраты тепла на испарение летом на ровном месте и у подножия склонов составили 38-42 % от радиационного баланса и оказались на 10-12 % больше чем на южном склоне и вершине холма. Турбулентный поток тепла в воздух составил на ровном месте у подножия склонов 44-46 % от радиационного баланса и оказался на 16 % меньше чем на южном склоне и вершине холма.

Принимая во внимание, что средняя сухость почвы возрастает с увеличением радиационного потока тепла и с уменьшением количества осадков, М.И. Будыко [17] предложил радиационный индекс сухости в виде R/Lr . Для оценки влияния климатических факторов на географическую зональность им построена мировая карта радиационного индекса сухости. Расположение изолиний индекса сухости хорошо согласуются с размещением основных физико-географических зон. Наименьшим значениям индекса сухости (до 1/3) соответствует тундра, значениям индекса от 1/3 до 1 – лесная зона, от 1 до 2 – степная, больше 2 – полупустынная и больше 3 – пустынная зона.

Для характеристики абсолютных значения интенсивности природных процессов М.И. Будыко предложил использовать два параметра R/Lr и R , которые определяют величины членов теплового и водного балансов. На рис. 3.5 представлен комплексный график геоботанической зональности. По оси ординат отложены значения радиационного баланса (R) за год для действительного состояния деятельной поверхности. В пересчете значений R от ккал/см² к МДж/м² они составляют: вместо 20 – 840, вместо 4 – 1700, вместо 60 – 2500, вместо 8 - 3350, вместо 100 – 4200 МДж/м²·год. По оси абсцисс отложены значения индекса сухости R/Lr .

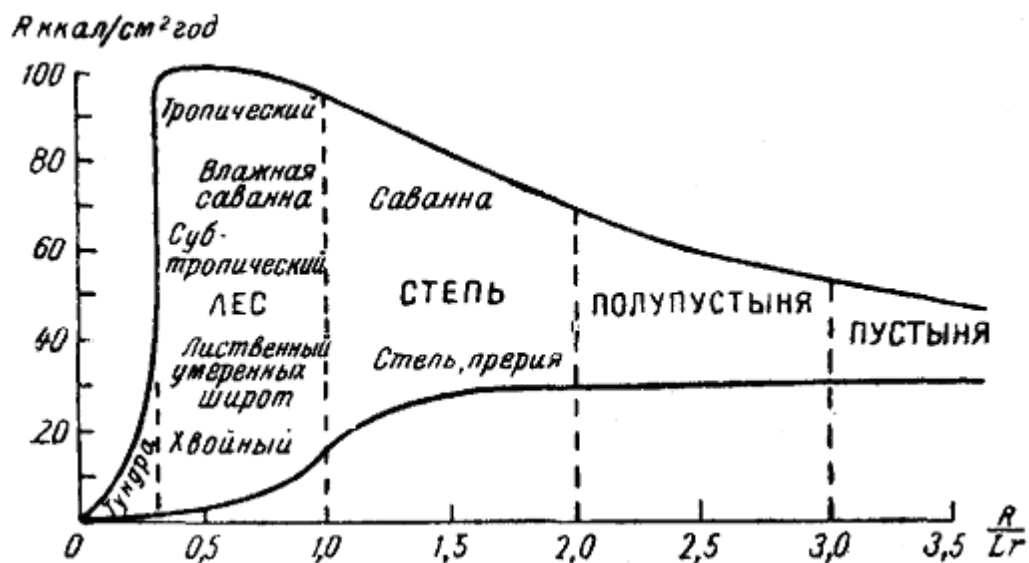


Рис. 3.5 – График геоботанической зональности

Сплошная линия на графике ограничивает область реально встречающихся значений R и R/Lr (кроме горных районов), а основные геоботанические зоны разграничены прямыми линиями. К их числу относятся: тундра, лес (хвойный, лиственный, субтропический, влажная саванна, тропический); степь (лесостепь, прерия, северная степь, южная степь, саванна); полупустыня; пустыня. Как выяснилось зональность почв тесно связана с зональностью растительного покрова. При увеличении параметра R/Lr типы почв меняются в последовательности: а) тундровые почвы; б) подзолы, бурые лесные почвы, желтоземы, красноземы; в) черноземы и черные почвы саванн; г) каштановые почвы; д) сероземы.

Глава 4 МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТЕРМИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПО СРЕДНЕЙ СУТОЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ВОЗДУХА

Сведения о термических ресурсах вегетационного периода необходимы для решения разнообразных вопросов сельскохозяйственного производства. Они используются для рационального размещения культурных растений, определения сроков сева различных по теплообеспеченности культур, подсчета количества тепла, накапливаемого в данном месте за разные отрезки времени или межфазные интервалы, для оценки обеспеченности теплом растений и т.д.

4.1 Основные показатели термических ресурсов и методы их расчетов

Среди методов оценки термических условий по температуре среды известен метод американского ботаника и эколога Ливингстона [95], предложенный в 1921 г. Он определил термофизиологические константы, которые в относительных величинах характеризуют прирост растений при различных температурах.

Для своей работы Ливингстон использовал материалы опытов по выявлению воздействия температуры воздуха на рост проростков кукурузы. По данным этих опытов оказалось, что при температуре $4,5^{\circ}$ прирост растений кукурузы составил 0,009 мм/час, а при температуре $32,0^{\circ}$ – 1,11 мм/час. Принимая прирост при температуре $4,5^{\circ}$ условно за термофизиологический индекс, равный единице, и разделив прирост при всех других температурах на 0,009 мм/час, он получил значения термофизиологических констант (индексов). Так при 20°C термофизиологическая константа оказалась равной 46,0, при 32°C она равнялась максимальному значению – 123,3. Это означает, что при 20°C прирост кукурузы в 46 раз, а при 32°C в 123,3 раза больше чем при температуре $4,5^{\circ}\text{C}$.

В табл.4.1 представлены термофизиологические индексы Ливингстона для различных температур. Наглядно видно, что скорость прироста существенно зависит от величины температуры. При этом высокие температуры оказывают такое же тормозящее действие на прирост, как и низкие (например, индексы при температурах 43°C и 11°C одинаковы). Для характеристики термического режима по Ливингстону нужно по средним суточным температурам воздуха найти термофизиологические индексы и суммировать их за вегетационный период. Эти суммы и должны, по его мнению, выражать, термические ресурсы территории для растений. К недостатку метода следует отнести тот факт, что термофизиологические константы определены только для прироста проростков кукурузы. Поэтому нельзя считать, что термофизиологические

индексы одинаковы для остальных фаз развития кукурузы и других культур.

Таблица 4.1 – Термофизиологические индексы Ливингстона

Темпе- ратура	Индекс	Темпе- ратура	Индекс	Темпе- ратура	Индекс	Темпе- ратура	Индекс
3	0,333	14	14,778	26	94,000	38	64,333
4	0,667	15	17,778	27	101,222	39	50,667
4,5	1,000	16	21,599	28	108,444	40	36,000
5	1,333	17	26,000	29	115,778	41	23,333
6	1,889	18	31,333	30	120,000	42	14,000
7	2,778	19	38,000	31	121,889	43	8,333
8	3,667	20	46,000	32	123,333	44	4,889
9	4,889	21	54,228	33	116,111	45	2,778
10	6,338	22	63,444	34	107,333	46	1,667
11	8,000	23	71,111	35	96,000	47	0,667
12	9,889	24	79,111	36	86,556		
13	12,111	25	86,556	37	75,667		

Интересный метод оценки тепловых возможностей территории, предложен Д. Ацци [12] в 1926-1927 г. Потребность в тепле сельскохозяйственных культур он выражает метеорологическими эквивалентами, которым даны следующие определения: «Метеорологические эквиваленты, как термические, так и плювиографические, обозначают количество градусов температуры или миллиметров осадков, отличающие нормальные условия от условий, признанных ненормальными, как в сторону их избытка, так и в сторону их недостатка.

По Ацци, для различных межфазных интервалов эти эквиваленты разные. Например, для пшеницы за период от колошения до созревания эквиваленты равны 14 °С и 24 °С. Это означает, что в данных интервалах средних температур за указанный межфазный период условия для роста и развития пшеницы нормальные, а недостаток тепла при температуре выше 24 °С создают неблагоприятные условия.

Используя найденные метеорологические эквиваленты, он далее оценил климатические факторы и, в частности, тепло для различных культур. С этой целью Ацци составил так называемые климоскопы, которые представляют собой определенным способом обработанные метеорологические данные. Способ обработки заключается в том, что все метеоданные усредняются за соответствующие межфазные интервалы. В табл.4.2 представлен климоскоп, составленный по температуре воздуха от колошения до созревания пшеницы.

Таблица 4.2 – Климоскоп пшеницы за период колошение-созревание

Год	Средняя температура за период колошение - созревание	Год	Средняя температура за период колошение - созревание
1952	19,8	1957	18,3
1953	20,5	1958	13,0
1954	25,3	1959	17,9
1855	13,2	1960	24,9
1956	21,2	1961	21,2

Сопоставляя данные этого климоскопа с метеорологическими эквивалентами (14°C и 24°C), можно сделать следующие выводы:

- 1) в течении двух лет за период от колошения до созревания пшеницы наблюдался избыток тепла (средняя температура воздуха была выше 24°C);
- 2) в течении двух лет для пшеницы наблюдался недостаток тепла (средняя температура воздуха за указанный период была ниже 14°C);
- 3) в течении шести лет термические условия для развития пшеницы были благоприятными.

Полученные выводы Ацци предлагает записывать кратко в виде формулы: ИТ_{IV}^2 , НТ_{IV}^2 . Такая форма записи означает, что в IV межфазном периоде (от колошения до созревания) из 10 лет два года были с избытком тепла (ИТ), а два года – с недостатком тепла (НТ). Следовательно, в остальные годы (6 лет) термические условия были нормальными. Таким способом Ацци произвел оценку климатических условий за главные межфазные периоды вегетации для пшеницы.

Для другой культуры по выделенным межфазным интервалам необходимо составить свой климоскоп и сопоставить его с метеорологическими эквивалентами этой культуры. Это даст возможность затем составить для нее свои формулы климатических условий, отражающие степень благоприятствования климатических условий. Из изложенного следует, что Ацци отказывается от обычных средних величин, применяемых в климатологии, и весь материал метеорологических наблюдений предлагает обрабатывать каждый раз заново для новой культуры.

В 30-х годах Г.Т. Селяниновым [92, 95] были получены основные агроклиматические характеристики, которые использовались им, а позднее и другими исследователями для агроклиматической оценки термических ресурсов вегетационного периода. Он дал важное определение вегетационного периода, считая, что начало его совпадает с моментом заметного роста растений. Он писал: «... каждый вид, а может быть и сорт,

растений начинает практически заметно вегетировать при какой-то определенной температуре, заканчивая вегетацию при той же температуре».

Проанализировав многочисленные фенологические наблюдения за полевыми, огородными и многолетними растениями, Селянинов получил интересные результаты, которые позволили ему утверждать, что за климатологический признак начало вегетации нетребовательных к теплу озимых культур и некоторых других злаков следует принять время устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 5°C весной. Для среднетребовательных к теплу культур начало вегетации определяется переходом температуры через 10°C , а для теплолюбивых культур – через 15°C . За климатический признак окончания вегетации следует принять, по Селянинову, соответственно время устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 5, 10, 15°C осенью.

Одной из важных агроклиматических задач является оценка термического режима упомянутых выше вегетационных периодов. Ф.Ф. Давитая [30] отмечает, что еще на заре возникновения метеорологии Реомюр пытался суммами температур характеризовать термические ресурсы территории. Позднее способ суммирования температур был широко применен Бусенго, Гаспареном и Декандалем [86].

Обоснованию применения сумм активных температур воздуха в качестве агроклиматического показателя большое внимание уделял Селянинов. Он писал: «Сумма температур за вегетационный период или за какую-либо часть его можно рассматривать как приближенный интеграл всех воздействий термического фактора на растение за период вегетации ...». Практика показала, что суммы температур незаменимы при определении вероятного времени наступления биологических явлений. Они еще более незаменимы в сельскохозяйственной климатологии. Позднее М.И. Будыко [17] и другие исследователи дали физическое обоснование применения сумм активных температур воздуха выше 5 и 10°C в агроклиматологии, установив тесную зависимость этого показателя с радиационным балансом земной поверхности и суммарной солнечной радиацией, выраженных в калориях или джоулях.

Необходимо отметить, что сумма температур, как агроклиматический показатель термических ресурсов, неоднократно подвергалась острой критики со стороны ботаников и физиологов. Эта критика была обоснована следующими положениями.

1. В соответствии с фотопериодизмом сельскохозяйственные растения могут удовлетворяться большими или меньшими суммами температур для своего развития, в зависимости от того на какой широте и в какие сезоны года они произрастают.
2. В соответствии с законом оптимума разные уровни температур воздуха по своему воздействию на растения не одинаковы. Между тем при

использовании сумм температур предполагается прямая зависимость между развитием растений и температурой.

Учитывая эту критику, многие исследователи подвергли основательному изучению данную проблему. Селянинов Г.Т. и Давитая Ф.Ф. провели обстоятельное климато-экологическое исследование ряда культур. Они пришли к выводу, что в период вегетации растений на территории бывшего СССР и ряда других стран очень редко наблюдается температура выше оптимума. По их мнению уровень оптимальных температур для большинства культур достаточно высок и находится в пределах 28-32 °С.

Таблица 4.3 – Биологические суммы температур воздуха выше 10 °С для группы сортов винограда

Группы по потребности в тепле	Сорт	Суммы активных температур
Очень ранние сорта	Жемчуг Сабо, Мадлен-Анжевин, Русский Конкорд и др.	2100-2500 ⁰
Ранние сорта	Мускат венгерский, Совиньон, Алиготе и др.	2500-2900 ⁰
Средние сорта	Каберне-Совиньон, Изабелла, Мускат гамбургский, Рислинг, Сенсо, Карабурну	2900-3300 ⁰
Поздние сорта	Кара-узюм ашхабадский, Ркацители, Тербаш, Арарати и др.	3300-3700 ⁰
Очень поздние сорта	Чхавери, Джани, Одшалеши и др.	Более 3700 ⁰

Давитая Ф.Ф., изучая потребность в тепле винограда, выделил по этому признаку пять экологических групп (табл.4.3). По его мнению, суммы температур за определенные фенологические периоды характеризуются достаточной устойчивостью. Он установил, что вегетационный период меняется в широких пределах, а сумма температур остается относительно постоянной при условии, если учтены другие факторы, влияющие в свою очередь на прохождение отдельных стадий развития.

В качестве примера Ф.Ф. Давитая [7] приводит данные из работы А.В. Федорова для позднеспелого овса (сорт Верхняченский 054):

Продолжительность вегетации (дни)	98	93	88	83	78	73	68	63
Сумма температур (град.)	457	455	459	461	473	467	463	458

При изменении продолжительности периода на 35 дней сумма температур меняется только на 18⁰.

П.И.Колосков [22], изучая роль температуры в биологических процессах, пришел к выводу, что для развития растений основным метеорологическим фактором является температура, а рост и урожай культуры определяются комплексом факторов. Он прямо указывает, что суммы температур, рассчитанные как для всего вегетационного периода, так и его отдельных частей, вполне правильно отражают потребность растений в тепле и ими можно пользоваться в агрометеорологии. Однако, по его мнению, необходимы более детальные и специальные биоклиматические исследования, которые дадут возможность найти более точные константы для отдельных фаз развития растений.

Исследуя колебания сумм температур за вегетационный период яровой пшеницы, Д.И. Шашко [115] заключает, что эти колебания значительно меньше, чем колебания по годам продолжительности межфазных периодов. Это позволило ему сделать вывод, что суммы температур за период вегетации являются более ценными агроклиматическими показателями, чем сама продолжительность периодов вегетации культурных растений.

Из всего вышеизложенного следует, что сумма температур является достаточно надежным показателем развития растений и термических условий среды. Отметим, что ею удобно пользоваться и ее просто рассчитать, так как в «Справочниках по климату СССР», а также многих стран Дальнего Зарубежья имеются массовые данные по средней суточной температуре воздуха.

4.2 Потребность растений в тепле и оценка тепловых ресурсов по температуре воздуха

Прежде чем прийти к оценке термических ресурсов на территории СНГ с использованием сумм температур воздуха, остановимся подробнее на таком важном вопросе, как потребность культурных растений в тепле. Её выражают биологической суммой температур, под которой понимают сумму среднесуточных температур воздуха за период вегетации данной культуры от начала роста до созревания в пределах границ её ареала.

В табл.4.4 представлена для основных культур потребность в тепле, выраженная биологическими суммами температур на широте 55⁰, принятая в настоящее время для практического использования. Фотопериодизм растений учтен поправкой, указанной в графе 6. Для растений длинного дня поправка на фотопериодизм имеет отрицательный знак. Это означает, что с продвижением данного растения к северу от 55⁰ с.ш. его

Таблица 4.4 – Потребность сельскохозяйственных культур в тепле, выраженная в биологических суммах температур воздуха

Культура	Скоро-спелость сортов	Период	Биологи-ческий минимум темпера-туры (град.)		Реакция на длину дня (поправка на 1 ⁰ широты)	Биологическая сумма темпе-ратур для широты 55 ⁰
			начала роста	созревание		
1	2	3	4	5	6	7
Яровая пшеница (мягкая)	Раннеспелые	Посев- восковая спелость	5	10	-20	1400
	Среднеспелые	То же	5	10	-20	1500
	Позднеспелые	- « -	5	20	-25	1700
Яровая пшеница (твердая)	Среднеранние	То же	5	12	-15	1400
	Среднеспелые	- « -	5	12	-20	1600
	Позднеспелые	- « -	5	12	-20	1700
Ячмень	Раннеспелые	То же	5	10	-20	1250
	Среднеспелые	- « -	5	10	-15	1350
	Позднеспелые	- « -	5	10	-15	1450
Овес	Наиболее раннеспелые	То же	5	10	-20	1250
	Среднеспелые	- « -	5	10	-20	1450
	Позднеспелые	- « -	5	10	-20	1550
Озимая рожь	Раннеспелые	То же	5	10	-30	1300
	Среднеспелые	- « -	5	10	-30	1350
	Позднеспелые	- « -	5	10	-30	1400
Озимая пшеница	Раннеспелые	То же	5	10	-25	1400
	Среднеспелые	- « -	5	10	-25	1450
	Позднеспелые	- « -	5	10	-25	1500
Кукуруза	Раннеспелые	Посев- выметывание	10	10	0	1200
		Посев-молочная спелость	10	10	0	1800
		Посев– созревание	10	10	0	2200

Продолжение таблицы 4.4

1	2	3	4	5	6	7
Кукуруза	Среднеспелые	Посев- выметывание	10	10	0	1400
		Посев- молочная спелость	10	10	0	2100
	Среднепоздние	Посев -	10	10	0	2500
		восковая спелость	10	10	0	1500
		Посев- выметывание	10	10	0	2200
		Посев- молочная спелость	10	10	0	2700
		Посев- созревание				
Гречиха	Раннеспелые	Посев -	7	10	0	1200
	Среднеспелые	восковая спелость	7	10	0	1300
	Позднеспелые	То же	7	10	0	1400
		- « -				
Просо	Раннеспелые	То же	10	10	15	
	Среднеспелые	- « -	10	10	15	1570
	Позднеспелые	- « -	10	10	15	1675
						1875
Сорго	Раннеспелые	То же	12	12	10	2400
	Среднеспелые	- « -	12	12	10	2500
	Позднеспелые	- « -	12	12	10	2900
Рис	Наиболее раннеспелые	То же	15	15	0	2200
	Раннеспелые	- « -	15	15	0	2500
	Среднеспелые	- « -	15	15	12	2820
	Позднеспелые	- « -	15	15	12	3320
Горох	Раннеспелые	Посев- созревание	5	10	-10	1250
	Среднеспелые	То же	5	10	-6	1400
	Позднеспелые	- « -	5	10	-6	1550
Фасоль	Раннеспелые	То же	12	12	0	1500
	Среднеспелые	- « -	12	12	0	1700
	Позднеспелые	- « -	12	12	0	1900

Продолжение таблицы 4.4

1	2	3	4	5	6	7
Соя	Наиболее ранние	То же	10	10	8	2140
	Раннеспелые	- « -	10	10	8	2340
	Среднеспелые	- « -	10	10	12	2560
	Позднеспелые	- « -	10	10	12	3060
Чечевица	Раннеспелые	То же	5	10	-10	1400
	Среднеспелые	- « -	5	10	-6	1500
Чина	Раннеспелые	То же	5	10	-6	1500
	Среднеспелые	- « -	5	10	-6	1700
Нут	Раннеспелые	То же	6	12	0	1400
	Среднеспелые	- « -	6	12	0	1500
	Позднеспелые	- « -	6	12	0	1600
Люпин	Раннеспелые	То же	6	12	-12	1400
	Среднеспелые	- « -	6	12	-12	1700
	Позднеспелые	- « -	6	12	-10	2100
Подсолнечник	Раннеспелые	То же	8	10	0	1850
	Среднеспелые	- « -	8	10	0	2000
	Позднеспелые	- « -	8	10	0	2300
Лен масличный	Раннеспелые	То же	7	10	-6	1450
	Среднеспелые	- « -	7	10	-6	1550
Лен Долгунец	Раннеспелые Среднеспелые	Посев-полная спелость	7	10	-6	1400
		На волокно	7	10	-6	1000
		Посев-полная спелость	7	10	-6	1500
		На волокно	7	10	-6	1100
Конопля	Среднеспелые (Среднерусская)	Посев-полная спелость	3	10	6	1830
		На волокно	3	10	6	1230
		Посев-полная спелость	3	10	12	2620
		На волокно	3	10	12	1820
Хлопчатник	Наиболее раннеспелые	На волокно	12	15	0	2900
	Раннеспелые	Посев-раскрытие	12	15	0	3100
	Среднеспелые	коробочек	12	15	0	3400
	Позднеспелые	То же	12	15	0	4000

Продолжение таблицы 4.4

1	2	3	4	5	6	7
Огурцы	Ранние	Посев-полные сборы	-	-	0	1200
	Средние	То же	-	-	0	1300
	Поздние	- « -	-	-	0	1450
Томаты	Ранние	То же	-	-	0	1500
	Средние	- « -	-	-	0	1600
	Поздние	- « -	-	-	0	1750
Капуста	Ранняя	То же	-	-	0	1400
	Средняя	- « -	-	-	0	1500
	Поздняя	- « -	-	-	0	1650
Свекла столовая	Ранняя	То же	-	-	0	1500
	Средняя	- « -	-	-	0	1600
	Поздняя	- « -	-	-	0	1750
Мор- ковь	Ранняя	То же	-	-	0	1500
	Средняя	- « -	-	-	0	1600
	Поздняя	- « -	-	-	0	1750
Репа		- « -	-	-	0	1000
Карто- фель	Ранние	Посадка-	-	-	0	1400
	типа Ранней	усыхание				
	Розы	ботвы	-	-	0	1450
	Типа Курьер	То же				

биологическую сумму температур необходимо уменьшить на соответствующую величину с учетом разницы широт. Если же растение произрастает южнее 55° с.ш., знак поправки следует изменить на обратный.

Для растений короткого дня поправка имеет положительный знак. Это означает, что с продвижением данной культуры к северу от широты 55°, биологическая сумма температур должна быть увеличена на определенное число в соответствии с разницей широт. Так как культура короткого дня с продвижением к югу ускоряют свое развитие, их биологические суммы в таких случаях следует уменьшать, для чего нужно брать ту же поправку с обратным знаком. Например, биологическая сумма температур воздуха яровой пшеницы сорта Гарнет за период посев-восковая спелость составляет 1400 °С. Учитывая поправку для этой культуры на длину дня (20 °С на 1° с. широты), можно определить, что на широте 65° этому сорту за тот же период вегетации потребуется сумма температур 1200 °С, а на широте 45° – 1600 °С. Для растений нейтральных к длине дня поправка на широту равна 0°.

Исследования изменчивости биологических сумм, проведенные С.А. Сапожниковой [22] и Д.И. Шашко [115] показали, что они меняются в зависимости от степени континентальности. Эта зависимость наиболее ярко выражена на территории Восточной Сибири. Поэтому для этой территории в расчеты сумм вводят ещё поправку на континентальность, которая в среднем равна – 100 °С. Необходимость введения такой поправки обусловлена следующим. При возрастании континентальности климата существенно изменяется соотношение дневных и ночных температур, т.е. возрастают дневные и понижаются ночные температуры, вследствие чего увеличиваются суточные амплитуды температуры воздуха. По исследованиям Сапожниковой, средние температуры воздуха в 13 часов в Восточной Сибири выше на 1-2° по сравнению с Западной Сибирью и ЕЧ бывшей территории СССР. Поэтому растения Восточной Сибири, используя большее дневное напряжение тепла и находясь под влиянием больших суточных амплитуд, созревают при меньших (на 100-150°) суммах температур воздуха.

Потребность культур в тепле и ресурсы тепла, помимо биологических температур, часто выражают суммами активных и эффективных температур. Активной называют среднюю суточную температуру воздуха после её перехода через биологический нуль развития данного растения. Следовательно, для получения сумм активных температур за весь период вегетации необходимо сложить все средние суточные температуры данного периода. Расчет сумм активных температур воздуха ($\Sigma T_{ак}$), например, выше 10 °С, выполняется по формуле вида:

$$\Sigma T_{ак} > 10^{\circ}\text{C} = \Sigma (T_{IV} \cdot N_{IV} + T_V \cdot N_V + \dots + T_{IX} \cdot N_{IX}), \quad (4.1)$$

где $T_{IV}, T_V, \dots, T_{IX}$ - средние месячные температуры воздуха выше 10°С; $N_{IV}, N_V, \dots, N_{IX}$ - продолжительность периодов (дни) с апреля по сентябрь или октябрь.

Эффективная температура – эта разница между средней суточной температурой и биологическим нулем данной культуры. Расчет сумм эффективных температур воздуха ($\Sigma T_{эф}$), например выше 10 °С, выполняется по формуле вида:

$$\Sigma T_{эф} = \Sigma [(T_c - T_0) \cdot N_{IV} + (T_c - T_0) \cdot N_V + \dots + (T_c - T_0) \cdot N_{IX}], \quad (4.2)$$

где T_c – средняя месячная температура воздуха с апреля по сентябрь;
 T_0 – биологический нуль данной культуры.

В агроклиматических исследованиях суммы эффективных температур используются редко.

Для оценки общих термических ресурсов той или иной территории используют $\Sigma T_{ак}$ выше 10°C , так как при температуре 10°C и выше активно вегетирует большинство растений средние многолетние суммы температур подсчитываются графическим методом. Способ построения графики годового хода температуры воздуха разработан А.А. Шепелевским [50]. При этом для каждой станции по оси абсцисс откладываются дни месяца, а по оси ординат – температура воздуха. Температура каждого месяца изображается при этом в виде прямоугольника, основание которого – число дней в соответствующем месяце – многолетняя средняя температура за данный месяц. Через эти прямоугольники проводится плавная кривая, так чтобы площадь треугольника a , который она отсекает с одной стороны прямоугольника, была равна площади треугольника, который она отрезает с другой, т.е. сохраняется величина площади прямоугольника, которая представляет собой сумму температур воздуха за месяц (рис. 4.1).

Графики годового хода температуры воздуха, построенные методом равновесных площадей треугольников (метод гистограммы), дают возможность определить основные показатели термических ресурсов: дать переходы температуры воздуха через любые градации ($5, 10, 15^{\circ}\text{C}$) весной и осенью (D_v, D_o); продолжительность теплого периода с T_c выше $5, 10, 15^{\circ}\text{C}$ (N_{mn}); суммы активных и эффективных температур воздуха ($\Sigma T_{ак}, \Sigma T_{эф}$); дату начала и конца сезонов года, их продолжительность и пр.

Поскольку ресурсы тепла определяются суммами активных температур в пределах 10^0 , а потребность растений в тепле выражается биологическими суммами (табл.4.4), возникает необходимость перехода от одних сумм к другим. Такой переход (приведение) выполняется введением так называемой климатической поправки (или климатической разницы). Возможно несколько вариантов решения этой задачи, схематически они представлены на рис. 4.2.

В первом случае климатическая поправка равна 0, так как температура начала роста и созревания равна 10°C , и, следовательно, биологическая сумма совпадает с климатической.

Во втором случае биологическая сумма больше климатической. Это увеличение обусловлено тем, что температура начала роста равна 5^0 , и, следовательно, для приведения необходимо сумму температур, накопившуюся весной за период $5-10^0$, вычесть из биологической суммы. Для этой цели достаточно среднюю температуру за этот период умножить на число дней периода, определив, таким образом, климатическую поправку.

В третьем случае биологическая сумма меньше климатической за счет того, что созревание культуры наступает при температуре 15^0 до даты перехода через 10^0 осенью и среднюю температуру этого периода.

Произведение этих двух величин дает искомую климатическую поправку, которую необходимо прибавить к биологической сумме.

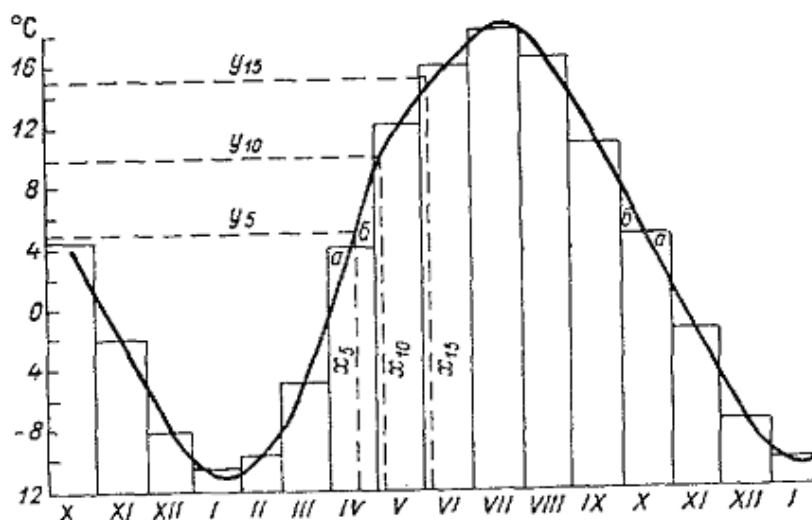


Рис.4.1 – Построение кривой годового хода температуры методом гистограмм (по А.А. Шепелевскому)

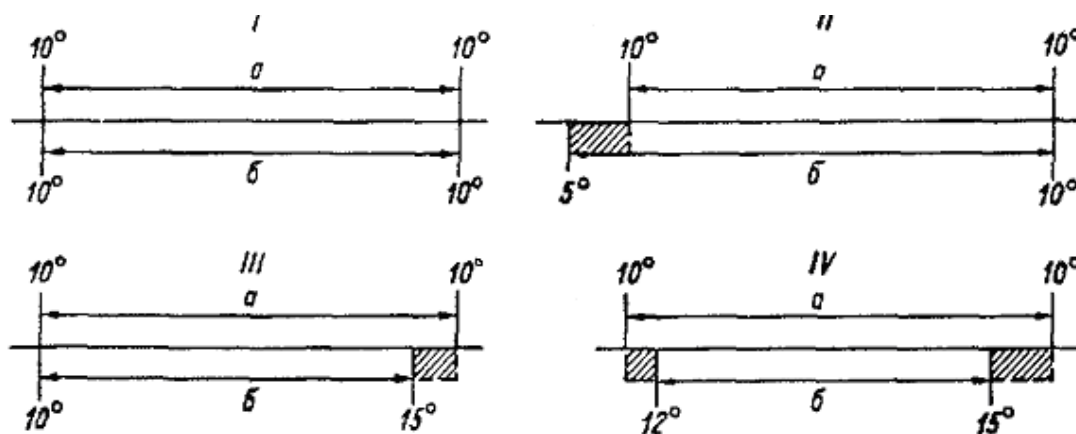


Рис. 4.2 – Возможные варианты при определении климатической разницы в суммах температур.

а – климатическая сумма, б – биологическая сумма

Четвертый случай подобен третьему, с той разницей, что климатических поправок здесь две (на весну и осень) и обе имеют положительный знак. Отметим, что могут быть и другие варианты, но расчет климатических поправок будет таким же, как и в рассмотренных случаях.

Сумма температур, подсчитанная в целом за вегетационный период, не дает характеристики его отдельных частей. Важное значение имеет определение даты, на которую накопится сумма температуры воздуха выше определенно предела применительно к конкретному растению. Ф.Ф. Давитая [30] предложил метод расчетов накопления сумм активных температур воздуха выше 5, 10, 15⁰С на любую дату вегетационного периода. Он для территории бывшего СССР (кроме Восточной Сибири и Дальнего Востока) построил девять номограмм накопления сумм температур в зависимости от средних многолетних $\Sigma \bar{T}_{ак}$.

Для построения номограммы используются данные нескольких станций с различными средними многолетними суммами температур воздуха. Для каждой станции подсчитывается средняя сумма температур по месяцам и нарастающим итогом на конец каждого месяца от даты перехода температуры воздуха через 10⁰С весной до даты перехода температуры через 10⁰С осенью. По данным табл.4.5 строятся для каждой станции графики нарастающих сумм температур (рис.4.3).

Таблица 4.5 – Сумма активных температур воздуха выше 10 ⁰С за месяц и нарастающим итогом

Станция	Д _в	Д _о	Месяц				
			V	VI	VII	VIII	IX
Сумма температур выше 10 ⁰ С за месяц							
А	4 V	27 IX	389	600	685	617	356
Д	16 V	12 IX	164	465	560	477	151
Сумма температур выше 10 ⁰ С нарастающим итогом							
А	4 V	27 IX	389	989	1674	2291	2647
Д	16 V	12 IX	164	629	1189	1666	1817

По полученным кривым накопления тепла для отдельных станций строится номограмма для определения сумм температур на любую дату или наоборот даты с любой суммой температур по средней многолетней сумме активных температур за период вегетации выше 10 ⁰С на данной территории. На оси абсцисс откладываются даты накопления

сумм температур, на оси ординат – средние многолетние суммы температур воздуха выше 10°C . В поле графика строятся изоплеты кривых с суммой температур, равной 0, 500, 1000, 150 $^{\circ}\text{C}$ и т.д. На

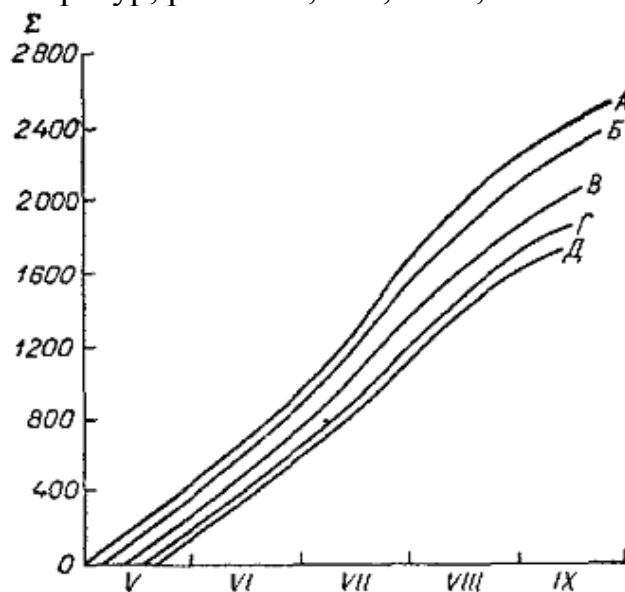


Рис.4.3 – Кривые нарастания сумм температур выше 10°C по станциям А, Б, В, Г и Д

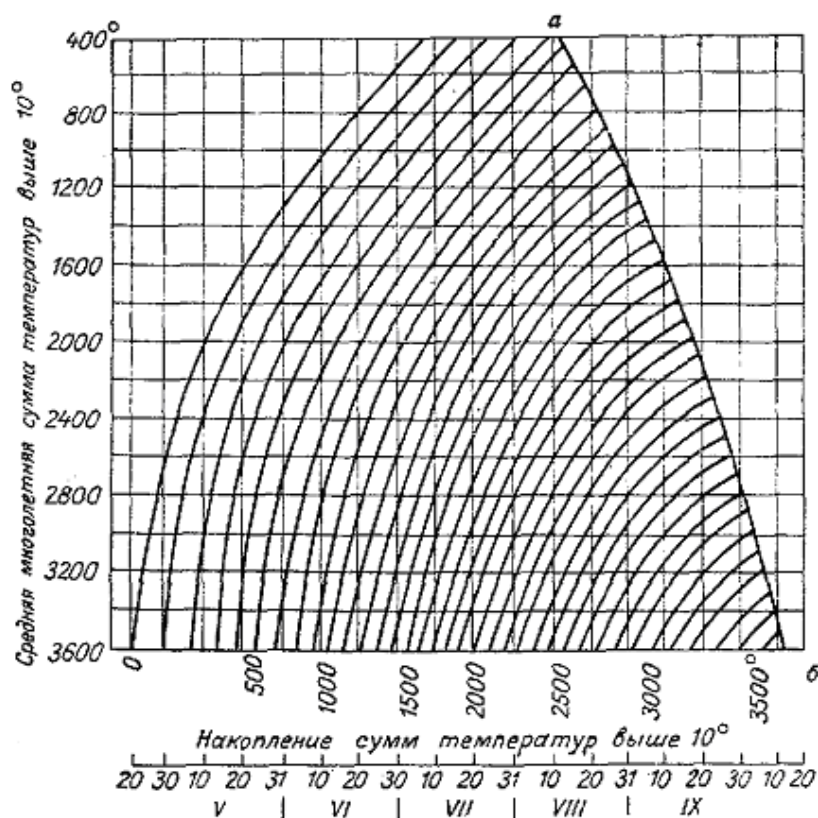


Рис. 4.4 – Накопление сумм температур выше 10^0 в зависимости от средних многолетних сумм (номограмма).

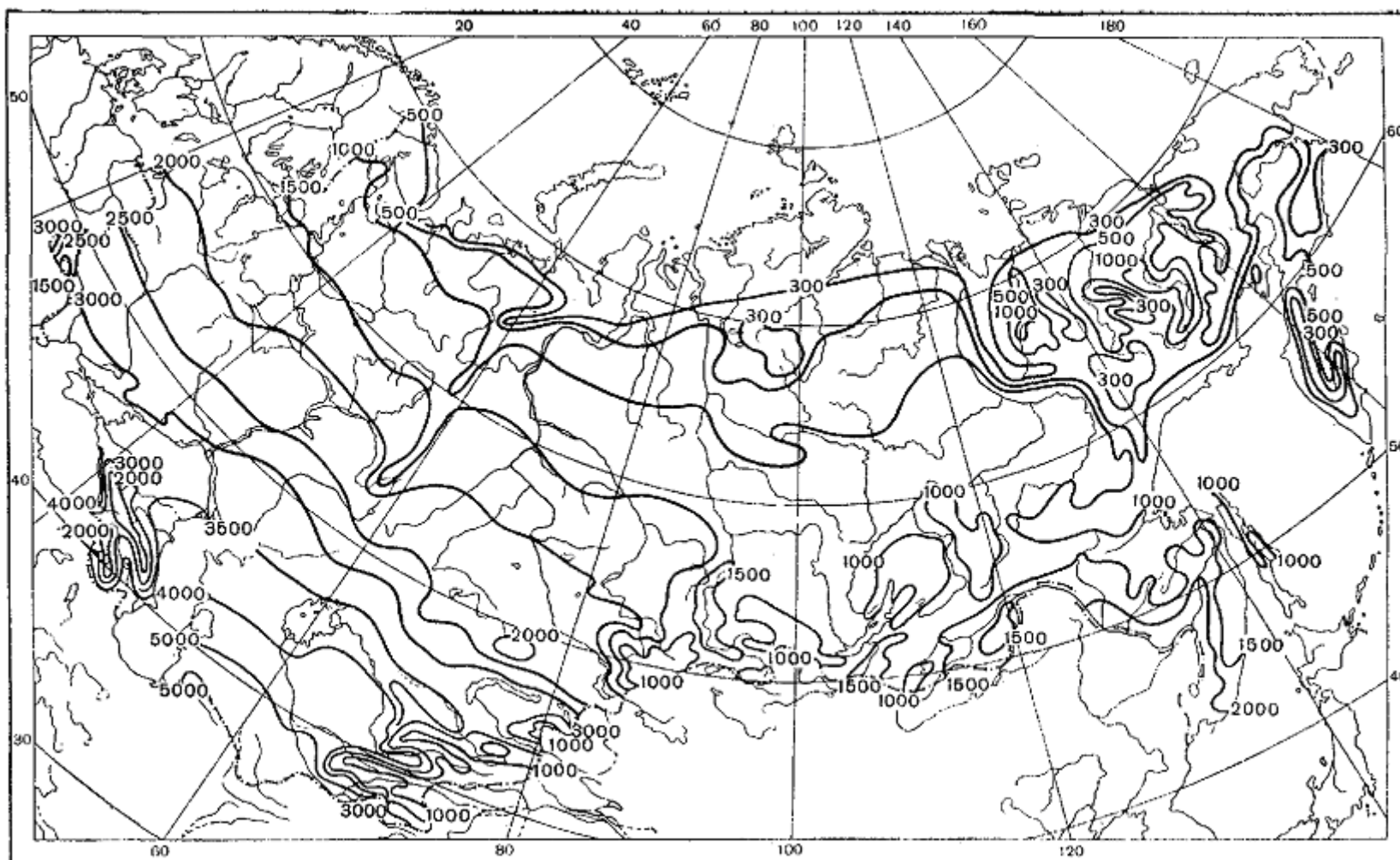


Рис. 4.5 – Агроклиматическая карта сумм активных температур воздуха выше 10 °С на территории СНГ

номограмме (рис.4.4) кривая соответствующая сумме температур 0°C , указывает на начало периода с температурой выше 10°C , а «замыкающая» кривая (а-б) – на конец этого периода.

Картирование сумм температур воздуха позволяет выявить географические особенности распределения ресурсов тепла на территории. На территории СНГ, включая страны Балтии, сумма активных температур воздуха выше 10°C меняется очень резко (рис.4.5). На севере (район Дудинки) она менее 500°C , а на юге (Средняя Азия) превышает 5000°C . На Европейской части территории изменчивость сумм температур несколько меньшая. А, именно, на Кольском полуострове сумма активных температур воздуха выше 10°C равна 600°C , а на юге Одесской области 3400°C . Приведенная карта отображает средние термические ресурсы. Суммы температур выше указанных на этой карте обеспечены на 50 %, т.е. в 5 годах из 10 не наблюдаются суммы ниже указанных средних многолетних величин. Если, например, в Москве средняя сумма температур – 2100°C , то сумма выше или ниже 2100°C буду здесь наблюдаться через год.

4.3. Вероятностная характеристика показателей термических ресурсов и оценка теплообеспеченности растений

Для более полной оценки возможности произрастания сельскохозяйственных культур необходимо знать обеспеченность определенных величин сумм тепла и продолжительности теплого периода в данной местности. Под обеспеченностью в общем смысле понимают суммарную вероятность явления ниже или выше определенного предела, существует несколько способ вероятностной оценки показателей термических ресурсов.

Один из них был предложен Ф.Ф. Давитая [30]. Он разработал способ перехода от средних многолетних сумм температур воздуха выше 10°C к обеспеченности определенных сумм в отдельные годы. Расчетная формула для определения обеспеченности отклонений сумм температур от климатической нормы имеет следующий вид:

$$D = 50,333 - 7,545 \left(\frac{\sigma_D}{50} \right) + 0,002 \left(\frac{\sigma_D}{50} \right)^2 + 0,243 \left(\frac{\sigma_D}{50} \right)^3, \quad (4.3)$$

где P – обеспеченность в %;

σ_T - среднее квадратическое отклонение от средней многолетней суммы температур воздуха выше 10°C .

Изучая изменчивость сумм активных температур в отдельные годы по данным 44 станций, равномерно расположенных на территории СНГ, он впервые построил кривые обеспеченности сумм температур для этих станций и типизировал их.

Последующие исследования вероятностных характеристик сумм температур позволили выделить для территории СНГ и стран Балтии три типа кривых обеспеченности сумм активных температур воздуха выше 10°C , которые представлены на рис. 4.6. Тип I характерен для районов с неустойчивым климатом, при котором наблюдается большая изменчивость сумм в отдельные годы. В этом случае кривая обеспеченности очень пологая. Этот тип отображает изменчивость сумм температур на Европейской территории СНГ, в Средней Азии и Западной Сибири. Тип II характерен для районов с более устойчивым климатом (центральная часть Сибири). Кривая обеспеченности здесь менее пологая. Тип III характерен для районов с устойчивым климатом (Восточная Сибирь и Дальний Восток), отличающихся большим постоянством сумм температур из года в год. В этом случае кривая обеспеченности очень крутая.

Погрешность расчетов по указанным кривым не превышает 2-4 %, что считается допустимым при решении различных задач в агроклиматологии. Используя кривые рис. 4.6, можно определить какие суммы температур обеспечены на 90-95 %; или же, зная сумму температур, необходимую для созревания какой-либо культуры, определить, как часто она может вызревать в данном месте.

Второй способ позволяет рассчитать абсолютные значения сумм активных температур воздуха выше 5, 10, 15°C различной вероятности относительно средней многолетней величины. Для этой цели можно воспользоваться универсальной формулой Г.А. Алексеева [9], которая дана в 2.2 главы 2.

После расчетов для каждой станции строится кривая суммарной вероятности сумм температур, с которой снимаются возможные значения обеспеченности $\sum T_{\text{ак}}$ с шагом в 10 %. Если имеются данные нескольких станций, то можно построить номограмму обеспеченности возможных сумм температур, например, выше 10°C , относительно средних многолетних значений и составить расчетную таблицу, удобную для агроклиматических расчетов. Данные табл. 4.6, например, следует понимать так: при средней сумме 3600°C последняя изменяется в отдельные годы от 3000°C до 4200°C , т.е. в этом районе не бывает лет с суммой температур менее 3000°C и более 4200°C . На 70 % (7 раз в 10 лет) обеспечена сумма более 3500°C в этом районе.

Поскольку распределение сумм температур воздуха подчиняется нормальному закону, также как и продолжительность теплого периода, то суммарную вероятность этих показателей можно рассчитать более

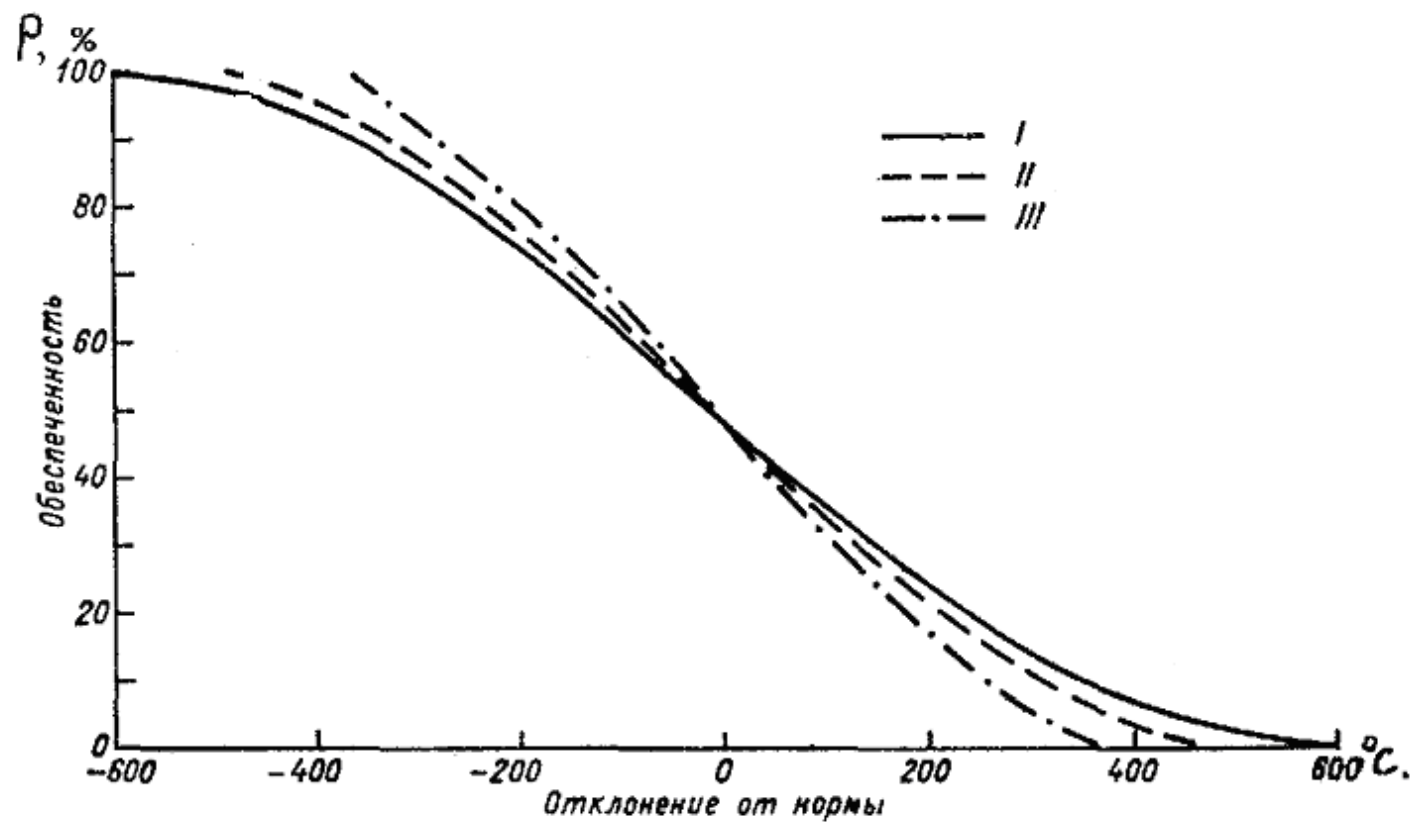


Рис. 4.6 – Кривые обеспеченности вегетационного периода суммой температур выше 10° .
 I – в климатах неустойчивого типа, II – в климатах устойчивого типа,
 III – в климатах особо устойчивого типа

Таблица 4.6 – Обеспеченность сумм температур воздуха выше 10 °С в зависимости от многолетней средней для кривой типа I

Средние многолетние суммы температур	Обеспеченность, %										
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
3600 ⁰	3000	3280	3400	3500	3580	3640	3680	3730	3780	3860	4200
3400 ⁰	2800	3080	3200	3300	3380	3440	3480	3530	3580	3660	4000
3200 ⁰	2600	2880	3000	3100	3180	3240	3280	3330	3380	3460	3800
3000 ⁰	2400	2680	2800	2900	2980	3040	3080	3130	3180	3260	3600
2800 ⁰	2200	2480	2600	2700	2780	2840	2880	2930	2980	3060	3400
2600 ⁰	2000	2280	2400	2500	2580	2640	2680	2730	2780	2860	3200
2400 ⁰	1800	2080	2200	2300	2380	2440	2480	2530	2580	2660	3000

простым способом по данным двух статистических параметров – средней многолетней суммы температур и среднего квадратического отклонения этого показателя (σ_T) по формуле 2.5 (см. главу 2) с использованием коэффициентов кривой Гаусса.

Принято считать, что обеспеченность культуры теплом порядка 80-90 % является хорошей, так как производственный риск в данном случае невелик (20-10 %). При обеспеченности культуры теплом на 50-70 %, т.е. возможно её созревание 5-7 раз в 10 лет, необходимо применять значительные меры по улучшению термических условий. Если культура обеспечена теплом менее чем на 50 %, её возделывание не имеет смысла. Используя таблицы и графики обеспеченности сумм активных температур, можно по картам средних многолетних сумм температур воздуха, обеспеченность которых равна 50 %, построить карты любой другой обеспеченности (чаще 80-90 %). Такие карты применяются для агроклиматического районирования сельскохозяйственных культур.

Д.И. Шашко [115] внес определенный вклад в методы оценки термических ресурсов территорий для размещения сельскохозяйственных культур. Он предложил следующую формулу для комплексной оценки теплообеспеченности растений:

$$\Sigma T_{\delta k} > 10^{\circ}\text{C} = \Sigma T_{\delta} + P_k + \Pi_{\text{ш}} + \Pi_{\text{м}} + \Pi_{\text{к}} + (200, 300^{\circ}\text{C}), \quad (4.4)$$

где $\Sigma T_{\delta k}$ – биоклиматическая сумма температур, выражающая количество тепла, обеспечивающее ежегодное (или частое 8-9 раз в 10 лет) вызревание культуры;

ΣT_{δ} – выражает биологическую потребность растений в тепле за период вегетации;

P_k – разность сум температур в пределах лимитных температур развития растений и за период с температурой воздуха выше 10°C ;

$\Pi_{\text{ш}}$ – поправка на широту места, т.е. она учитывает различия в длине дня ($\pm 10-15^{\circ}\text{C}$ на 1° с.ш.);

$\Pi_{\text{м}}$ – поправка на микроклиматические особенности местоположения;

$\Pi_{\text{к}}$ – поправка на континентальность климата (минусовая в пределах -100, -200 $^{\circ}\text{C}$);

+200 (250, 300 $^{\circ}\text{C}$) – отклонения сумм климатических температур, соответствующие обеспеченности 90 %. С помощью этой формулы он определил ареалы видов и сортов культурных растений на карте агроклиматического районирования территории бывшего СССР.

Глава 5 МЕТОДЫ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА И ТЕРМИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ДНЯ И НОЧИ

5.1 Суточный ход температуры воздуха и термопериодизм растений

Суточный ход температуры воздуха является важным климатическим показателем, хорошо отражающим воздействие основных факторов климатообразования (солнечной радиации, атмосферной циркуляции и подстилающей поверхности). Влияние суточного хода температуры воздуха на жизнь дикой и культурной растительности очень велико, особенно в теплое время года, когда различия в термическом режиме дня и ночи наиболее значительно выражены как в зональном разрезе, так и под влиянием микроклимата. Его основными характеристиками являются: максимальная и минимальная температура воздуха ($T_{\text{мак}}$, $T_{\text{мин}}$), суточная амплитуда температуры воздуха (A_T), средняя дневная и средняя ночная температура воздуха (T_d , T_n).

Однако до последнего времени, в агроклиматических исследованиях широко применяется средняя суточная температура воздуха и её суммы, подсчитанные разным способом, для оценки термических ресурсов территории и теплообеспеченности сельскохозяйственных культур. Это обусловлено простотой обработки и имеющимися массовыми данными по вышеуказанным показателям в «Справочниках по климату СССР» [98]. Применение этих показателей и по сей день подвергается критике со стороны биологов и экологов.

К недостаткам средней суточной температуры воздуха (T_c) и её сумм относится то, что в этих показателях сглаживается суточный ход температуры воздуха. Они не чувствительны к степени континентальности климата и к микроклимату. Г.Т. Селянинов [92], П.И. Колосков [42] и др. признавали несовершенство средней суточной температуры воздуха и считали необходимым введение новых показателей термических ресурсов, в которых бы учитывалась суточная ритмика температур днем и ночью.

Наиболее детально характеристики суточного хода температуры воздуха были исследованы З.А. Мищенко [61, 63] с агроклиматическим обоснованием их использования для сельскохозяйственной оценки климата. Ею были построены агроклиматические карты распределения суточной амплитуды температуры воздуха на территории бывшего СССР для мая, июня, июля и августа; количественно оценена микроклиматическая изменчивость A_T под влиянием холмистого и горного

рельефа, морей и крупных водоемов, а также других неоднородностей подстилающей поверхности. Как видно из рис.5.1 A_m в июле на территории СНГ и стран Балтии увеличивается в направлении с севера на юг и юго-восток от 4 °С до 18 °С, изменяясь по территории более чем в 4 раза.

За последние 20-30 лет учеными стран СНГ, а также ряда стран Европы и Канады выполнены экспериментальные исследования, обосновывающие необходимость отдельного учета термического режима в дневные и ночные часы суток в связи с изучением термопериодизма, т.е. влияния суточных колебаний температуры воздуха на рост и развитие культурных растений, а также их продуктивность. Убедительно показано, что средняя суточная температура воздуха (T_c) не может быть показателем скорости развития растений. Несоответствие темпов развития культурных растений с традиционным термическим показателем объясняется тем, что у растений длинного дня процессы развития протекают, в основном, в дневные часы, а у растений короткого дня – в темноте. Поэтому у растений длинного дня темпы развития ускоряются при повышенных дневных температурах воздуха, а у растений короткого дня при повышенных ночных температурах [13, 51, 61, 118, 124].

В настоящее время является общепризнанным положение о том, что жизнедеятельность растений определяется действием двух основных механизмов – фотопериодизма и термопериодизма. В природе оба эти механизма связаны друг с другом, и в конечном счете, именно они определяют темпы развития, урожайность и химизм растений. Установлено, что большинство культурных растений лучше развиваются и дают более высокую продукцию при повышенных дневных и пониженных ночных температурах в определенных оптимальных пределах. Механизм термопериодической реакции заключается в том, что при повышенных дневных температурах они интенсивно ассимилируют днем, накапливая органическое вещество, а ночью при пониженных температурах расход ассимилянтов на дыхание значительно сокращается.

Повидимому по этой причине происходит сокращение вегетационного периода многих культурных растений при продвижении с запада на восток территории СНГ. В табл. 5.1 представлены многолетние данные для среднеспелых сортов яровой пшеницы. Наглядно видно, что на сортоучастках, находящихся в Восточной Сибири и в Забайкалье с резко континентальным климатом, яровая пшеница ускоряет темпы развития на 10-15 дней по сравнению с западными районами ЕЧ СНГ, находящимися на той же широте. Незначительные изменения сумм эффективных (выше 5 °С) средних суточных температур воздуха не позволяют вскрыть причину неравномерного развития пшеницы на западе и востоке СНГ.

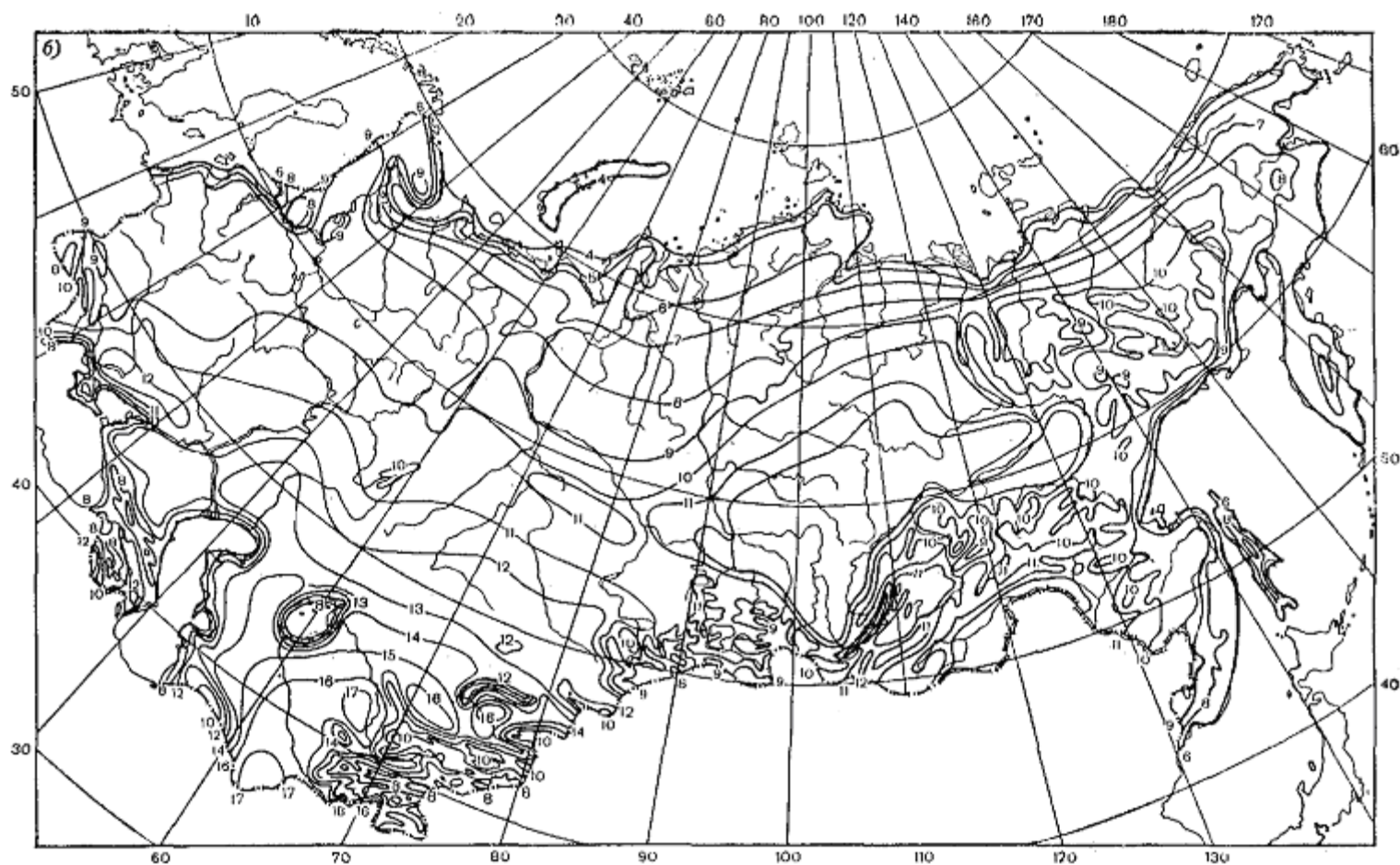


Рис. 5.1 – Географическое распределение суточной амплитуды температуры воздуха на территории СНГ и стран Балтии. Июль.

Таблица 5.1 – Продолжительность вегетационного периода яровой пшеницы и термические характеристики на разной долготе

Сортоучасток	Область	Период посев- восковая спелость (дни)	$\Sigma T_{эф}, ^\circ\text{C}$			$A_m, ^\circ\text{C}$, за май – август
			суточная	дневная	ночная	
Гатчинский	Санкт-Петербургская	93	951	920	720	8,2
Омиминский	Якутия	80	850	960	578	10,0
Вальмиерский	Латвия	102	1073	1080	830	7,8
Тайшетский	Иркутская	86	911	1125	565	10,3
Ельский	Гомельская	98	960	1090	640	9,0
Барнаульский	Алтайский край	90	1000	1280	780	10,9
Радеховский	Львовская	105	906	1070	650	9,2
Читинский	Читинская	96	890	1190	520	12,6
Суворовский	Одесская	100	1050	855	685	9,6
Джунгарский	Актюбинская	81	960	1125	485	12,5

Ускорение развития яровой пшеницы в направлении с запада на восток связано с увеличением сумм дневных и уменьшением сумм ночных температур воздуха и соответственно с возрастанием суточной амплитуды температур воздуха (A_m).

Для многих культурных растений определены оптимальные значения средних дневных и средних ночных температур, способствующих ускорению скорости их развития и получению урожаев высокого качества. В табл. 5.2 представлены оптимальные значения T_d и T_n отдельно в вегетативный и репродуктивный периоды развития. Как правило, в оба периода развития растения нуждаются в более высоких дневных и пониженных (в 1,5-3,0 раза) ночных температур воздуха. В репродуктивный период зерновые культуры нуждаются в более высоких дневных и ночных температурах. Например, озимая пшеница нуждается в вегетативный период в T_d и T_n , равных $17-19^\circ\text{C}$ и $6-8^\circ\text{C}$, а в репродуктивный – соответственно $22-24^\circ\text{C}$ и $9-11^\circ\text{C}$. Для кукурузы оптимальными T_d и T_n являются в вегетативный период $22-24^\circ\text{C}$ и $10-12^\circ\text{C}$, а в репродуктивный – соответственно $24-26^\circ\text{C}$ и $14-16^\circ\text{C}$.

Таблица 5.2 – Оптимальные средние дневные и средние ночные температуры воздуха для различных культурных растений ($^{\circ}\text{C}$)

Культура	Вегетативный период		Репродуктивный период		Автор
	$T_{\text{д}}$	$T_{\text{н}}$	$T_{\text{д}}$	$T_{\text{н}}$	
Яровая пшеница	18-20	6-10	21-23	10-12	Т.В. Олейникова, З.А. Мищенко
Озимая пшеница	17-19	6-8	22-24	9-11	В.С. Шевелуха
Яровой ячмень	18-20	6-10	20-22	8-10	З.Ф. Самохина, В.С. Шевелуха
Яровой овес		6-10			З.Ф. Самохина, Х.Я. Эихерман
Озимая рожь	20-22	7-9	22-24	10-12	В.С. Шевелуха
Кукуруза	22-24	10-12	24-26	14-16	В.С. Шевелуха, Ю.И. Чирков
Картофель	20	12-14	20-22	14	Ф. Вент, З.А. Мищенко
Томаты	26-30	17-20	26	13-18	Ф. Вент, Т.В. Олейникова
Баклажаны	26	18-20	20-22	13-14	Ф. Вент
Табак	26-30	14-15	22-26	15	Ф. Вент, Р. Кар, А. Линк
Виноград	19-21	14-16	26-29	12-14	А.М. Кирокосян, Т.Г. Катарьян
Соя	22-25	14-18	24-26	14-15	Н. Паркер, Р. Бортвик
Горох	20-23	13-14	22-24	12-14	Ф. Вент, Х. Хайкин

5.2 Методы расчетов показателей теплового режима дня и ночи

Для решения различных задач в области агроклиматологии, связанных с обслуживанием сельского хозяйства, З.А. Мищенко [53, 54] предложила новые показатели теплового режима отдельно для дня и ночи, охватывающие биологически активный слой воздуха и деятельную поверхность. К их числу относятся: средняя дневная и средняя ночная температура воздуха ($T_{\text{д}}$, $T_{\text{н}}$), продолжительность теплого периода с $T_{\text{д}}$, $T_{\text{н}}$ выше 5, 10 $^{\circ}\text{C}$; суммы активных дневных и ночных температур выше

5, 10 °С ($\sum T_{\partial}$, $\sum T_n$); средняя дневная температура деятельной поверхности ($T_{\partial w}$), продолжительность теплого периода с $T_{\partial w}$ выше 5, 10 °С ($N_{\partial w}$), суммы активных температур деятельной поверхности выше 5, 10 °С ($\sum T_{\partial w}$). Преимущество предложенных показателей теплового режима перед существующими (T_c , $\sum T_c$) заключается в том, что в них учитывается воздействие суточного хода температуры и изменчивость длины дня и ночи в географическом разрезе.

Вместе с тем до настоящего времени возможности использования режимного материала по T_{∂} , T_n и их суммами весьма ограничены тем, что в справочных книгах по климату такие данные отсутствуют. Поэтому автором разработаны методы прямого и косвенного расчета дневных и ночных температур воздуха. Для получения массовых материалов по T_{∂} , T_n за период с апреля по октябрь использованы данные многолетних наблюдений на 600 метеорологических станциях за суточным ходом температуры воздуха, а также данные по среднему максимуму (T_{max}) и среднему минимуму (T_{min}) температуры воздуха из «Справочника по климату СССР» [98].

Прямой метод расчета T_{∂} , T_n заключается в непосредственном использовании многолетних данных наблюдений за суточным ходом температуры воздуха и вычислении средних величин из ежечасных значений температуры за период от восхода до захода солнца ($T_{\epsilon} + \dots + T_z$) и соответственно средних из ежечасных значений температуры за период от захода до восхода солнца ($T_z + \dots + T_{\epsilon}$) в виде:

$$T_{\partial} = \frac{(T_{\epsilon} + \dots + T_z)}{n_{\partial}} \quad (5.1)$$

$$T_n = \frac{(T_z + \dots + T_{\epsilon})}{n_n}, \quad (5.2)$$

где n_{∂} – число часов за день от восхода до захода солнца;

n_n – число часов за ночь от захода до восхода Солнца.

Как правило, в теплое время года разрушение инверсий температуры воздуха в утренние часы происходит при высоте солнца 10-15 °С, т.е. на 40-60 мин. позднее времени восхода солнца, а время наступления инверсий – в вечерние часы за 40-60 мин. до захода солнца. Поэтому время восхода и захода солнца округлялось до целого часа, путем учета времени разрушения и установления температурных инверсий в утренние и вечерние часы. Такой подход физически и биологически вполне оправдан, так как после разрушения инверсий утром устанавливается дневной (инсоляционный) тип процессов теплообмена в приземном слое воздуха с характерным для него профилем температуры и с максимальным

прогреванием на уровне деятельной поверхности. С наступлением температурной инверсии вечером устанавливается ночной тип распределения температуры, при котором в результате радиационного выхолаживания деятельная поверхность, в том числе растительные сообщества, оказываются холоднее прилежащих слоев воздуха. Отличительной чертой вычисленных по формулам 5.1 и 5.2 средних многолетних значений T_d , T_n является то, что в них учитывается изменчивость длины дня и ночи.

На рис. 5.2 по данным 80 станций, равномерно освещающих территорию бывшего СССР, представлена расчетная номограмма изменения продолжительности дня N_d и ночи N_n (часы) в зависимости от широты места и времени года. Наглядно видно по кривым, расходящимся веером, что максимальные различия в длине дня и ночи во все месяцы, кроме октября, наблюдаются в высоких широтах. Например, на широте 65^0 в июне продолжительность дня превышает 21 час, а ночь длится не более 3 часов. Наименьшие контрасты наблюдаются в пределах широт $45-50^0$, где длина дня составляет 13-15 часов, а продолжительность ночи не превышает 9-11 часов.

В зависимости от широты места и времени года число часов, входящих в подсчет T_d , T_n изменяются и соответственно сдвигаются в начальные и конечные часы, входящие в дневное и ночное время суток. В T_d , T_n учитывается динамика длины дня и ночи и в этом заключается их главное качественное и количественное преимущество перед традиционным термическим показателем – средней суточной температурой воздуха (T_c). Рассмотренный рисунок является физическим и биоклиматическим обоснованием использования новых термических показателей T_d , T_n и их сумм в агроклиматических расчетах, включая моделирование продукционного процесса.

Определение T_d , T_n прямым способом является трудоемкой операцией. Поэтому в целях упрощения расчетов З.А. Мищенко разработала косвенные методы определения T_d , T_n , основанные на использовании массовых данных по известным климатическим показателям, опубликованным в «Справочнике по климату СССР». Составлена серия графиков зависимости между T_d и средним максимумом температуры воздуха ($T_{\max}$), T_d и температурой в 13 часов, T_n и средним минимумом температуры ($T_{\min}$) за каждый месяц с апреля по октябрь. Рассчитаны уравнения линейной регрессии и статистические параметры к ним.

Результаты расчетов представлены в табл. 5.3 и 5.4, из которых видно, что коэффициенты корреляции (r) связей T_d с $T_{\max}$ и T_n с $T_{\min}$ остаются во

все месяцы высокими, а средние квадратические ошибки коэффициентов корреляции $\sigma_r = \frac{1-r^2}{\sqrt{n}}$ и вероятные ошибки $E_r = 0,67\sigma_r$ весьма малы.

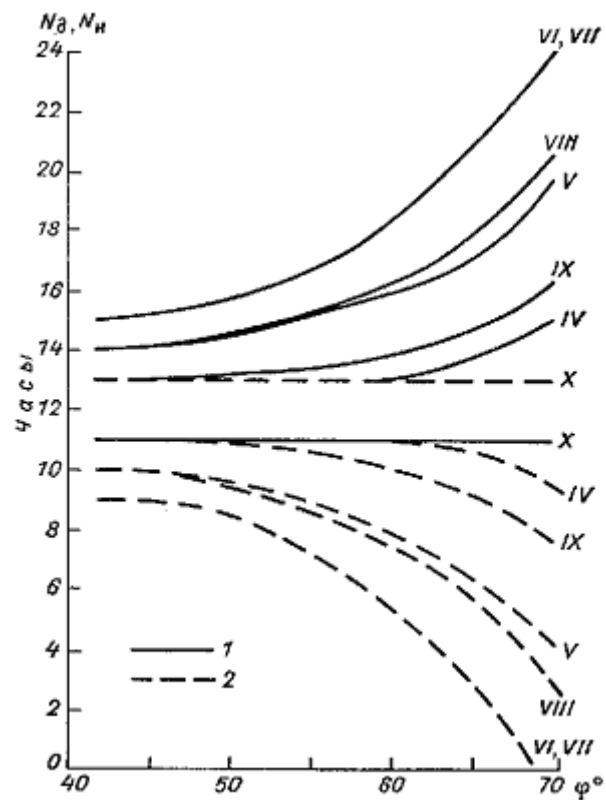


Рис.5.2 – Изменение продолжительности дня и ночи в часах в зависимости от широты места.
1 – продолжительность дня N_d ;
2- продолжительность ночи N_n .

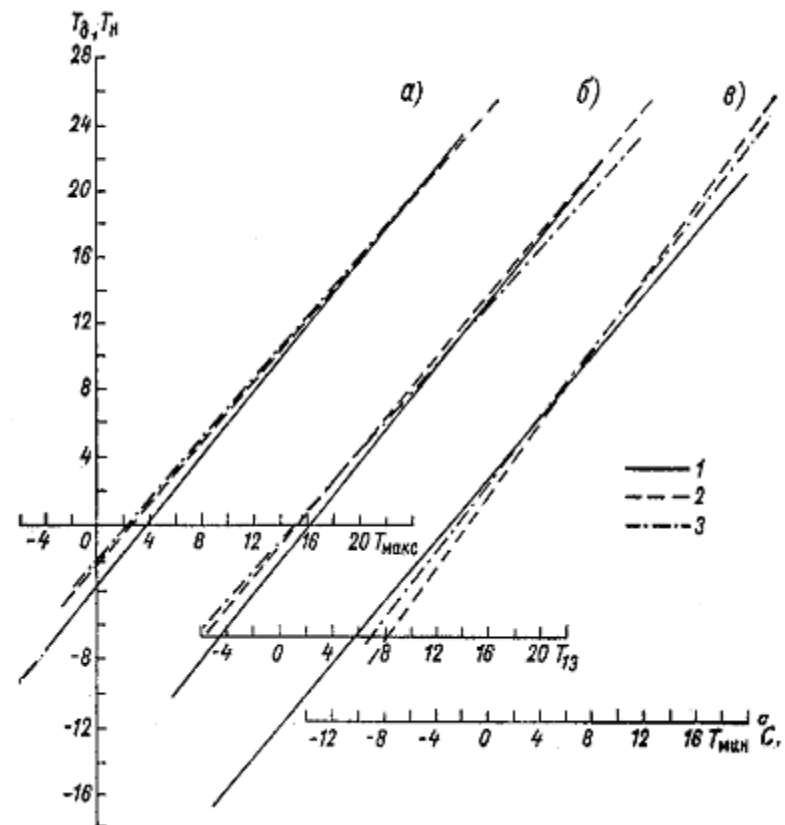


Рис.5.3 – Теоретические линии зависимости между термическими показателями дня и ночи:
 T_d и $T_{\max}$ (а); T_d и T_{13} (б); T_n и $T_{\min}$ (в).
1 – май; 2 – июль; 3 – сентябрь.

Таблица 5.3 - Статистические параметры уравнений связи T_{∂} с $T_{\max}$ и их точность

Месяц	r	σ_r	E_r	σ_{∂}	$\sigma_{\max}$	$T_{\partial} = a T_{\max} + b$	$\bar{S}_y$
Апрель	0,98	0,002	0,00134	6,6	6,7	$T_{\partial} = 0,96 T_{\max} - 3,5$	$\pm 1,2$
Май	0,99	0,001	0,00067	6,6	7,0	$T_{\partial} = 0,93 T_{\max} - 3,1$	$\pm 0,9$
Июнь	0,98	0,002	0,00134	5,4	5,8	$T_{\partial} = 0,91 T_{\max} - 2,5$	$\pm 1,1$
Июль	0,97	0,003	0,00201	5,1	5,4	$T_{\partial} = 0,91 T_{\max} - 2,2$	$\pm 1,2$
Август	0,99	0,001	0,00067	5,3	5,4	$T_{\partial} = 0,97 T_{\max} - 3,2$	$\pm 0,7$
Сентябрь	0,98	0,002	0,00134	5,5	6,0	$T_{\partial} = 0,90 T_{\max} - 2,0$	$\pm 1,0$
Октябрь	0,99	0,001	0,00067	7,2	7,5	$T_{\partial} = 0,95 T_{\max} - 2,7$	$\pm 1,0$

Таблица 5.4 - Статистические параметры уравнений связи T_n с $T_{\min}$ и их точность

Месяц	r	σ_r	E_r	σ_{∂}	$\sigma_{\min}$	$T_n = a_1 T_{\min} + b_1$	$\bar{S}_y$
Апрель	0,99	0,001	0,00067	6,5	7,0	$T_n = 0,91 T_{\min} + 3,0$	$\pm 0,9$
Май	0,98	0,002	0,00134	5,8	5,7	$T_n = 0,98 T_{\min} + 3,1$	$\pm 1,2$
Июнь	0,96	0,004	0,00268	4,7	4,4	$T_n = 1,03 T_{\min} + 2,4$	$\pm 1,3$
Июль	0,96	0,004	0,00268	4,0	4,0	$T_n = 0,96 T_{\min} + 3,2$	$\pm 1,1$
Август	0,97	0,003	0,00201	4,6	4,3	$T_n = 1,04 T_{\min} + 2,0$	$\pm 1,1$
Сентябрь	0,97	0,003	0,00201	5,0	4,8	$T_n = 1,01 T_{\min} + 2,7$	$\pm 1,2$
Октябрь	0,99	0,001	0,00067	6,2	6,7	$T_n = 1,01 T_{\min} + 2,6$	$\pm 0,6$

Средняя ошибка уравнений регрессии рассчитана по формуле вида:

$$\bar{S}_{\partial} = \pm \sigma_{\partial} \sqrt{1 - r^2} \quad (5.3)$$

Точность расчета T_{∂} , T_n по соответствующим уравнениям связи в разные месяцы высокая и вполне приемлема для решения различных прикладных задач.

На рис. 5.3 представлены теоретические линии зависимостей, построенные по найденным уравнениям связи для типовых месяцев, характеризующих весну, лето, осень. Здесь же показаны эмпирические линии зависимости между температурой воздуха в 13 часов (T_{13}) и дневной температурой воздуха. Внутренние связи термических характеристик суточного хода температуры воздуха весьма устойчивы по времени, поэтому, каждый из трех типов зависимостей представлен в виде тесного пучка линий.

Среднюю дневную температуру воздуха можно определить по уравнениям связи между T_d и температурой воздуха в 13 часов (T_{13}), которые имеют вид для разных месяцев:

$$\text{Апрель} \quad T_d = 0,97T_{13} - 2,0 \quad (5.4)$$

$$\text{Май} \quad T_d = 0,94T_{13} - 1,2 \quad (5.5)$$

$$\text{Июнь} \quad T_d = 0,92T_{13} - 1,1 \quad (5.6)$$

$$\text{Июль} \quad T_d = 0,93T_{13} - 1,0 \quad (5.7)$$

$$\text{Август} \quad T_d = 0,94T_{13} - 0,9 \quad (5.8)$$

$$\text{Сентябрь} \quad T_d = 0,90T_{13} - 0,9 \quad (5.9)$$

$$\text{Октябрь} \quad T_d = 0,94T_{13} - 1,3 \quad (5.10)$$

Коэффициенты корреляции r во все месяцы достаточно высокие и составляют 0,84-0,97. Точность косвенного расчета T_d в этом случае примерно такая же как при использовании уравнений связи T_d с $T_{\text{мак}}$.

Дневную и ночную температуры воздуха можно также определить также по данным восьмисрочных наблюдений за температурой воздуха на метеорологических станциях. В этом случае $\dot{O}'_d, \dot{O}'_n$ рассчитываются по следующим формулам:

$$\dot{O}'_d = \frac{\dot{O}_9 + \dot{O}_{12} + \dot{O}_{15} + \dot{O}_{18}}{4} \quad (5.11)$$

$$\dot{O}'_n = \frac{\dot{O}_3 + \dot{O}_6 + \dot{O}_{21} + \dot{O}_0}{4} \quad (5.12)$$

где к дневному периоду суток отнесены наблюдения за температурой воздуха в 9, 12, 15, 18^h, а к ночному периоду суток – соответственно в 3, 6, 21, 0^h. Надежность определения $\dot{O}'_d, \dot{O}'_n$ по формулам 5.11 и 5.12 обусловлено тем, что между дневными и ночными температурами воздуха, полученными из ежечасных данных по суточному ходу температуры воздуха и по 4-х срочным наблюдениям за температурой, существует тесная взаимосвязь.

Предложенные методы косвенного расчета T_d и T_n , основанные на использовании уравнений линейной регрессии или графиков зависимости, позволяют быстро и надежно вычислять дневные и ночные температуры воздуха на равнинной и всхолмленной территории СНГ. Исключение представляют горные районы, для которых целесообразно провести

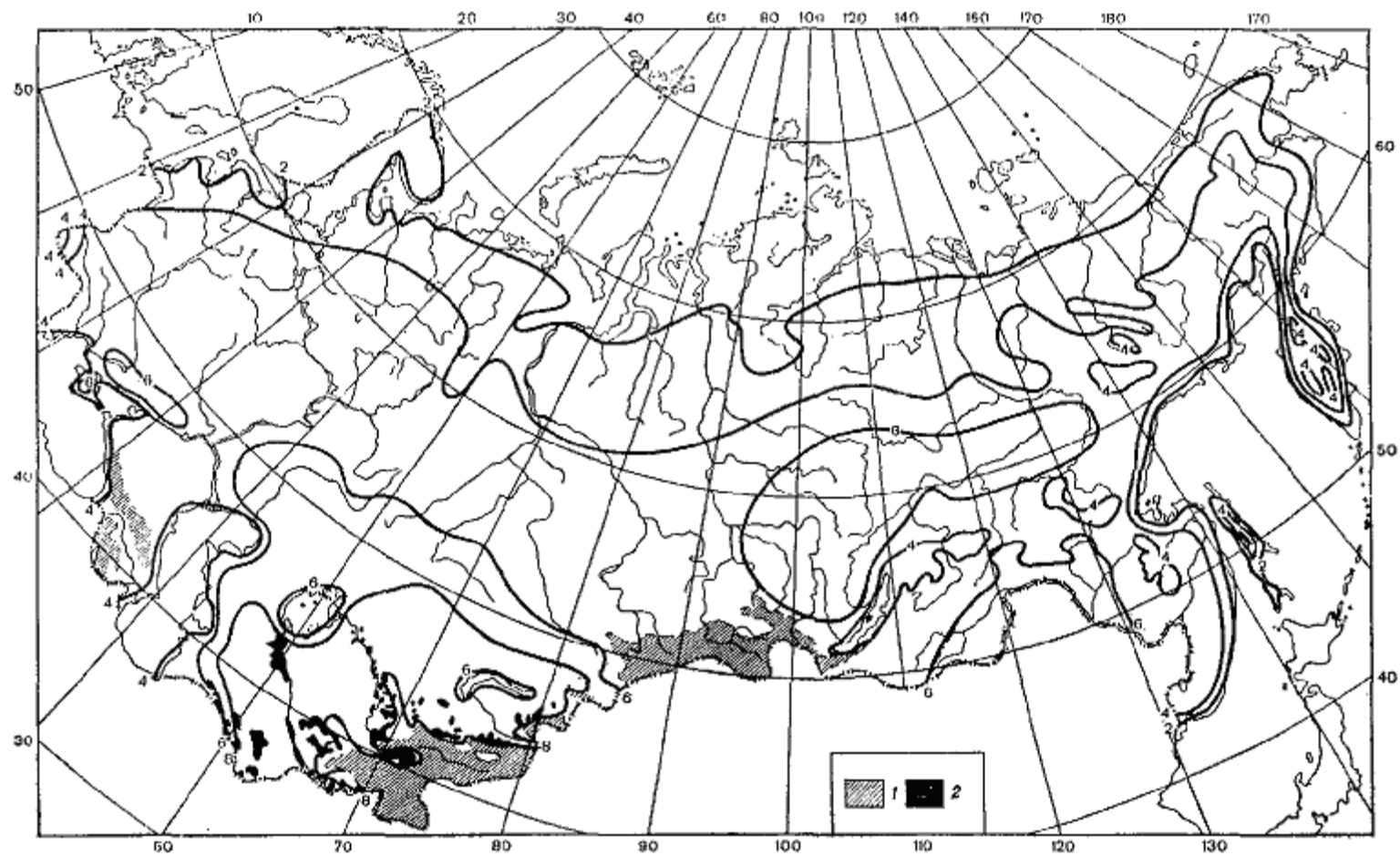


Рис. 5.4 – Средняя разность дневной и ночной температуры воздуха ($T_d - T_n$) на территории СНГ и стран Балтии. Июль. 1 – горные районы; 2 – оазисы.

Таблица 5.5 - Уравнения связи между характеристиками суточного хода температуры воздуха и статистические параметры к ним

Месяц	r	σ_r	E_r	σ_y	σ_x	$Y = ax + b$	$\bar{S}_y$
а) Связь $(T_{\partial} - T_{\text{н}})$ с A_m							
Май	0,95	0,005	0,003	2,35	2,60	$(T_{\text{д}} - T_{\text{н}}) = 0,90 A_{\text{т}} - 3,6$	$\pm 1,5$
Июль	0,97	0,004	0,003	1,75	2,57	$(T_{\text{д}} - T_{\text{н}}) = 0,95 A_{\text{т}} - 2,8$	$\pm 1,10$
Сентябрь	0,97	0,003	0,002	1,8	3,00	$(T_{\text{д}} - T_{\text{н}}) = 0,98 A_{\text{т}} - 3,6$	$\pm 1,11$
б) Связь T_{∂} с T_c							
Май	0,99	0,0004	0,0003	6,30	6,05	$T_{\text{д}} = 1,05 T_{\text{с}} + 1,1$	$\pm 0,48$
Июль	0,99	0,0004	0,0003	4,46	3,76	$T_{\text{д}} = 1,18 T_{\text{с}} - 2,08$	$\pm 0,34$
Сентябрь	0,98	0,0008	0,0006	4,90	4,50	$T_{\text{д}} = 1,08 T_{\text{с}} + 0,8$	$\pm 0,22$
в) Связь $T_{\text{н}}$ с T_c							
Май	0,98	0,0012	0,0008	5,60	5,90	$T_{\text{н}} = 0,94 T_{\text{с}} - 2,0$	$\pm 0,75$
Июль	0,95	0,0068	0,0046	3,53	3,84	$T_{\text{н}} = 0,79 T_{\text{с}} - 0,8$	$\pm 1,05$
Сентябрь	0,98	0,0028	0,0018	4,06	4,48	$T_{\text{н}} = 0,90 T_{\text{с}} - 1,0$	$\pm 0,66$

специальные разработки. Эти методы расчета были применены для получения массовых материалов по $T_{\text{д}}$ и $T_{\text{н}}$ для 1600 метеорологических станций. По этим материалам З.А. Мищенко [6, 54] построила ряд агроклиматических карт распределения $T_{\text{д}}$, $T_{\text{н}}$ а также их разности ($T_{\text{д}} - T_{\text{н}}$) на территории бывшего СССР в теплое время года. Дневные температуры воздуха повсеместно оказываются значительно больше ночных температур. Например, летом разность ($T_{\text{д}} - T_{\text{н}}$) возрастает в направлении с севера на юго-восток от 2°C до 8°C (рис.5.4).

Распределение $T_{\text{д}}$ и $T_{\text{н}}$ в отличие от средней суточной температуры воздуха сравнимо с суточным ходом температуры, что подтверждается наличием тесной зависимости междусуточной амплитудой температуры воздуха ($A_{\text{м}}$) и разностью ($T_{\text{д}} - T_{\text{н}}$). При увеличении континентальности климата в направлении с запада на восток и с севера на юг СНГ возрастает $A_{\text{м}}$, а вместе с ней увеличивается разность ($T_{\text{д}} - T_{\text{н}}$), составляя примерно половину величин суточной амплитуды температуры воздуха. В табл.5.5 представлены уравнения связи ($T_{\text{д}} - T_{\text{н}}$) с $A_{\text{м}}$ и статистические параметры к ним для мая, июля и сентября. Во все месяцы коэффициенты корреляции остаются весьма высокими (более 0,95), а ошибки уравнений регрессии малы.

Для получения количественной оценки изменения $T_{\text{д}}$ и $T_{\text{н}}$ в зависимости от уровня средней суточной температуры воздуха ($T_{\text{с}}$) были построены графики связи $T_{\text{д}}$ с $T_{\text{с}}$, $T_{\text{н}}$ с $T_{\text{с}}$ для каждого месяца с апреля по октябрь. Рассчитаны соответствующие уравнения линейной регрессии и статистические параметры к ним. Как видно из табл.5.5 между этими термическими характеристиками существует тесная зависимость. Однако выявлено, что при одной и той же средней суточной температуре воздуха наблюдаются различные значения $T_{\text{д}}$ и $T_{\text{н}}$. Например, в северных районах СНГ, где длительность дня в июле составляет 20-23 часа в сутки, $T_{\text{д}}$ примерно на $0,5^{\circ}\text{C}$ больше $T_{\text{с}}$, а $T_{\text{н}}$ на $1-1,5^{\circ}\text{C}$ меньше. В южных районах, где длина дня значительно меньше, $T_{\text{д}}$ примерно на $2,5-3^{\circ}\text{C}$ больше $T_{\text{с}}$, а $T_{\text{н}}$ на $3,5-4,5^{\circ}\text{C}$ меньше.

5.3 Агроклиматическая оценка тепловых ресурсов дня и ночи на территории СНГ

Сумма дневных и ночных температур воздуха биологически более точно описывают связь теплового фактора с основными механизмами жизнедеятельности растений – фотопериодизмом и термопериодизмом, которые определяют темпы развития, продуктивность и химический состав сельскохозяйственных культур. Для получения массового материала по суммам дневных и ночных температур воздуха выше $5, 10, 15^{\circ}\text{C}$ ($\Sigma T_{\text{д}}$,

ΣT_n) З.А. Мищенко [63] предложила прямой и косвенный методы расчетов.

Прямой метод предусматривает определение ΣT_d , ΣT_n по средним месячным дневным и ночным температурам за период активной вегетации. Для этой цели строятся графики годового хода T_d , T_n , с помощью которых определяются даты перехода соответствующих температур через 5, 10, 15 °С весной и осенью, а также продолжительность теплого периода для дня и ночи (N_d , N_n). Далее T_d , T_n умножают на число дней конкретного месяца. За неполные месяцы в начале и конце периода, когда наблюдаются даты перехода средних T_d , T_n , например, через 10 °С, соответствующие суммы температур подсчитываются по формулам вида:

$$\Sigma \dot{O}_{\ddot{a}} = \frac{\dot{O}_{10} + \dot{O}_n}{2} \cdot N_{\ddot{a}}; \quad \Sigma T_n = \frac{T_{10} + T_n}{2} \cdot N_n \quad (5.13)$$

где T_{10} – соответствующие температуры на дату перехода T_d , T_n через определенный предел (10°) весной;

T_n – температуры T_d , T_n на последний день или ночь месяца весной. Осенью наоборот расчет производится от первого дня (T_n) месяца до даты перехода T_d , T_n через 10 °С.

Дневные и ночные суммы температур, рассчитанные за каждый месяц теплого периода, суммируются и получается общая сумма активных температур за период с T_d , T_n выше 10 °С. Расчет средних многолетних ΣT_d , ΣT_n производится по формулам вида:

$$\Sigma T_d = \Sigma (T_d \cdot N_{IV} + T_d \cdot N_V + \dots + T_d \cdot N_X) \quad (5.14)$$

$$\Sigma T_n = \Sigma (T_n \cdot N_{IV} + T_n \cdot N_V + \dots + T_n \cdot N_X) \quad (5.15)$$

где N с индексом $IV, V, \dots, X$ – число дней в апреле, мае и до сентября или октября с T_d , T_n выше 10 °С. При необходимости подсчет ΣT_d , ΣT_n можно выполнить нарастающим итогом на дату созревания той или иной культуры по методу Ф.Ф. Давитая [30].

Косвенный метод определения сумм дневных и ночных температур воздуха выше 10 °С основывается на установленной тесной зависимости между ΣT_d и традиционным показателем тепловых ресурсов - ΣT_c , ΣT_n и ΣT_c . На рис.5.5 представлен комплексный график связи между ΣT_d и ΣT_c (а), ΣT_n и ΣT_c (б), характеризующие условия открытого ровного места на территории СНГ. Наглядно видно, что, при одинаковых суммах средних суточных температур воздуха наблюдаются различные значения ΣT_d , ΣT_n . Установлена также тесная взаимосвязь между показателями продолжительности теплого периода с T_d , T_n , T_c выше 10 °С : N_d и N_c , N_n и N_c .

Рассчитаны уравнение прямолинейной регрессии и статистические параметры к ним. Из табл. 5.6 видно, что коэффициенты корреляции (r)

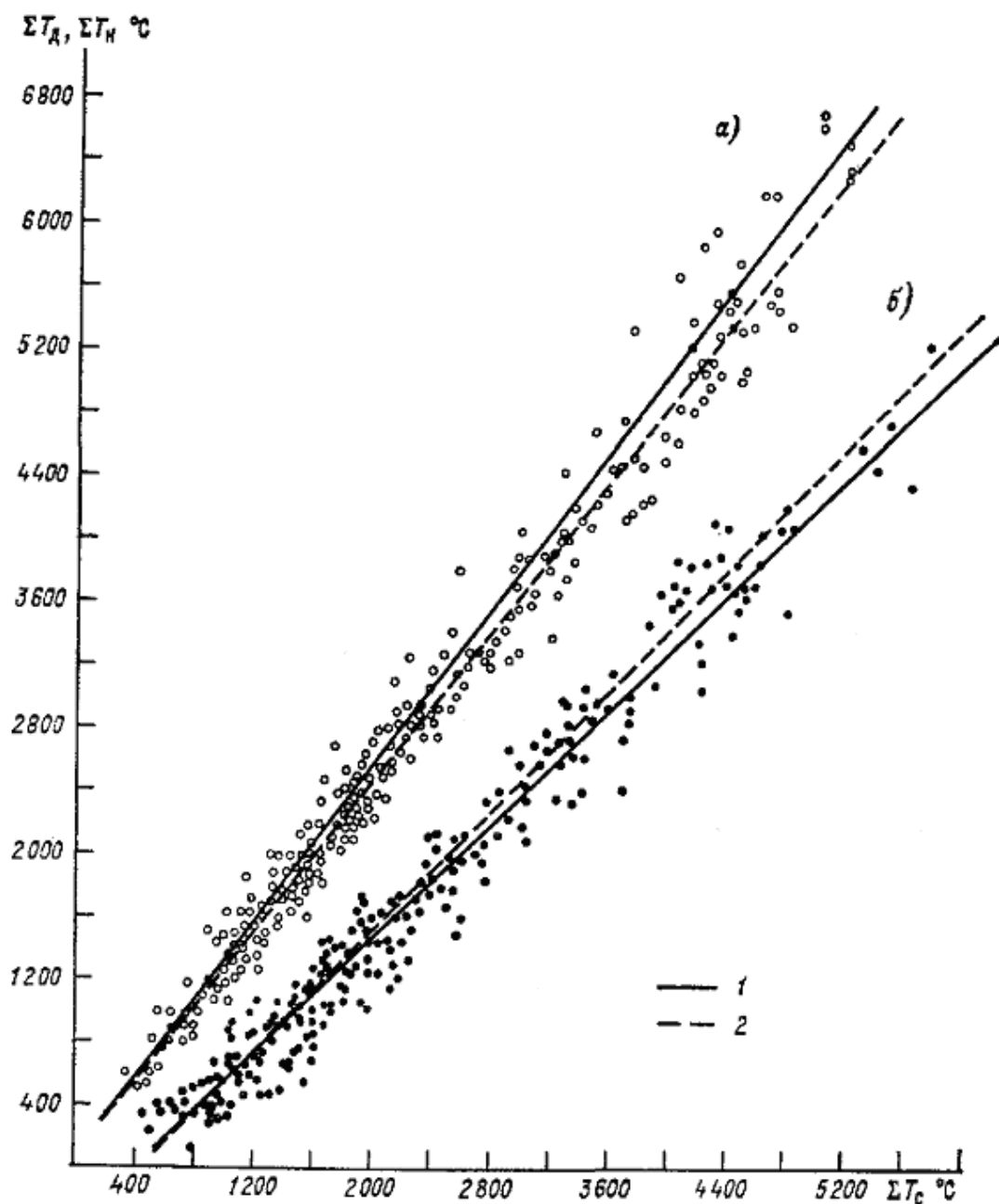


Рис.5.5 – Зависимость между суммами средней суточной температуры воздуха (ΣT_c) и средней дневной температурой воздуха (ΣT_d) – а), между суммами суточной температуры воздуха и средней ночной температурой воздуха (ΣT_n) – б) за период с соответствующими температурами выше $10 ^\circ C$.

1 - теоретические линии зависимости;
2 - эмпирические линии зависимости.

Таблица 5.6 - Уравнения связи между показателями тепловых ресурсов и статистические параметры к ним

r	σ_r	$Y = ax \pm b$	$\bar{S}_y$
0,98 0,96	1,171 0,904	а) Связь $\sum T_d$ с $\sum T_c$; $\sum T_n$ с $\sum T_c$ $\sum T_d = 1,171 \cdot \sum T_c + 45,46$ $\sum T_n = 0,904 \cdot \sum T_c - 381,33$	± 206 ± 287
0,99 0,99	1,10 1,10	б) Связь N_d с N_c , N_n с N_c $N_d = 1,10 \cdot N_c + 0,4$ $N_n = 1,10 \cdot N_c - 38,5$	$\pm 6,8$ $\pm 6,3$

между показателями тепловых ресурсов остаются весьма высокими. Следовательно с помощью найденных уравнений связи можно достаточно надежно определять искомые показатели биоклимата дня и ночи.

В суммах дневных и ночных температур воздуха учитывается географическая изменчивость длины дня и ночи, что повышает чувствительность этих показателей при оценке тепловых ресурсов в направлении с севера на юг, т.е. по широте. Благодаря тому, что в исходных термических показателях T_d и T_n учитывается ритмика температур в суточном ходе, сумма этих температур четко реагируют на степень континентальности климата, а также на микроклимат. Поэтому при одной и той же $\sum T_c$ могут наблюдаться различные сочетания $\sum T_d$ и $\sum T_n$. В табл. 5.7 представлены пары метеорологических станций, находящихся примерно на одной широте, но на разной долготе, т.е. в районах с различной степенью континентальности климата, или в разных местоположениях горного рельефа. В более континентальных районах $\sum T_d$ на 300-700 °С больше, а $\sum T_c$ на 400-1000 °С меньше чем в западных и особенно в морских районах СНГ. Например, на ст. Чардара, характеризующей условия полупустыни в Средней Азии и на ст. Ленкорань, характеризующей морской климат на побережье Каспийского моря $\sum T_c$ одинаковы. Но в Чардаре $\sum T_d$ оказываются на 780°С больше, а $\sum T_n$ на 1120 °С меньше, чем в Ленкорани. В горных районах при мало различающихся $\sum T_c$ в горных долинах и котловинах $\sum T_d$ оказываются на 200-600 °С больше, а $\sum T_n$ на 300-500 °С меньше чем на вершинах хребтов или верхних частях крутых склонов. Например, на Кавказе в условиях горной долины на ст. Шови $\sum T_d$ увеличивается на 650 °С, а $\sum T_n$ уменьшается на 300 °С по сравнению с данными ст. Гагринский хребет, находящейся почти на вершине хребта. Во всех случаях наиболее значительно изменяется разность ($\sum T_d - \sum T_n$) от 1000 °С до 3100 °С.

Для выявления географических закономерностей распределения показателей тепловых ресурсов дня и ночи за теплый период с T_{∂} , T_n выше

Таблица 5.7 - Суммы средних суточных, дневных и ночных температур воздуха (ΣT_c , ΣT_{∂} , ΣT_n) за период с соответствующими температурами выше 10°C .

Станция	$H_{(м)}$	ΣT_c	ΣT_{∂}	ΣT_n	$(\Sigma T_{\partial} - \Sigma T_n)$
а) Степень континентальности климата					
Кокпекти	511	2540	3330	1310	1850
Львов	298	2550	2980	2050	870
Бекпак-Дала	328	3370	4060	2510	1550
Одесса	43	3270	3500	2910	590
Чардара	240	4300	5760	2620	3140
Ленкорань	37	4310	4980	3740	1240
б) Влияние формы рельефа					
Гарфинский хребет	1630	1750	2007	1423	584
Шови	1600	1811	2680	1120	1560
Кедабек	1452	2325	2784	1747	1040
Абастумани	1263	2204	2971	1206	1765
Пятигорск	498	3092	3522	2555	967
Красная Поляна	564	3158	3812	2003	1809

10°C З.А. Мищенко [7, 63] построила ряд агроклиматических карт: ΣT_{∂} , ΣT_n выше 10°C , $(\Sigma T_{\partial} - \Sigma T_n)$, $(\Sigma T_{\partial} - \Sigma T_c)$, $(\Sigma T_n - \Sigma T_c)$ применительно к территории СНГ. Как видно из рис. 5.6, наименьшие значения ΣT_{∂} характерны для северных и северо-восточных районов и составляют $400-800^{\circ}\text{C}$. Наибольшие значения сумм дневных температур воздуха наблюдаются в южных районах Средней Азии и достигают $6000-6400^{\circ}\text{C}$. Значения ΣT_n возрастают в направлении с севера и северо-востока на юг территории СНГ от 400° до 4400°C (рис. 5.7).

На рассматриваемой территории географическая изменчивость ΣT_{∂} , ΣT_n весьма значительна, т.е. эти показатели изменяются более чем в 10 раз. Диапазон географических различий в распределении ΣT_{∂} составляет 6000°C , а в распределении ΣT_n – 4000°C . Сравнительная оценка распределения ΣT_{∂} , ΣT_n выше 10°C на территории СНГ с аналогичным распределением ΣT_c позволяет сделать следующее заключение. В северных районах прибавка тепла за счет дневного нагрева на уровне будки составляет не более $100-200^{\circ}\text{C}$, в то время как ночью уменьшение сумм тепла достигает $300-500^{\circ}\text{C}$. В средней полосе России дополнительное

тепло, которое могут использовать растения днем, возрастает до 300-700 °С при соответствующем снижении сумм тепло ночью до 600-900 °С. В

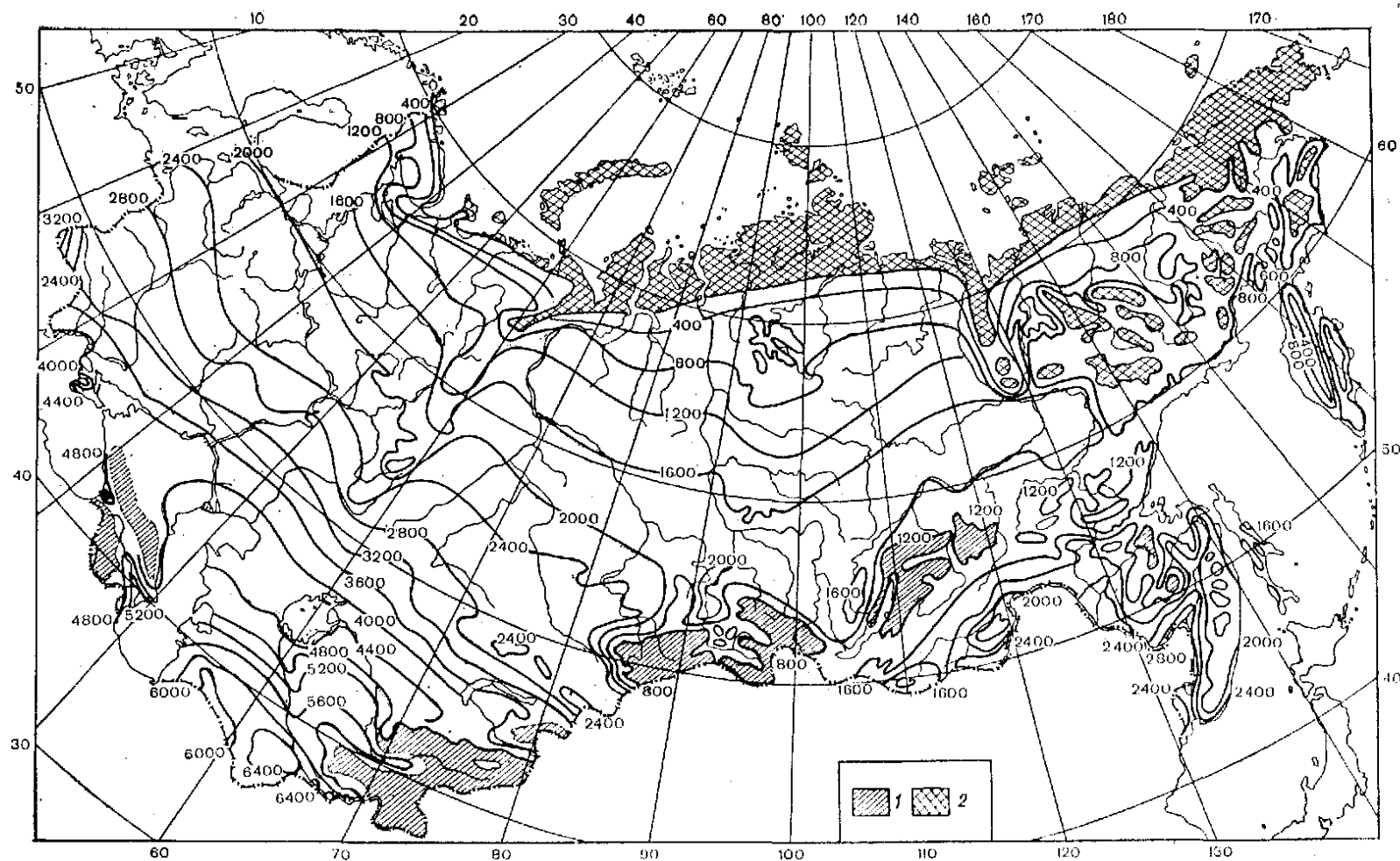


Рис.5.6 – Суммы дневных температур воздуха за период с T_d выше 10°C на территории СНГ и стран Балтии.

1 – горы выше 1500 м; 2 - районы, где отсутствуют ΣT_d выше 10°C .

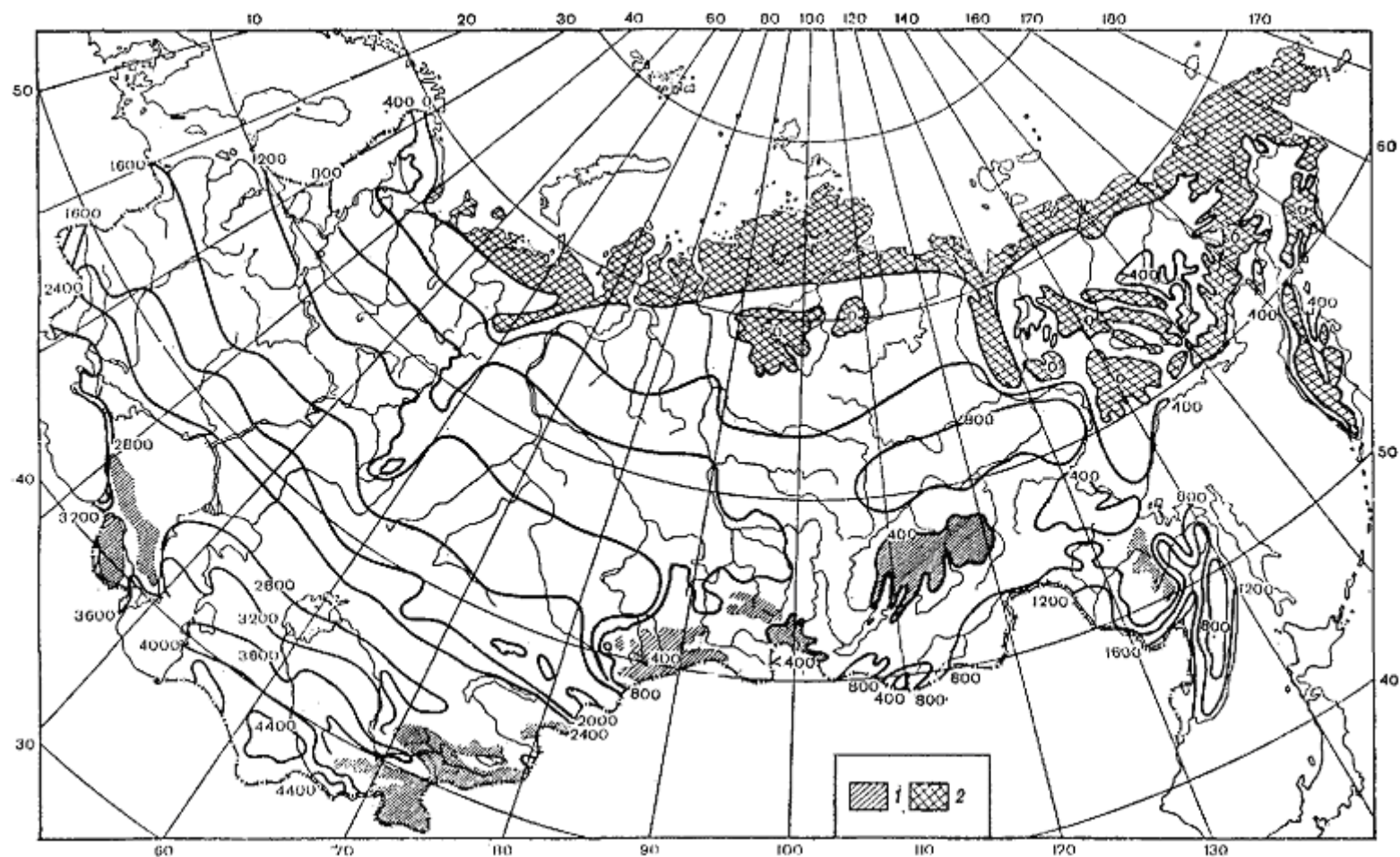


Рис.5.7 – Суммы ночных температур воздуха за период с T_n выше 10°C на территории СНГ и стран Балтии.
 1 – горы выше 1500 м; 2 – районы, где отсутствуют ΣT_n выше 10°C .

южных районах Средней Азии прибавка тепла днем достигает 900-1100 °С при снижении тепловых ресурсов на 1100-1500 °С.

Новые возможности для биоклиматической оценки тепловых ресурсов со всей полнотой раскрываются при рассмотрении различий в суммах тепла днем и ночью, т.е. разности ($\Sigma T_{\text{д}}$ - $\Sigma T_{\text{н}}$) за период с $T_{\text{д}}$, $T_{\text{н}}$ выше 10 °С. В северных и северо-западных районах территории СНГ при суточных амплитудах температуры воздуха не более 6-8 °С, разность в суммах тепла днем и ночью не превышает 500-700 °С. В южных районах Средней Азии при A_m более 14-16 °С различия в суммах тепла за день и ночь возрастают до 2000-3000 °С. Очень четко просматривается контраст в распределении тепловых ресурсов дня и ночи между западными районами ЕЧ СНГ, Западной Сибирью, где ($\Sigma T_{\text{д}}$ - $\Sigma T_{\text{н}}$) составляет 600-800 °С, и центральными районами Восточной Сибири, где ($\Sigma T_{\text{д}}$ - $\Sigma T_{\text{н}}$) возрастает до 1200 °С.

Материалы по климатическим суммам дневных и ночных температур воздуха могут быть использованы для решения различных прикладных задач в области агроклиматологии и агрометеорологии, в том числе для обоснования ускорения темпов развития сельскохозяйственных культур в континентальных районах, а также для детализации агроклиматического районирования с целью оптимизации размещения однолетних и многолетних культур на территории СНГ. Поскольку показатели тепловых ресурсов дня и ночи чувствительны к микроклимату, их использование перспективно для региональной оценки агроклиматических ресурсов на ограниченных территориях (административная область, район, отдельное хозяйство).

5.4. Оценка теплообеспеченности культурных растений по суммам дневных и ночных температур воздуха

Для оценки теплообеспеченности однолетних и многолетних культурных растений необходимо располагать данными о вероятностных характеристиках климатических сумм дневных и ночных температур, рассчитанных за теплый период по датам перехода $T_{\text{д}}$ и $T_{\text{н}}$ через 5 °С, 10 °С и 15 °С весной и осенью применительно к конкретной территории. Поскольку $\Sigma T_{\text{д}}$ и $\Sigma T_{\text{н}}$ подчиняются нормальному закону распределения, суммарную вероятность возможных $\Sigma T_{\text{д}}$ и $\Sigma T_{\text{н}}$ можно определить по их средним квадратическим отклонениям ($\sigma_{\text{д}}$, $\sigma_{\text{н}}$) и коэффициентам кривой Гаусса с применением формулы 2.5 (см. главу 2).

Установлено, например, что средние квадратические отклонения сумм дневных и ночных температур воздуха выше 10 °С относительно климатических норм весьма значительны на территории СНГ. Как видно из табл.5.8, пределы возможного варьирования $\Sigma T_{\text{д}}$ больше чем $\Sigma T_{\text{н}}$ и

составляют при σ_d с обеспеченностью 68 % 50-335 °С, а при $2\sigma_d$ с обеспеченностью 95 % 490-670 °С. Пределы возможного варьирования ΣT_n составляют при σ_n с обеспеченностью 68 % 200-300 °С, а при $2\sigma_n$ с обеспеченностью 95 % 410-610 °С. Наибольшие величины стандартных отклонений сумм дневных и сумм ночных температур воздуха наблюдаются в северо-западных районах Нечерноземной зоны России, а наименьшие – в южных районах ЕЧ СНГ, а также в Средней Азии и Восточной Сибири.

Таблица 5.8 - Средние квадратические отклонения сумм дневных (σ_d) и сумм ночных (σ_n) температур воздуха (°С) от климатической нормы

Станция	σ_d	$2\sigma_d$	σ_n	$2\sigma_n$
1. Усть-Цильма	335	670	304	608
2. Вологда, мол.	284	568	225	450
3. Салехард	244	488	221	442
4. Стерлитамак	298	596	205	410
5. Свердловск	327	654	253	506
6. Тобольск	299	598	251	502
7. Тбилиси	294	588	225	450

Для расчета суммарной вероятности возможных ΣT_d и ΣT_n в абсолютных значениях применяется формула 2.4 Г.А. Алексеева. (см. главу 2). Далее для каждой станции строятся две кривые суммарной вероятности сумм дневных и сумм ночных температур воздуха выше 10°С в виде отклонений от средних многолетних значений $\Sigma \vec{O}_d, \Sigma \vec{O}_n$ или в абсолютных величинах. С этих графиков снимаются данные различной обеспеченности $\Sigma T'_d, \Sigma \vec{O}'_d$ с шагом в 5 %, 10, 20%, ..., до 90%, 95% и заносятся в сводную таблицу. Из табл. 5.9 видно, что возможные отклонения от нормы на краях кривых, ограниченных 5% и 95% обеспеченности составляют для ΣT_d в различных районах территории СНГ 400-600 °С и – 400-625 °С, а для ΣT_n – соответственно 325-530 °С и – 200-550 °С. Возможные отклонения ΣT_c выше 10 °С от средних многолетних значений повсеместно оказались существенно меньше и не превышают $\pm 300-400$ °С.

Если расчеты вероятностных характеристик $\Sigma T_d, \Sigma T_n$ выполнены по ряду станций, освещающих ту или иную территорию, то они могут быть использованы для построения соответствующих номограмм обеспеченности. На рис. 5.8 представлены номограммы обеспеченности для расчета вероятностных характеристик климатических $\Sigma T_d, \Sigma T_n$ выше

10 °C на территории Молдовы. В поле графика имеется ряд линий с вероятностью этих показателей от 5 % до 95 %. Зная средние многолетние

Таблица 5.9 - Отклонение возможных $\sum T_{\delta}'$, $\sum T_n$ выше 10 °С от климатической нормы по градациям обеспеченности

Станция	Параметр	Обеспеченность (%)						
		5	10	30	50	70	90	95
1. Усть-Цильма	$\sum T_{\delta}$	500	440	195	0	-175	-480	-615
	$\sum T_n$	375	340	185	0	-215	-475	-545
2. Вологда, мол.	$\sum T_{\delta}$	515	345	125	0	-115	-340	-525
	$\sum T_n$	430	290	90	0	-95	-275	-435
3. Зеленогорск	$\sum T_{\delta}$	500	350	145	0	-125	-295	-380
	$\sum T_n$	375	270	110	0	-110	-215	-3454
4. Свердловск	$\sum T_{\delta}$	610	455	160	0	-135	-315	-370
	$\sum T_n$	530	425	115	0	-120	-290	-350
5. Стерлитамак	$\sum T_{\delta}$	555	385	135	0	-120	-380	-560
	$\sum T_n$	340	265	100	0	-90	-315	-390
6. Салехард	$\sum T_{\delta}$	360	250	85	0	-125	-505	-590
	$\sum T_n$	295	225	75	0	-115	-305	-380
7. Омск	$\sum T_{\delta}$	560	465	185	0	-210	-495	-625
	$\sum T_n$	435	345	125	0	-140	-295	-365
8. Тобольск	$\sum T_{\delta}$	430	350	145	0	-165	-455	-585
	$\sum T_n$	410	340	130	0	-130	-335	-445
9. Красноярск	$\sum T_{\delta}$	365	275	115	0	-85	-225	-305
	$\sum T_n$	325	235	100	0	-75	-150	-200
10.Тбилиси	$\sum T_{\delta}$	540	435	190	0	-140	-350	-495
	$\sum T_n$	340	265	105	0	-105	-275	-435

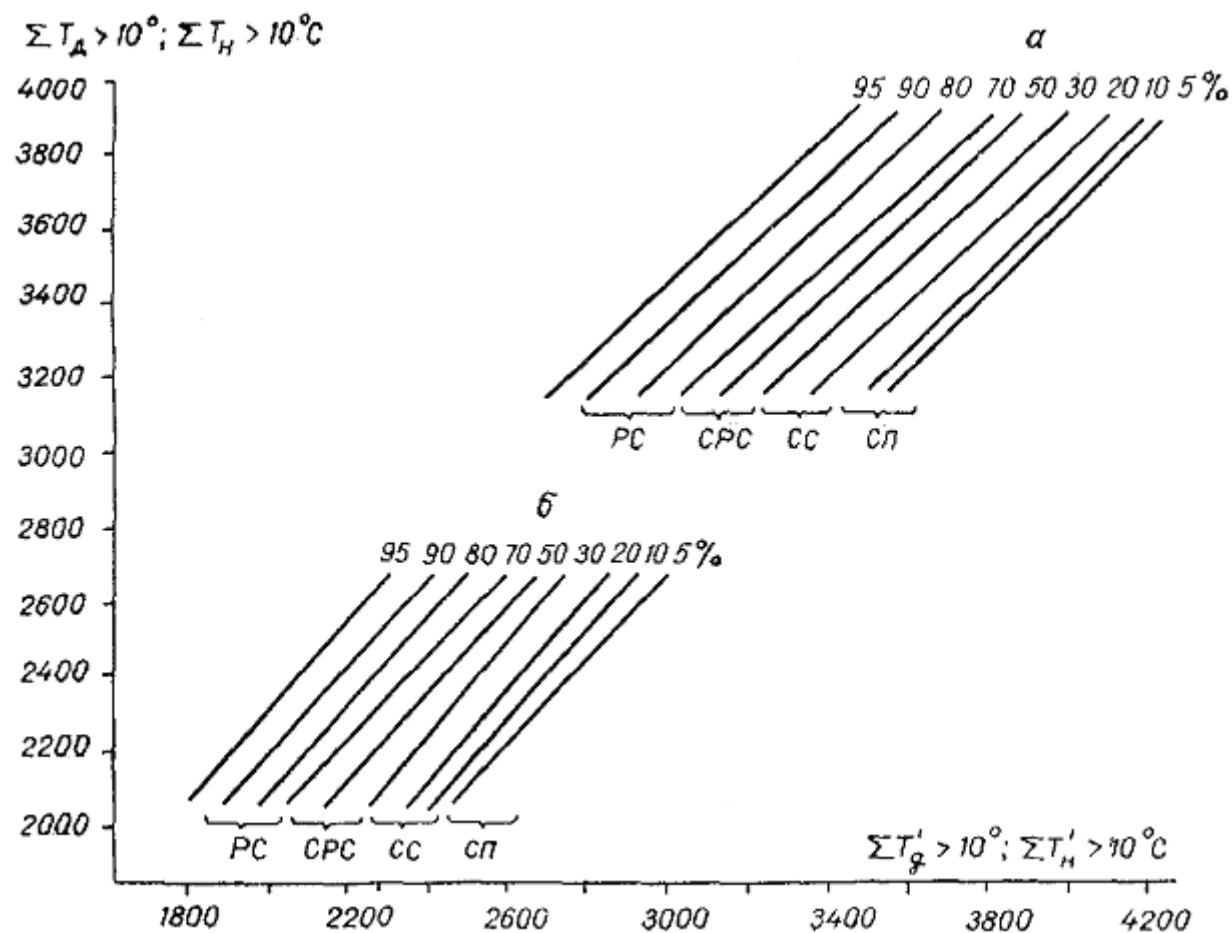


Рис.5.8 – Номограмма обеспеченности для расчета вероятностных характеристик тепловых ресурсов дня а) по ΣT_d и ночи б) по ΣT_n в период активной вегетации на территории Молдовы. Биологические суммы температур (ΣT_d , ΣT_n выше 10°C) для сортов винограда по срокам созревания. РС- раннеспелые; CPC – среднераннеспелые; CC – среднеспелые; СП - среднепоздние

Таблица 5.10 - Потребность сельскохозяйственных культур в биологических и биоклиматических суммах дневных и ночных температур воздуха ($^{\circ}\text{C}$)

Культура, сорт	$\Sigma T_{\text{д}}$		$\Sigma T_{\text{н}}$	
	Биологи- ческие	Биоклима- ческие	Биологи- ческие	Биоклима- ческие
1	2	3	4	5
Яровая пшеница				
- Наиболее скороспелые	1620	1685	770	820
- Скороспелые	1750	1785	870	920
- Среднеспелые	1870	1915	940	985
- Среднепоздние	1960	2030	1030	1075
- Позднеспелые	2100	2165	1120	1170
Овес				
- Скороспелые	1620	1685	770	820
- Среднеспелые	1750	1810	870	905
- Позднеспелые	1870	1915	940	985
Ячмень				
- Скороспелые	1490	1555	680	725
- Среднеспелые	1620	1685	770	820
- Позднеспелые	1750	1810	870	905
Просо				
- Наиболее скороспелые	1620	1960	770	1030
- Скороспелые	1750	2100	870	1120
- Среднеспелые	1870	2230	940	1220
- Среднепозднеспелые	1860	2350	1030	1300
- Позднеспелые	2100	2470	1120	1400
Озимая рожь				
- Раннеспелые	1685	1750	820	870
Озимая пшеница				
- Раннеспелые	1810	1870	905	940
Лён масличный				
- Скороспелые	1750	1960	870	1030
- Среднеспелые	1870	2100	940	1120
Подсолнечник				
- Наиболее скороспелые	1960	2230	1030	1220
- Скороспелые	2290	2535	1260	1450
- Среднеспелые	2470	2720	1400	1600
- Позднеспелые	2660	2915	1550	1715

Продолжение табл. 5.11

1	2	3	4	5
Кукуруза				
- Наиболее скороспелые	2600	2915	1500	1715
- Скороспелые	2720	3035	1600	1805
- Среднеранние	2970	3270	1760	1995
- Средние	3100	3410	1850	2065
- Среднепоздние	3340	3640	2030	2250
- Поздние	3580	3900	2200	2430
Рис				
- Скороспелые	2470	3200	1400	1960
- Позднеспелые	3960	4700	2480	3000
Гречиха				
- Скороспелые	1490	1750	680	870
- Позднеспелые	1750	1960	870	1030
Лён на волокно				
- Скороспелые	1185	1435	465	630
- Позднеспелые	1620	1870	770	940
Сахарная свёкла				
- Скороспелые	2470	2600	1400	1500
- Позднеспелые	2860	3050	1670	1760
Горох				
- Скороспелые	1310	1435	540	630
- Позднеспелые	1915	2030	980	1080
Фасоль				
- Скороспелые	1870	2530	940	1450
- Позднеспелые	2350	3030	1300	1800
Хлопчатник				
- Скороспелые	3580	4500	2200	2880
- Позднеспелые	4940	5800	3200	3860
Картофель				
- Скороспелые	1490	1750	680	870
- Позднеспелые	2230	2470	1220	1400

значения $\sum \bar{T}_d$ и $\sum \bar{T}_n$, можно определить обеспеченность тепловых ресурсов дня и ночи в любом пункте.

Если известны биологические суммы дневных и ночных температур той или иной культуры, то с помощью номограмм можно определить их теплообеспеченность в конкретной местности. Например, на рис.5.8, скобками указана пределы биологических сумм дневных и ночных температур воздуха для четырех групп сортов винограда разной скороспелости, возделываемых в Молдове. В нормальных

местоположениях (за исключением нижних частей склонов, их подножий и дна долин) теплообеспеченность сортов очень раннего срока созревания высокая и составляет 80-100 %, т.е. урожай ягод винограда обеспечен здесь 8-10 раз в 10 лет. Для сортов среднеспелых теплообеспеченность в северных районах не превышает 20-50 %, в центральных - она возрастает до 60-80 % и только на юге достигает 90-100 %. Сорта средне-поздние не обеспечены теплом не только на севере страны, но и в центральных районах, где теплообеспеченность по $\Sigma T_{\text{д}}$, $\Sigma T_{\text{н}}$ не превышает 30-50 %. В юго-восточных районах эти сорта обеспечены теплом на 60-70 % и только в южном районе они обеспечены теплом на 80-90 %, т.е. можно получить урожай ягод винограда 8-9 раз в 10 лет.

Для агроклиматической оценки теплообеспеченности культурных растений необходимо располагать данными не только климатических сумм дневных и ночных температур воздуха, но и биологическими ($\Sigma T_{\text{дб}}$, $\Sigma T_{\text{нб}}$), а также биоклиматическими суммами температур. З.А. Мищенко определены $\Sigma T_{\text{дб}}$ и $\Sigma T_{\text{нб}}$ для зерновых, технических и овощных культур. Эти данные содержатся в табл.5.10 и табл.5.11. Признавая несовершенство сумм средних суточных температур воздуха, Д.И. Шашко

Таблица 5.11 - Потребность овощных культур в биологических и биоклиматических суммах дневных и ночных температур воздуха ($^{\circ}\text{C}$)

Культура, сорт	$\Sigma T_{\text{д}}$		$\Sigma T_{\text{н}}$	
	Биологи- ческие	Биоклима- ческие	Биологи- ческие	Биоклима- ческие
1	2	3	4	5
Капуста				
- Раннеспелые	1685	1810	820	905
- Среднеранние	1870	1960	940	1030
Томаты				
- Раннеспелые	1000	1435	340	630
- Среднеранние	1490	1915	680	985
Огурцы				
- Раннеспелые	1120	1555	430	725
- Среднеранние	1620	2030	770	1075
Морковь				
- Раннеспелые	1685	1750	820	870
- Среднеранние	1810	1870	905	940
Свекла				
- Раннеспелые	1750	1870	870	940
Лук из севка				
- Раннеспелые	1750	1870	870	940

[116] в формулу расчета биоклиматических сумм температур вводил поправки на широту места, континентальность климата и на микроклиматические особенности местности. Поскольку в климатических ΣT_{∂} и ΣT_n эти факторы учитываются непосредственно, включая продолжительность дня и ночи, расчет соответствующих биоклиматических сумм температур выполнен по следующим формулам:

$$\Sigma T'_{\partial\partial} = \Sigma \bar{T}_{\partial\partial} + P_{\partial} + \Delta \Sigma T'_{\partial} \quad (5.16)$$

$$\Sigma T'_{\partial\partial} = \Sigma \bar{T}_{\partial\partial} + P_{\partial} + \Delta \Sigma T'_{\partial}, \quad (5.17)$$

где P_d, P_n – разности сумм дневных и сумм ночных температур в пределах лимитных T_d, T_n развития растений и за период с T_d, T_n выше 10°C ; $\Sigma T'_{\partial\partial}, \Sigma T'_{n\partial}$ – биоклиматические суммы дневных и ночных температур воздуха; $\Delta \Sigma T'_{\partial\partial}, \Delta \Sigma T'_{n\partial}$ – отклонения $\Sigma T_{\partial}, \Sigma T_n$, соответствующие обеспеченности 90 %.

Глава 6 АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ДЕЯТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, РАСТЕНИЙ И ПОЧВЫ

6.1 Сравнительная оценка методов определения температуры деятельной поверхности в суточном ходе

Указанные выше показатели тепловых ресурсов и прежде всего суммы активных температур воздуха, успешно используются при общем агроклиматическом районировании территорий континентов и крупных стран, в том числе СНГ. Однако, температура воздуха лишь приближенно характеризует действительные термические условия, создающиеся на поверхности растений и внутри их стеблестоя. Одним из наиболее важных климатических показателей, определяющих интенсивность физико-географических процессов и непосредственно влияющих на жизнь растений, является температура деятельной поверхности. Ее учет важен при исследовании процессов фотосинтеза, дыхания и транспирации растений, а также для уточнения агроклиматических расчетов, связанных с оценкой тепловых ресурсов на ограниченных территориях, темпов роста, развития и урожайности сельскохозяйственных культур.

Деятельная поверхность – это поверхность почвы, воды или растительности, которая непосредственно поглощает солнечную и атмосферную радиацию и отдает излучение в атмосферу, чем регулирует термический режим прилегающих слоев воздуха и почвы. В настоящее время накоплен значительный экспериментальный материал по температуре различных видов деятельной поверхности, в особенности по температуре самих растений. Анализ этого материала подтверждает, что суточный ход температуры деятельной поверхности и конкретных растений, как правило, не совпадает с суточным ходом температуры воздуха. Выявилась также исключительная чувствительность температуры деятельной поверхности к микроклимату, причем характер его проявления различен днем и ночью.

Установлено, что днем температура, освещенных Солнцем листьев различных растений выше температуры окружающего воздуха. Наиболее сильный перегрев растений наблюдается в ясные дни со слабым ветром. Когда листья, ориентированные перпендикулярно солнечным лучам могут быть на 5-12 °С теплее воздуха на уровне будки. Ночью различия в температуре «деятельная поверхность – воздух» или «лист – воздух» сильно сглаживаются и меняют знак. При значительном радиационном выхолаживании в ясные тихие ночи наружные листья и ветки растений могут быть на 1.5-3 °С холоднее воздуха.

Согласно экспериментальным исследованиям З.А. Мищенко [60, 61, 63], разность ($T_w - T$) существенно различается, особенно днем в

разных местоположениях сложного рельефа, а также под влиянием орошения. Как видно из рис. 6.1, в Казахском Мелкосопочнике (Цуриковка) летом в малооблачную погоду температура поверхности почвы на южном склоне на 19°C , на вершине холма на 17°C и у подножия склона на 12°C выше, чем температура воздуха на уровне будки. В условиях средне-горного рельефа Заилийского Ала-Тау (Талгар) деятельная поверхность оказалась теплее воздуха на южном склоне (картофель) на 14°C , на ровном месте (сеяная трава) на 5°C и на северном склоне на 3°C . В Московской области (Узуково) разность ($T_w - T$) на сеяной траве оказалась равной на вершине 12°C , а в увлажненной пойме только $6-7^{\circ}\text{C}$. В Молдове (Тирасполь) до полива освещенные солнцем листья винограда и томатов оказались выше на $5-6^{\circ}\text{C}$, листья перца на $4-5^{\circ}\text{C}$, а баклажан на $2-3^{\circ}\text{C}$ температуры воздуха на уровне будки.

Своеобразный суточный ход разности температур «лист – воздух», «почва – воздух» тесно связан с особенностями теплового баланса, который определяет зональные и микроклиматические различия в энергетических ресурсах разных местоположений. Лучистая энергия, поглощенная деятельной поверхностью, расходуется в основном на суммарное испарение, теплообмен с окружающим воздухом и ниже лежащими слоями почвы. Из совместного учета основных факторов следует, что в каждый момент времени растение имеет либо избыток, либо недостаток тепла. Днем при положительном радиационном балансе (R) деятельной поверхности и затратах тепла на испарение (LE) меньше его величины разность ($T_w - T$) всегда положительна. При отрицательном радиационном балансе ночью деятельная поверхность становится холоднее воздуха за счет потери тепла через излучение.

В настоящее время существует два основных метода определения температуры деятельной поверхности прямой и расчетный. Прямой метод основан на проведении экспериментальных наблюдений с помощью приборов различной конструкции. Наиболее распространенными являются ртутные термометры, различные датчики температуры в виде термометров сопротивления и термопар. Не вдаваясь в детали, следует отметить, что все контактные методы в той или иной степени несовершенны, так как датчики приборов воспринимают температуру не только пограничного слоя излучения поверхности, но и более продолжительных прилегающих слоев воздуха. Наиболее перспективным является бесконтактный метод, основанный на измерении температуры поверхности по ее излучению. Но на пути внедрения радиационных термометров имеется ряд трудностей, связанных с расчетом всех членов уравнения радиационного баланса радиометра.

Наиболее надежным в климатических расчетах T_w является метод теплового баланса, предложенный М.И. Будыко [17]. Метод основан на

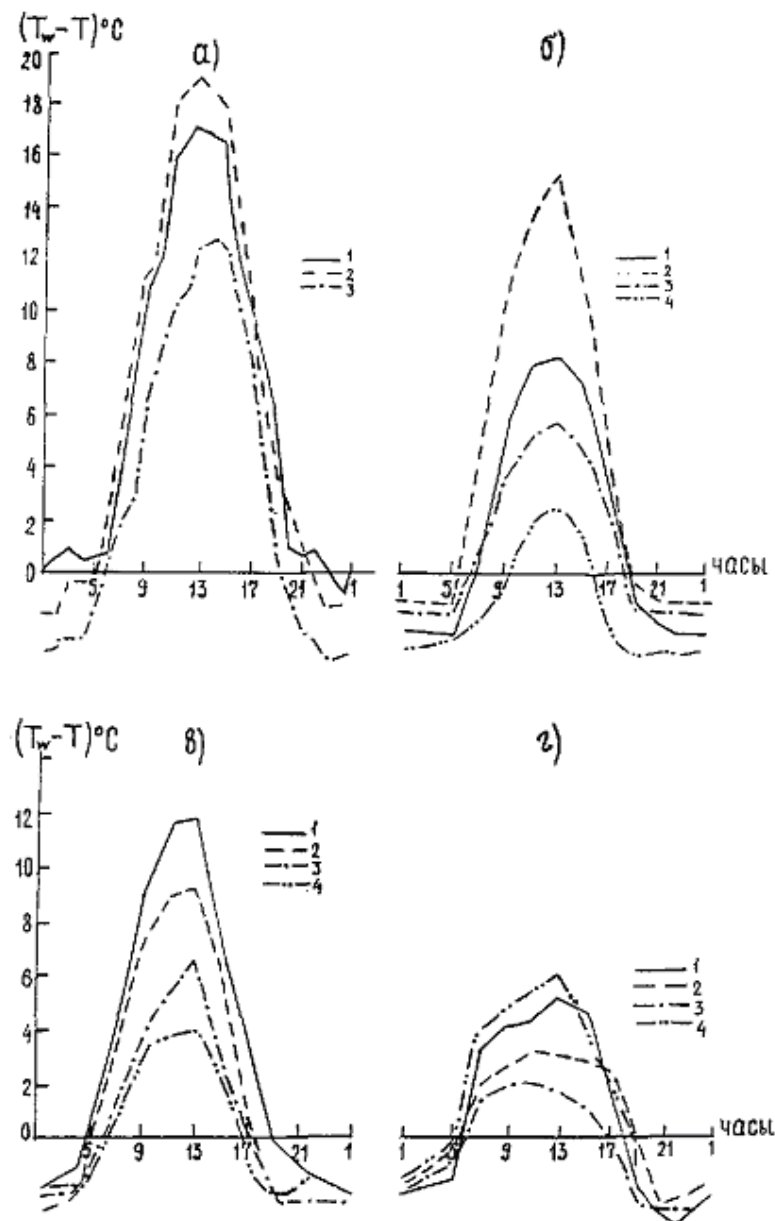


Рис.6.1– Суточный ход разности температур деятельной поверхности и воздуха ($T_w - T$).

а) Казахский Мелкосопочник: 1 – подножие склона, 2 – южный склон, 3 – вершина холма; б) Заилийский Ала-Тай: 1 – ровное место (картофель), 2 – южный склон (картофель), 3 – ровное место (сеяная трава), 4 – северный склон (сеяная трава); в) Московская область: 1 – вершина холма при слабом ветре (менее 2 м/с), 2 – вершина при ветре более 2 м/с, 3 – пойма при слабом ветре, 4 – пойма при ветре более 2 м/с; г) Молдова: 1 – виноград, 2 – томаты, 3 – перцы, 4 – баклажаны

использовании уравнения теплового баланса подстилающей поверхности, которое после преобразования членов, характеризует радиационный баланс и турбулентный теплообмен можно представить в виде:

$$R - 4S\delta T^3(T_w - T) = LE + \rho\tilde{N}\delta D(T_w - T) + B, \quad (6.1)$$

Отсюда разность между температурой сомкнутого растительного покрова и температурой воздуха $(T_w - T)$ определяется по формуле:

$$(T_w - T) = \frac{R_o - LE - B_i}{\rho\tilde{N}\delta D + 4S\delta T^3}, \quad (6.2)$$

где $(T_w - T)$ – разность между температурой естественной подстилающей поверхности и температурой воздуха на уровне будки в среднем за сутки;

R_o – радиационный баланс, вычисленный при определении эффективного излучения по температуре воздуха;

LE – затрата тепла на испарение;

B_i – теплообмен в почве;

D – коэффициент внешней диффузии;

C_δ – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении;

S – коэффициент, характеризующий свойства излучающей поверхности, принятой равным 0.95;

δ – постоянная Стефана-Больцмана.

З.А.Мищенко [60, 63] выполнила сравнительную оценку прямых и расчетного методов определения температуры деятельной поверхности в суточном ходе на основе экспериментальных фитоклиматических исследований, проведенных в Московской, Калужской, Кокчетавской и Алма-Атинской областях, а также в Молдове. Одновременно был решен ряд методических вопросов для разработки возможного перехода от дневных и ночных температур воздуха к дневным и ночным температурам сомкнутого растительного покрова и климатических расчетов $\dot{Q}_{AW}, T_{HW}$.

На основе полученных материалов были установлены эмпирические зависимости между температурой воздуха на уровне будки и температурой деятельной поверхности раздельно для дня и ночи, т.е. между T_A и T_{AW} ;

T_H и T_{IW} . Их анализ показал, что T_{AW} , может быть на 4-7 °С выше T_A , а ночью различия T_{IW} между T_H сглаживаются в различных агроценозах. Это позволило сделать важный вывод о необходимости климатологических расчетов и географических обобщений, прежде всего, по дневной температуре деятельной поверхности для уточнения T_A , T_c в воздухе на уровне будки. Кроме того, сравнительная оценка

эмпирического (радиационный термометр) и расчетного методов подтвердила возможность применения метода теплового баланса для климатологических расчетов температуры сомкнутого растительного покрова в суточном ходе.

6.2 Методы климатологических расчетов и поля радиационного нагрева деятельной поверхности днем

Изучение температуры деятельной поверхности открывает широкие возможности для более детальной агроклиматической оценки термических условий, особенно днем в географическом разрезе и под влиянием микроклимата. Для выявления основных закономерностей изменения термического режима естественной подстилающей поверхности днем на территории СНГ З.А. Мищенко применила расчетный метод, основанный на использовании уравнения теплового баланса. При этом введен ряд методических уточнений. Расчет параметров, входящих в формулу 6.2 выполнен для 13 часов. Коэффициент внешней диффузии (D) принят равным для дневных условий 1 см/с. Радиационный баланс в 13 часов (R^{13}) определен из непосредственных наблюдений. Пересчет R_o^{13} выполнен графически по установленной зависимости между R^{13} и R_o^{13} . Для определения B^{13} установлена зависимость между R^{13} и отношением B^{13}/R^{13} . Это позволило определить поток тепла в почву для 13 часов по формуле:

$$B^{13} = R^{13} \frac{B^{13}}{R^{13}} \quad (6.3)$$

Затраты тепла на испарение в 13 часов (LE^{13}) определились из соотношения $E^{13}/E_o^{13} = E/E_o$, откуда:

$$\hat{A}^{13} = \hat{A}_i^{13} \cdot \frac{\hat{A}}{\hat{A}_i}, \quad (6.4)$$

где E^{13} – суммарное испарение в 13 часов,
 E_o^{13} – возможное испарение (испаряемость) в 13 часов;
 E – суммарное испарение за сутки;
 E_o – возможное испарение за сутки.

Возможное испарение в 13 часов было определено двумя известными методами

$$E_o^{13} = \rho D (q_s - q), \quad (6.5)$$

$$E_o = \frac{R^{13} - B^{13}}{L}, \quad (6.6)$$

Опытные расчеты показали, что относительная ошибка определения E_o^{13} первого способа со вторым составляет 10-15%. Поэтому массовые расчеты испаряемости в 13 часов выполнены по формуле 6.6.

Температура деятельной поверхности в 13 часов (T_w^{13}) определена путем сложения рассчитанной разности ($T_w^{13} - T^{13}$) с температурой воздуха в 13 часов (T^{13}). Дневная температура деятельной поверхности для средних многолетних условий (T_{AW}) определена косвенным методом с использованием графиков связи $\dot{O}^{13}$ с T_A и соответствующих уравнений регрессии. Расчеты радиационного нагрева днем ($\dot{O}_{AW} - T_A$) и дневной температуры деятельной поверхности были выполнены для 75 пунктов на территории СНГ с мая по август. Как видно из табл.6.1, абсолютные значения дневной разности ($\dot{O}_{AW} - T_A$) примерно в 1,5-2,0 раза больше, чем ($T_w - T$) в среднем за сутки термического режима – ($\dot{O}_{AW} - T_A$) и $\dot{O}_{AW}$ для биоклиматических обобщений.

Таблица 6.1 – Разность средних суточных ($T_w - T_A$) и средних дневных температур деятельной поверхности ($\dot{O}_{AW} - T_A$) и воздуха, °C

Станция	$(\dot{O}_{AW} - T_A)$				$(T_w - T)$			
	V	VI	VII	VIII	V	VI	VII	VIII
Архангельск	7,6	6,3	5,4	3,7	4,6	4,3	4,0	3,0
Великие Луки	3,9	5,6	6,2	4,8	3,0	3,2	2,0	1,3
Москва	5,1	5,8	5,3	4,5	2,6	2,0	2,0	1,3
Одесса	11,0	10,0	13,4	13,4	5,0	5,3	5,6	6,3

На основе установленной зависимости между $\dot{O}_{AW}$ и T_A дополнительно определены месячные значения дневной температуры деятельной поверхности для 150 пунктов. Полученные массовые материалы были использованы для составления ряда климатических карт распределения дневной разности температур «деятельная поверхность – воздух» на территории СНГ в теплое время года с мая по август для условий открытого ровного места. В весенне-летний период активной

вегетации растений на большей части рассматриваемой территории подстилающая поверхность днем заметно теплее воздуха на уровне будки.

Различия в термическом режиме деятельной поверхности и воздуха возрастают с увеличением радиационного баланса и уменьшением затрат тепла на испарение. Поэтому наименьшие разности $(\dot{O}_{AW} - T_A)$ в северных районах избыточного и достаточного увлажнения, где основная часть тепла расходуется на испарение. Наибольшие разности $(\dot{O}_{AW} - T_A)$ характерны для сухих полупустынных и пустынных районов Средней Азии, где затраты тепла на испарение ничтожно малы и основное тепло расходуется на турбулентный теплообмен с прилежащими слоями воздуха.

Как видно из рис. 6.2, в мае большая часть субарктической зоны еще покрыта снегом, центральная полоса России – хорошо развитым травостоем, а пустынные районы Средней Азии редкой подсохшей растительностью и песком. Соответственно изменяется и разность $(\dot{O}_{AW} - T_A)$, которая в северных районах составляет $-4, -2$ °C, на большей части лесной и лесостепной зоны $5-6$ °C, а в юго-восточных районах Средней Азии $12-14$ °C. Наибольшее прогревание подстилающей поверхности наблюдается в июле, когда в северных и центральных районах СНГ, покрытых зеленой травой, разность $(\dot{O}_{AW} - T_A)$ составляет $5-6$ °C, в лесостепных и степных районах с редкой подсохшей травой соответственно $8-12$ °C, а в пустынных районах Средней Азии $14-16$ °C (рис. 6.3).

Географическая изменчивость разности $(\dot{O}_{AW} - T_A)$ определяется особенностями распределения основных составляющих теплового баланса, т.е. его структурой. При прочих равных условиях, различия в нагреве «деятельная поверхность – воздух» возрастает с увеличением прихода солнечной радиации и сухости климата. Поэтому наименьший радиационный нагрев деятельной поверхности и самих растений наблюдается в зоне избыточного увлажнения на севере, а наибольший – в сильно засушливой и сухой зоне на юго-востоке. Как видно из рис. 6.4, при возрастании R в 13 часов в три раза и уменьшении отношения LR/R от 0,7 до 0,1 радиационный нагрев естественной подстилающей поверхности увеличивается от 2 до 18 °C.

Пользуясь климатическими картами распределения T_A на территории СНГ и картами радиационного нагрева деятельной поверхности днем, можно определить T_{AW} для конкретного пункта путем несложных расчетов по формуле

$$T_{AW} = T_A + (\dot{O}_{AW} - T_A), \quad (6.7)$$

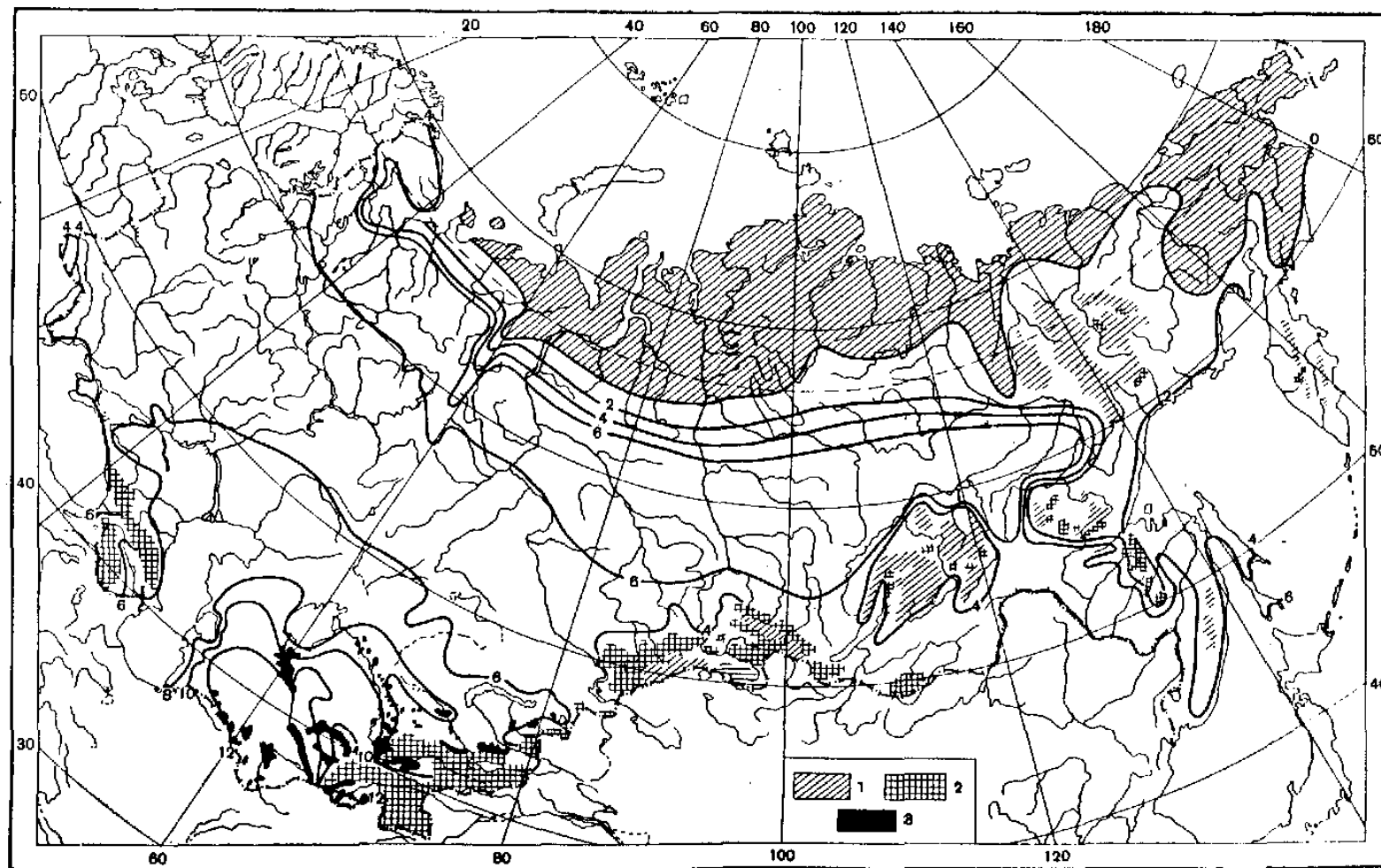


Рис.6.2 – Средняя разность между дневными температурами деятельной поверхности и воздуха ($T_{AW} - T_A$).
 Май: 1 – районы с устойчивым снежным покровом, 2 – горные районы выше 1500 м; 3 – оазисы.

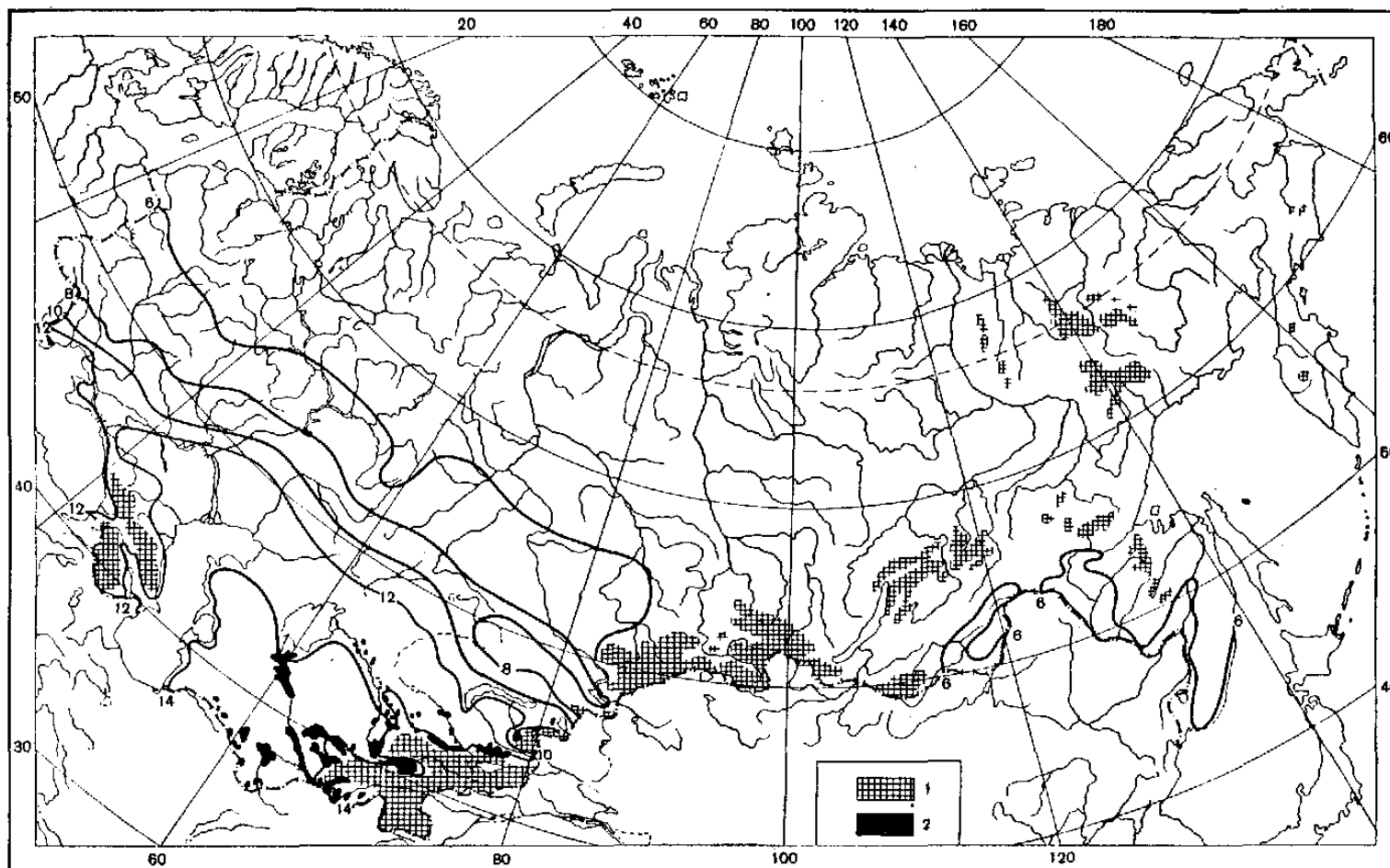


Рис. 6.3 – Средняя разность между дневными температурами деятельной поверхности и воздуха. ($T_{AW} - T_A$).
 Июль: 1 – районы с устойчивым снежным покровом; 2 – горные районы выше 1500 м ; 3 – оазисы.

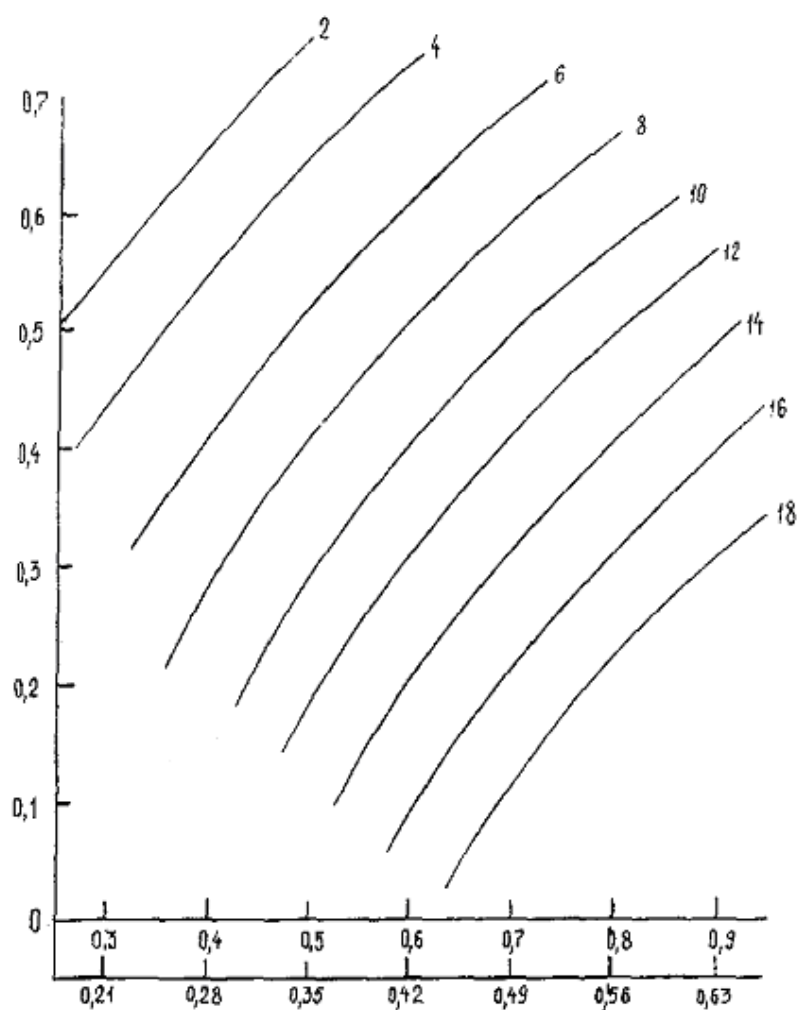


Рис.6.4 – Изменение радиационного нагрева ($^{\circ}\text{C}$) деятельной поверхности днем ($\dot{Q}_{AW} - T_{\bar{A}}$). в зависимости от радиационного баланса R и отношения LE/R на территории СНГ.

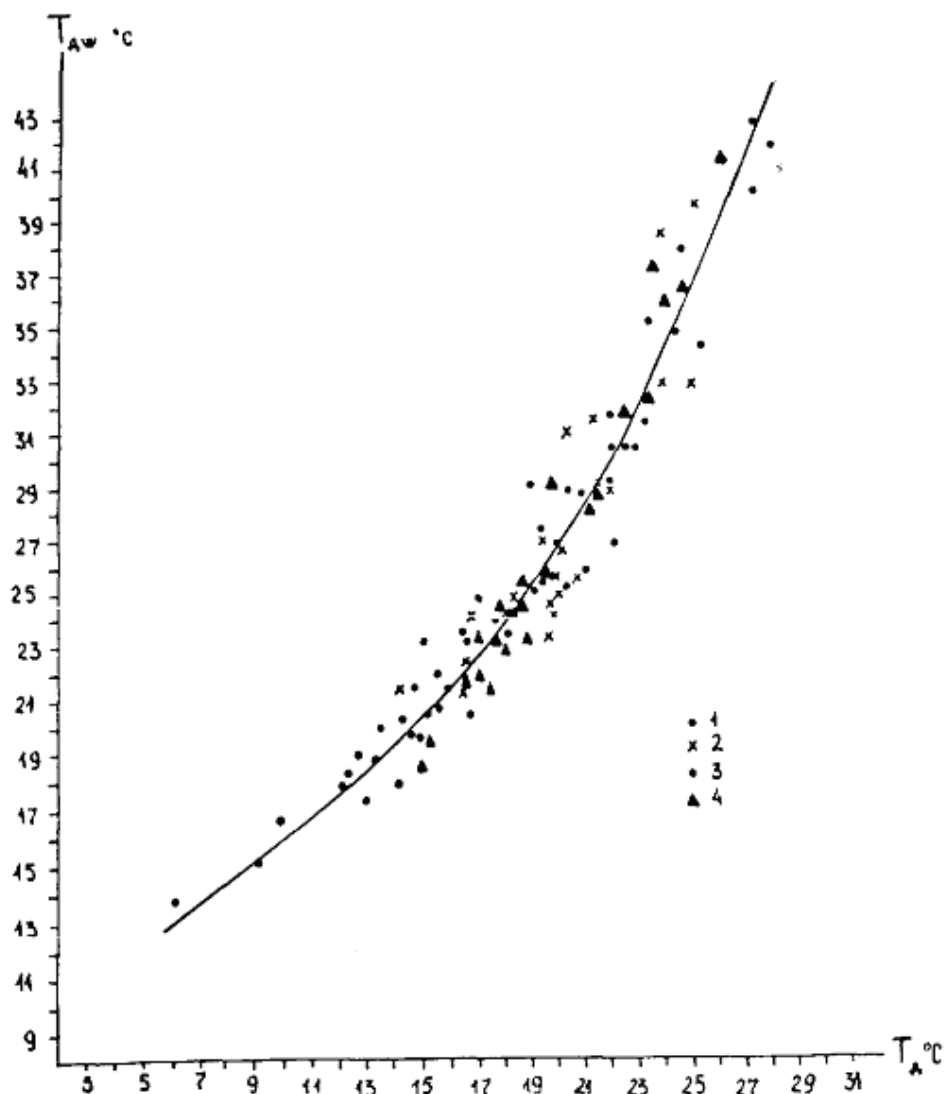


Рис.6.5 – Зависимость между T_{Aw} и T_A ($^{\circ}\text{C}$) для территории ЕЧ СНГ
1– май; 2– июнь, 3–июль, 4– август.

С помощью формулы 6.7 получены массовые данные по T_{Aw} , которые использованы для установления количественной зависимости между дневной температурой деятельной поверхности и дневной температурой воздуха на уровне будки, т.е. на высоте 2-х м от поверхности почвы или сеяной травы. Из рис.6.5 видно, что T_{Aw} в период активной вегетации растений (май–август) значительно больше средних дневных температур воздуха и изменяются в географическом разрезе не пропорционально последним. Это означает, что изменение рассматриваемых термических характеристик в направлении с северо-запада на юго-восток ЕЧ СНГ

Таблица 6.2– Средние дневные температуры воздуха ($T_{\bar{A}}$). и деятельной поверхности ($T_{\bar{AW}}$) в различных районах ЕЧ СНГ

Станция	$T_{\bar{A}}, ^\circ\text{C}$				$T_{\bar{AW}}, ^\circ\text{C}$			
	V	VI	VII	VIII	V	VI	VII	VIII
Архангельск	6,1	12,6	15,8	14,8	13,7	18,9	21,2	18,5
Вологда, город	12,	15,2	18,9	16,4	17,7	20,5	24,9	21,5
Москва	14,6	18,0	20,4	18,6	19,7	23,8	25,7	23,1
Пенза	15,6	19,5	21,9	20,1	20,6	24,4	29,8	27,4
Каменная степь	16,6	19,7	22,1	21,1	23,0	24,7	30,2	28,2
Киев, обсерватория	16,6	19,3	21,4	20,8	20,3	23,2	26,7	27,7
Оренбург	17,6	24,0	24,5	22,6	23,8	32,1	33,5	31,8
Харьков	17,5	20,4	22,7	21,9	22,8	25,2	31,6	31,2
Одесса, ун-т	17,0	20,9	23,7	22,9	28,0	30,8	37,4	36,3
Волгоград	18,7	23,3	26,2	25,0	28,5	32,3	39,0	37,2
Ростов на Дону	16,3	19,9	22,7	23,4	23,3	30,5	34,2	35,0
Сочи, оп.ст.	18,0	21,5	14,9	24,1	24,1	28,4	35,3	35,6
Гурьев	19,5	24,2	27,0	25,3	30,1	38,4	40,6	39,8

происходит не однозначно. Причиной этому является неоднородность естественной подстилающей поверхности на рассматриваемой территории.

В табл. 6.2 для сравнения приведены абсолютные значения $T_{\bar{A}W}$ и $T_{\bar{A}}$ для ряда пунктов с мая по август. Например, в июле $T_{\bar{A}W}$ и $T_{\bar{A}}$ составляют: на севере в Архангельске 21,2 °С и 15,8 °С; а южнее в Киеве они увеличиваются до 21,4 °С и 26,7 °С. В южной степи $T_{\bar{A}W}$ и $T_{\bar{A}}$ в июле (ст. Одесса) возрастают до 37,4 °С и 23,7 °С, а на юго-востоке (ст. Гурьев) они увеличиваются до 40,6 °С и 27,0 °С.

Рассмотренные данные показывают, насколько изменится существующее представление о тепловых ресурсах и теплообеспеченности культурных растений в том или ином географическом районе, если учитывать радиационный нагрев деятельной поверхности днем, а в дальнейшем и конкретных растительных сообществ.

6.3. Оценка тепловых ресурсов территории по дневной температуре деятельной поверхности

Для агроклиматической оценки тепловых ресурсов на территориях со сложным рельефом целесообразно использование суммы дневных температур деятельной поверхности за период с $T_{\bar{A}}$ выше 10 °С, т.е. $\Sigma T_{\bar{A}W}$. Введение этого показателя позволяет раскрыть реально существующую в природе пестроту тепловых ресурсов, возникающих на уровне деятельной поверхности за счет экспозиции и крутизны склонов. З.А.Мищенко [70, 63] выполнила количественную оценку тепловых ресурсов по $\Sigma T_{\bar{A}W}$ за теплый период с дневной температурой воздуха $T_{\bar{A}}$ выше 10 °С, на территории СНГ для равнинных и склоновых земель.

Для условий открытого ровного места расчеты $\Sigma T_{\bar{A}W}$ рассчитывались по формуле вида

$$\Sigma T_{\bar{A}W} = \Sigma T_D[(\dot{O}_{\bar{A}W} - T_{\bar{A}})N_1 + (T_{\bar{A}W} - T_{\bar{A}})N_2 + \dots + (T_{\bar{A}W} - T_{\bar{A}})N_7], \quad (6.8)$$

где $(\dot{O}_{\bar{A}W} - T_{\bar{A}})$ – радиационный нагрев деятельной поверхности;

$N_1, N_2, \dots, N_7$ – число дней в месяцах с апреля по октябрь.

Расчеты сумм дневных температур деятельной поверхности ($\Sigma T'_{\bar{A}W}$) для северных и южных склонов крутизной 5, 10, 15, 20° выполнялись по формуле

$$\Sigma T'_{\bar{A}W} = \Sigma \dot{O}_{\bar{A}W} [(T'_{\bar{A}W} - T_{\bar{A}W})N_1 + (T'_{\bar{A}W} - T_{\bar{A}W})N_2 + \dots + (T'_{\bar{A}W} - T_{\bar{A}W})N_7] \quad (6.9)$$

где $\Sigma T_{\bar{A}W}$ на открытом ровном месте;

$(T'_{AW} - T_{AW})$ – разность между T'_{AW} на искомом склоне и T_{AW} на ровном месте;

$N_1, N_2, \dots, N_7$ число дней в месяцах с апреля по октябрь.

При расчете разности $(T'_{AW} - T_A)$ и T'_{AW} на склоновых землях в формулу 6.9 вводились переходные коэффициенты для определения радиационного баланса на искомом склоне в конкретный месяц вегетационного периода. При определении $\Sigma T'_{AW}$ на территориях Вологодской, Оренбургской и Иркутской областей России учтено также изменение суммарного испарения в верхней, средней и нижней частях склонов разной экспозиции.

В табл. 6.3 представлены неполные результаты расчетов. Абсолютные значения сумм дневных температур деятельной поверхности увеличиваются во всех местоположениях примерно в 5 раз в направлении с севера на юг и юго-восток территории СНГ. Кроме того, этот показатель тепловых ресурсов отличается чувствительностью к микроклимату холмистого и горного рельефов. Различия в суммах тепла на склонах и ровном месте значительны и также изменяются в географическом разрезе.

Например, в северных районах превышение сумм тепла на южных склонах крутизной 10° и 20° составляет $100-150^\circ\text{C}$ и $150-250^\circ\text{C}$, а недобор тепла на северных склонах той же крутизны не превышает $100-200^\circ\text{C}$ и $200-250^\circ\text{C}$.

Таблица 6.3 – Суммы дневных температур деятельной поверхности за период с T_A выше 10°C на ровном месте и на склонах разной крутизны ($10^\circ, 20^\circ$) в различных районах СНГ

Станция	Северный склон, γ		Ровное место	Южный склон, α	
	20	10		10	20
Архангельск	1590	1740	1870	1970	2060
Верхоянск	1860	2020	2130	2240	2350
Москва	2810	3020	3220	3370	3530
Новосибирск	2980	3180	3390	3570	3740
Владивосток	3280	3680	3990	4270	4550
Одесса	5040	5440	5750	6050	6250
Алма-Ата	5930	6320	6650	6950	7230
Тбилиси	7130	7590	8100	8410	8710
Ташкент	8250	8650	8970	9280	9650
Ашхабад	9050	9430	10000	10320	10700

В средней полосе России дополнительное тепло по $\Sigma T'_{AW}$, получаемое южными склонами крутизной 10° и 20° , составляет $150-200^\circ\text{C}$ и $250-400^\circ\text{C}$. При недоборе тепла на северных склонах в пределах $200-300^\circ\text{C}$ и $350-500^\circ\text{C}$. Еще больше возрастают различия в тепловых ресурсах склонов по сравнению с равнинными землями в южных и юго-восточных районах территории СНГ. Здесь превышение сумм тепла на южных склонах составляет $200-350^\circ\text{C}$ и $500-700^\circ\text{C}$, а недобор тепла на северных склонах той же крутизны достигает $300-500^\circ\text{C}$ и $600-900^\circ\text{C}$.

Полученные материалы по микроклиматической изменчивости ресурсов тепла на уровне деятельной поверхности позволяют сделать вывод о том, что ΣT_{AW} является важным показателем теплообеспеченности растений. Ее использование перспективно для детализации агроклиматического районирования по тепловым ресурсам ограниченных территорий со сложным рельефом. Применительно к ряду административных областей России автор выполнила комплексное районирование тепловых ресурсов по ΣT_{AW} выше 10°C для равнинных земель и склонов различной экспозиции и крутизны. Пространственная интерполяция сумм дневных температур деятельной поверхности площадным способом осуществлялась с помощью морфометрических карт экспозиции и крутизны склонов. Одновременно были рассчитаны суммы средних суточных и средних дневных температур воздуха выше 10°C (ΣT_C , ΣT_A) и выделены по ним макроклиматические районы на территории той или иной области.

В табл.6.4 представлена количественная оценка макрорайонов, выделенных на территориях Вологодской и Оренбургской областей по ΣT_C и ΣT_A на уровне будки и мезорайонов по ΣT_{AW} на уровне деятельной поверхности с учетом экспозиции и крутизны склонов. Наглядно видно, что в Вологодской области, расположенной на северо-западе России ΣT_C и ΣT_A изменяются по территории только на 200 и 300°C . Суммы дневных температур деятельной поверхности в каждом из четырех макрорайонов варьируют в пределах $300-400^\circ\text{C}$. На территории Оренбургской области России, расположенной на юго-востоке СНГ, T_C и ΣT_A изменяются соответственно на $250-300^\circ\text{C}$ и на $700-800^\circ\text{C}$. Суммы дневных температур деятельной поверхности в каждом из пяти макрорайонов варьируют в пределах $600-700^\circ\text{C}$. А весь спектр мезо- и микроклиматических различий в тепловых ресурсах на уровне деятельной поверхности составляет в пределах Вологодской области 700°C , в Оренбургской соответственно – 2600°C .

Сравнительная оценка тепловых ресурсов по ΣT_C , ΣT_A , с ΣT_{DW} в других регионах СНГ показала, что ΣT_A на 10-30% больше

традиционного показателя тепла в виде ΣT_C , а ΣT_{DW} – на 30-70% больше ΣT_A . Суммарный

Таблица 6.4 - Оценка тепловых ресурсов в воздухе (ΣT_C , и ΣT_A) и на уровне деятельной поверхности (ΣT_{AW}) в пределах Вологодской и Оренбургской областей (^0C)

Макрорайон	Ровное место		ΣT_{AW} на северном склоне, крутизной			ΣT_{AW} на южном склоне, крутизной		
	ΣT_C	ΣT_A	0-2 ⁰	2-8 ⁰	8-20 ⁰	0-2 ⁰	2-8 ⁰	8-20 ⁰
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вологодская область								
I. Северо-западный прохладный	1500-1600	1750-1800	2500-2550	2450-2500	2400-2450	2600-2650	2650-2700	2700-2800
II. Восточный, умеренно- прохладный	1600-1650	1800-1900	2600-2650	2550-2600	2500-2550	2650-2700	2750-2800	2800-2850
III. Юго-западный, сравнительно теплый	1650-1700	1900-2000	2700-2750	2650-2700	2600-2650	2750-2800	2850-2900	2900-2950
IV. Центральный, умеренно-теплый	1700-1750	2000-2050	2750-2850	2700-2800	2650-2750	2850-3000	2950-3100	3100-3200
Оренбургская область								
I. Умеренно-прохладный	2350-2400	2400-2600	3800-4100	3700-4000	3550-3950	4150-4500	4250-4650	4350-4750
II. Сравнительно теплый	2400-2450	2600-2800	4200-4600	4100-4500	4000-4400	4600-4950	4700-5150	4800-5250
III. Умеренно-теплый	2450-2500	2800-3000	4750-5050	4650-4950	4550-4950	5150-5450	5250-5650	5350-5700
IV. Теплый	2500-2600	3000-3200	5100-5450	5000-5350	4900-5250	5550-5850	5650-5050	5750-6100
V. Очень теплый	2600-2650	3200-3300	5500-5800	5400-5700	5300- 5600	5950-6250	6050-6400	6150-6500

эффект от агроклиматической оценки тепловых ресурсов на уровне деятельной поверхности выражается прибавкой тепла в северных районах СНГ примерно на 40% . а в юго-восточных и резко-континентальных районах Восточной Сибири на 90-100% по сравнению с ΣT_c выше 10°C в воздухе на уровне будки.

Применение термических показателей дня и ночи с учетом радиационного нагрева деятельной поверхности позволяет решить ряд задач биоклиматологии растений, которые не могут быть удовлетворительно объяснены с помощью средней суточной температуры воздуха и ее суммы. К числу таких задач относятся особенности северного земледелия и горных районов, где многие сельскохозяйственные культуры дают хороший урожай на фоне низких суточных температур воздуха и их сумм, при которых они на равнинных землях не вызревают.

Как известно, в условиях Крайнего Севера характерной чертой растительности является ее низкорослость, что связано с тенденцией, улучшить неблагоприятный для развития растений термический режим. Для суровых и континентальных районов Восточной Сибири характерно разведение стелющихся форм плодовых культур, что можно объяснить стремлением селекционеров более эффективно использовать термические ресурсы на уровне деятельной поверхности.

Заслуживают упоминания исследования Ф.Ф. Давитая и Ю.С. Мельника по оценке влияния радиационного нагрева деятельной поверхности на размещение границы леса. Выявлено, что северная граница леса на равнине (Кольский полуостров) соответствует ΣT_c выше 10°C , равной $600-700^{\circ}\text{C}$. В горах Кавказа лес поднимается до высот с гораздо более низкими среднесуточными температурами воздуха, сумма которых за период вегетации составляет всего $200-300^{\circ}\text{C}$. На основе эксперимента с измерениями температуры листьев древесных растений было показано, что в обоих случаях граница леса соответствует одинаковой сумме температур поверхности растительного покрова. Материалы по $\Sigma T_{\text{дв}}$ позволяют также дать биоклиматическое обоснование различного поведения дикой и культурной растительности на склонах.

6.4 Оценка термического режима и тепловых ресурсов по температуре почвы

Климат почвы является важной составной частью географической среды, оказывающей непосредственное влияние на сельскохозяйственное производство, рост и урожайность культурных растений, на проведение полевых работ. Постановка вопроса о климате почвы принадлежит виднейшим почвоведом, которые отмечали, что атмосферно-

климатические условия не тождественны почвенно-климатическим условиям и, что последние зависят как от климата атмосферы, так и от самой почвы. Позднее П.И. Колосков [42] и А.М. Шульгин [120] уточнили и развили понятие о климате почвы. Под ним следует понимать многолетний режим температуры и влажности почвы, почвенного воздуха и других элементов, зависящих от комплекса природных условий и производственной деятельности человека.

На формирование почвенного климата в основном влияют следующие факторы: 1) атмосферный климат; 2) механический состав почвы; 3) растительный и снежный покров; 4) форма рельефа и экспозиция склонов; 5) высота над уровнем моря; 6) высота стояния грунтовых вод. При изучении почвенного климата принято рассматривать температурно-влажностный режим поверхностных слоев почвы (до глубины 20-25 см), где расположены важные для жизни растений их подземные органы и основная часть корневой системы (т.е. пахотный слой), а также глубоких слоев почвы от 25 см до 100-150 см, т.е. всего корнеобитаемого слоя.

К настоящему времени выполнены глубокие исследования по температурному и водному режимам почв в различных регионах России, Беларуси, Украины, Эстонии [29, 33, 40, 79, 120]. Изучены тепловые свойства почвы и энергетический механизм формирования температурного режима различных почв с охватом сезонов года. Основным источником тепла, поступающего в почву, является лучистая энергия Солнца, которая поглощается днем поверхностью почвы, превращается в тепловую энергию и передается в верхние, а затем в более глубокие слои. При излучении почвой ночью расход тепла превышает приход, поверхность почвы охлаждается и это охлаждение также передается в верхние слои и глубже. Таким образом, поверхность почвы, поглощающая и излучающая тепловую энергию, регулирует тепловой режим почвы.

Важнейшими тепловыми характеристиками почвы являются объемная теплоемкость ($\tilde{N}_I$), коэффициент теплопроводности (λ) и коэффициент температуропроводности (α). Эти величины связаны между собой уравнением

$$\alpha = \frac{\lambda}{C_I} \quad (6.10)$$

В почвах с малым коэффициентом температуропроводности суточные и годовые колебания температуры затухают на меньших глубинах, чем на почвах с более высоким коэффициентом α . Коэффициент температуропроводности зависит от влажности почвы и содержания в ней воздуха. Объемная теплоемкость ($\tilde{N}_I$) растет вместе с увеличением влажности почвы.

Согласно исследованиям Н.А. Качинского, механический состав почвы является одним из важнейших признаков при качественной оценке земли, в связи, с чем имеет большое агрономическое значение. Им создана классификация почв по механическому составу - тяжелосуглинистых, глинистых, среднесуглинистых, легкосуглинистых, супесчаных, песчаных и др. Тяжелосуглинистые почвы выделены в группу почв с наиболее тяжелым механическим составом. для них характерна высокая влагоемкость при малой водопроницаемости и недостаточное содержание воздуха. По температурно-влажностному режиму эти почвы относятся к категории холодных и переувлажненных.

Среднесуглинистые и легкосуглинистые почвы отличаются более благоприятными водно-физическими свойствами. Они богаты питательными веществами и считаются лучшими по условиям тепло- и влагообеспеченности для сельского хозяйства. Супесчаные почвы относятся к почвам легкого механического состава. При хорошей водопроницаемости отличаются небольшой влагоемкостью и содержат много воздуха. По условиям термического режима – это теплые почвы и менее увлажненные, чем средние суглинки. Песчаные почвы плохо удерживают воду, отличаются повышенной водопроницаемостью при малой влагоемкости. Поэтому эти почвы сухи и содержат много воздуха. По условиям термического режима песчаные почвы относятся к категории наиболее теплых почв. Они легки в обработке и для условий севера являются весьма ценными почвами.

Установлено, что почва отличается большим разнообразием теплофизических свойств, так как неоднородна по механическому составу и типу не только в зональном разрезе, но и на близкорасположенных участках. Е.П. Архипова [60] количественно оценила температуру основных типов почв с мая по август и составила карты географического распределения температуры суглинистой почвы на глубине 5, 10 см под черным паром с мая по август на территории СНГ. Как видно из рисунка 6.6, наиболее теплыми являются песчаные почвы, а наиболее холодными – среднесуглинистые. Разность между температурами пахотных слоев увеличиваются с севера на юг от 2 до 3 °С.

Более обобщающие исследования по тепловому режиму почв на территории бывшего СССР выполнены В.Н. Димо [33]. Ею составлены карты распределения температуры почвы на глубине 20 см. в самый теплый и самый холодный месяц, годовой амплитуды температуры почвы и разработана классификация температурного режима почвы. Для этой цели составлена схематическая карта распределения сумм активных температур почвы на глубине 20 см за теплый период с температурой выше 1 °С. На ней выделено 10 макрорайонов, в каждом из которых $\Sigma T_{\bar{t}}$ варьирует в пределах 800 °С за счет пестроты механического состава почвы (рис.6.7). Суммы температуры почвы изменяются в направлении

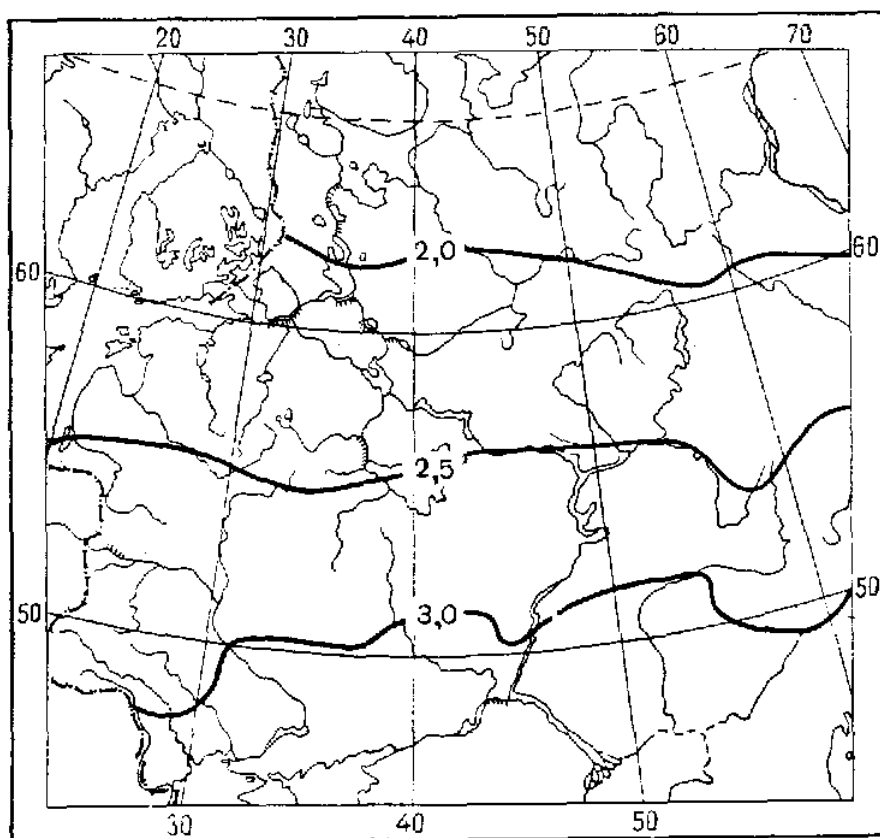


Рис.6.6 – Разность между температурами пахотных слоев
песчаной и суглинистой почв на черном пару в мае

с севера на юг и юго-запад от 400 °С до 6800 °С, причем они оказались значительно выше сумм температур воздуха на уровне будки.

В.Н. Димо ввела коэффициент, выражающий степень нагреваемости почвы (K_n). Он определяется по формуле:

$$\hat{E}_I = \frac{\sum \dot{O}_I > 10^\circ C}{\sum \dot{O}_N > 10^\circ C}, \quad (6.11)$$

где $\sum \dot{O}_I$ – сумма температуры почвы на глубине 20 см выше 10 °С;

$\sum \dot{O}_C$ – сумма среднесуточных температур воздуха выше 10 °С.

По территории СНГ этот коэффициент варьирует в пределах 0,76 – 0,93 (полярная и мерзлотно-таежная области) и до 1,17-1,19 (субтропический пояс). Следует заметить, что все оценки по тепловому режиму почвы даны в осредненном виде без учета механического состава.

Весьма интересные и подробные исследования по термическому режиму и тепловым ресурсам почв разного механического состава были проведены И.А. Гольцберг [27], А.П. Слядневым [79].

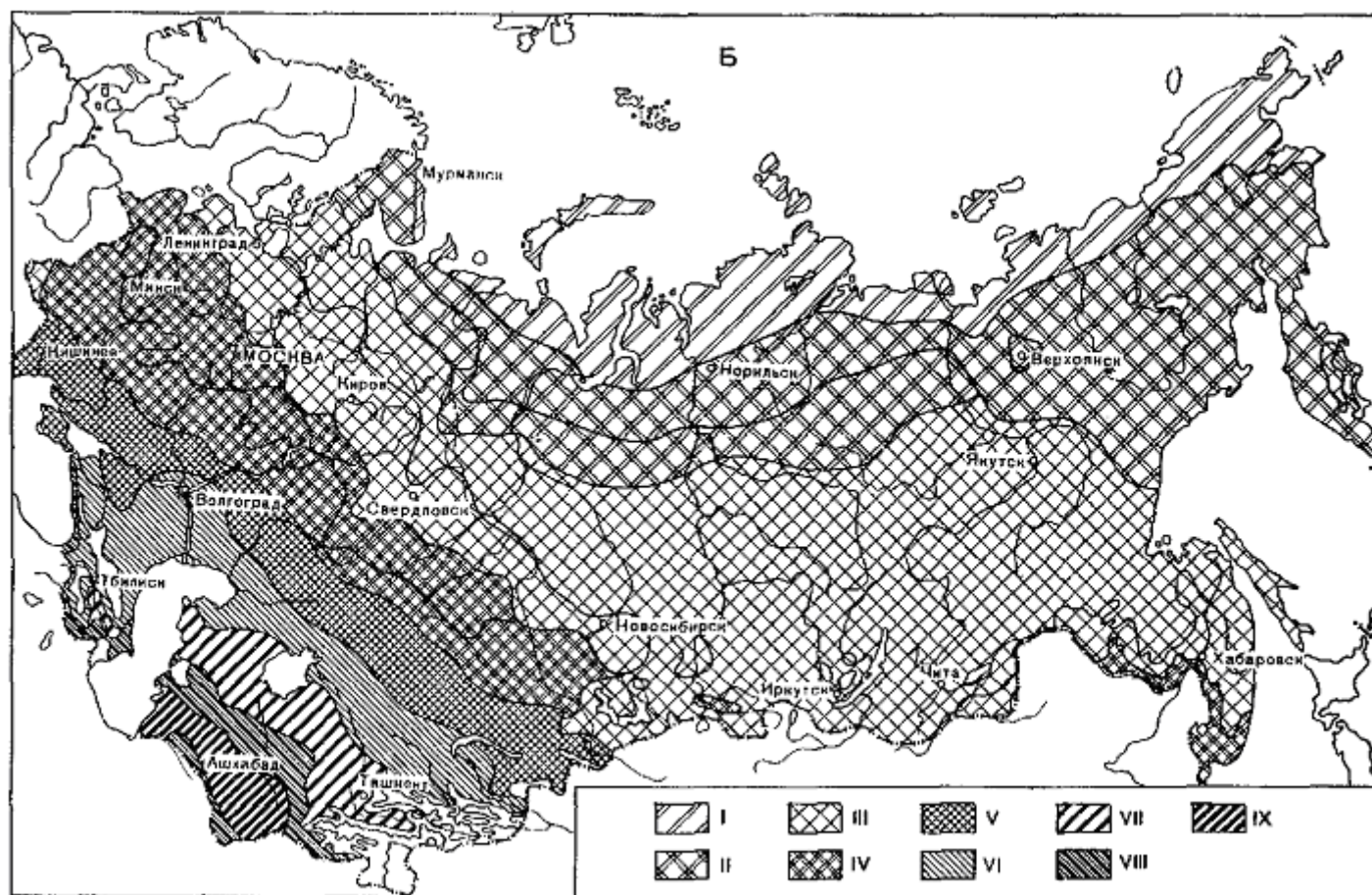


Рис.6.7 – Суммы активных температур почвы выше 10°C на глубине 20 см.
 Макрорайоны $^{\circ}\text{C}$: I – $<400^{\circ}\text{C}$, II – $400-1200$, III – $1200-2000$, IV – $2000-2800$, V – $2800-3600$, VI – $3600-4400$, VII – $4400-5200$, VIII – $5200-600$, IX – $600-6800$

Н.Г. Горышиной [29] и В.С. Клыпучо [46] с последующим картографированием и районированием термических показателей в пределах административных областей или небольших районов. К их числу относятся Санкт-Петербургская и Новосибирская области, Северо-запад России, включая Южную Карелию. При этом помимо количественной оценки сумм температур различных почв на глубине 5, 10, 20 см, учитывались даты перехода T_n через 10°C весной и осенью, продолжительность теплого периода, а также составляющие теплового баланса.

З.А. Мищенко и Н.В. Кирнасовская [68] выполнили сельскохозяйственную оценку климата и микроклимата различных почв на территории Украины. Для оценки тепловых ресурсов в пахотном слое почвы определены следующие показатели: даты перехода температуры почвы через 10°C весной и осенью ($\dot{A}_{\text{AI}}, \dot{A}_{\text{II}}$) на поверхности почвы и на глубинах 10, 20 см; продолжительность теплого периода на тех же уровнях (N_{II}, N_I, N'_I); суммы активных температур с $\dot{\theta}_I$, выше 10°C на поверхности почвы и на глубинах 10, 20 см ($\Sigma\dot{\theta}_{\text{II}}, \Sigma\dot{\theta}_I, \Sigma\dot{\theta}'_I$).

В целях получения комплексной оценки вышеуказанных показателей и сокращения трудоемких работ по их картированию применена методика уплотнения агроклиматической информации. Суть ее заключается в установлении количественных зависимостей между известными и искомыми агроклиматическими показателями. В данном случае были установлены зависимости между суммами активных среднесуточных температур воздуха выше 10°C ($\Sigma\dot{\theta}_N$) и $\Sigma\dot{\theta}_{\text{II}}, \Sigma T_I, \Sigma\dot{\theta}'_I$; между продолжительностью теплого периода в воздухе ($N_{\dot{\theta}I}$) и N_{II}, N_I, N'_I .

Рассчитаны соответствующие уравнения этих зависимостей и коэффициенты корреляции (r). Они имеют вид:

$$\Sigma T_{\text{II}} = 1,32\Sigma\dot{\theta}_N - 284,7 \quad r=0,97 \quad (6.12)$$

$$\Sigma\dot{\theta}_I = 1,224\Sigma\dot{\theta}_N - 214,4 \quad r= 0,97 \quad (6.13)$$

$$\Sigma T'_I = 1,18\Sigma\dot{\theta}_N - 173,1 \quad r=0,95 \quad (6.14)$$

$$N_{\text{II}} = 1,08N_{\dot{\theta}} - 4,73 \quad r = 0,92 \quad (6.15)$$

$$N_I = 1,07N_{\dot{\theta}I} - 3,54 \quad r= 0,93 \quad (6.16)$$

$$N'_I = 1,125N_{\dot{\theta}I} - 12,77 \quad r= 0,94 \quad (6.17)$$

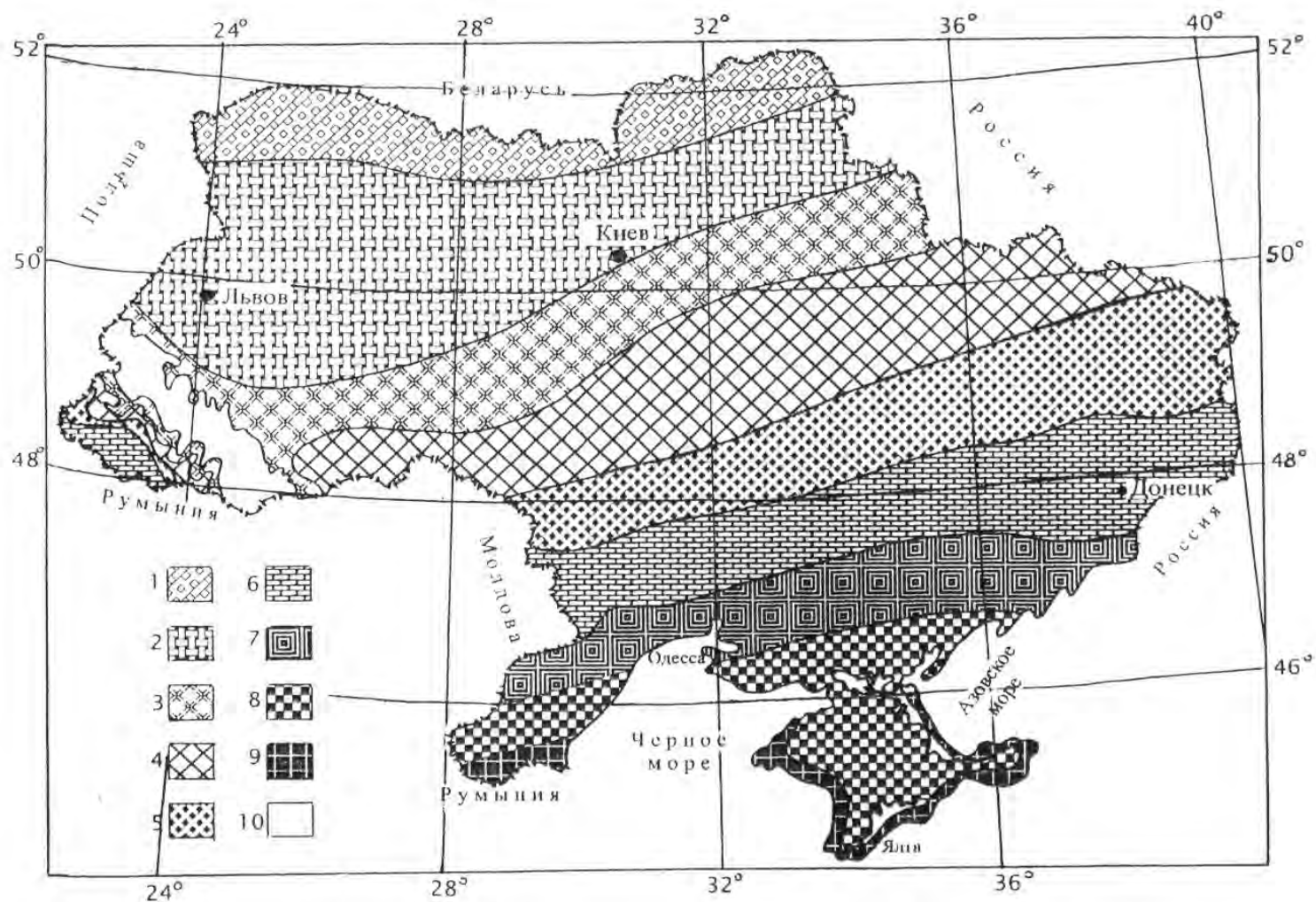


Рис.6.8 – Агроклиматическое районирование тепловых ресурсов в пахотном слое почвы и в воздухе на уровне будки в Украине. Макрорайоны: 1-9 (см. легенду в табл. 6.5), 10- горные районы.

Таблица 6.5 – Агроклиматическая оценка показателей тепловых ресурсов почвы на глубинах 10 см и 20 см и на поверхности почвы на территории Украины

Макрорайон	$\Sigma \dot{O}_I, ^\circ C$	N_I , дни	$\Sigma \dot{O}'_I, ^\circ C$	N'_I , дни	N_{II} , дни	$\Sigma \dot{O}_N, ^\circ C$	N_{OI} , дни	$\Sigma T_{II}, ^\circ C$
1. Крайний северный, холодный	<2600	<155	<2540	<154	<155	<2300	<148	<2750
2. Северо-западный, относительно холодный	2600-2800	155-161	2540-2735	154-160	155-162	2300-2465	148-154	2750-2970
3. Центральный холодный	2800-3000	161-167	2735-2930	160-166	162-167	2465-2630	154-159	2970–3190
4. Центральный, умеренно прохладный	300-3200	167-172	2930-3125	166-172	167-174	2630-2795	159-164	3190-3405
5. Центральный, умеренно теплый	3200-3400	172-177	3125-3320	172-177	174-178	2795-2960	164-169	3405-3625
6. Центральный, теплый	3400-3600	177-182	3320-3515	177-183	178-184	2960-3125	169-174	3625–3840
7. Южный, теплый	3600-3800	182-188	3515-3710	183-189	184-190	3125-3290	174-179	3840–4060
8. Южный, очень теплый	3800-400	188-193	3710-3905	189-194	190-195	3290-3455	179-184	4060-4280
9. Южный, жаркий	>400	>193	>3905	>195	195-198	>3495	>184	4280–4470

На рис. 6.8 представлено фоновое агроклиматическое районирование тепловых ресурсов в пахотном слое почвы в сравнении с традиционными показателями в виде $\Sigma \dot{O}_N$ и $N_{\dot{O}_T}$. Оно выполнено для среднесуглинистых почв, характеризующих условия открытого ровного места. К карте прилагается легенда в виде табл. 6.5. Выделено 9 макрорайонов, существенно различающихся по $\Sigma \dot{O}_T$ и N_T , $\Sigma \dot{O}'_T$ и N'_T , $\Sigma \dot{O}_N$ и $N_{\dot{O}_T}$. Все показатели увеличиваются в направлении с северо-запада на юг Украины. На северо-западе (макрорайон 1) суммы температуры почвы на глубинах 10, 20 см не превышают 2500-2600 °С, а продолжительность теплого периода на тех же глубинах почвы составляет 155 дней. В степных районах юга (макрорайоны 8,9) значения этих показателей возрастают соответственно до 3800-4000 °С и 188-195 дней.

Диапазон географических различий в $\Sigma \dot{O}_T$ и N_T , $\Sigma \dot{O}'_T$ и N'_T весьма значителен и составляет 1200-1400 °С и 33-41 день. На всех уровнях почвы (0, 10, 20 см) ресурсы тепла оказались выше на 450-800 °С, 300-500 °С, 200-400 °С сумм температур воздуха. Это обусловлено радиационным нагревом деятельной поверхности и прилежащих слоев почвы по сравнению с воздухом на уровне будки, т.е. составляющими теплового баланса подстилающей поверхности. Коэффициент нагреваемости различных почв на глубине 10см существенно изменяется на территории страны в пределах от 1,08 до 1,28.

Количественно оценена микроклиматическая изменчивость сумм температуры почвы на глубинах 10, 20 см с учетом разного механического состава. Наиболее теплыми являются песчаные и супесчаные почвы по сравнению со средним суглинком; наиболее холодными – тяжелосуглинистые и глинистые почвы. Диапазон микроклиматических различий в ресурсах тепла между самыми теплыми и холодными почвами на малых площадях составил 400-500 °С и более. Эти различия сравнимы с зональной изменчивостью $\Sigma \dot{O}_T$ и $\Sigma \dot{O}'_T$ на значительной территории Украины.

Из рассмотренных материалов по термическому режиму и тепловым ресурсам в пахотном слое почвы разного механического состава можно сделать заключение о важности учета климата и микроклимата почв в сельском хозяйстве. Тепловые ресурсы различных почв следует учитывать при определении оптимальных сроков сева и уборки сельскохозяйственных культур, а также для рационального их размещения, как в зональном разрезе, так и на ограниченных территориях (административная область, район, отдельное хозяйство) с большой пестротой почв.

Глава 7 МЕТОДЫ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ РЕСУРСОВ ВЛАГИ И ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

Влага является одним из основных факторов жизни растений. Для эффективного использования земельных ресурсов территории необходим правильный учет ее водных ресурсов. Важными функциями воды являются ее участие в фотосинтезе растений, переносе элементов питания, обеспечении терморегуляции. Решение проблемы влагообеспеченности растений – задача исключительно трудная, поскольку в процессе питания растений водой помимо физиологических и физических объектов, нужно учитывать особенности такой сложной системы как «Почва – воздух».

В физиологии растений различают внешние и внутренние факторы транспирации. Внутренние факторы – это процессы, происходящие в самом растении при воздействии условий среды и направленные на регулирование транспирации в течение вегетационного периода растений. Внешние факторы – это климат, почва, агротехника. Для этих факторов характерна большая пространственно-временная изменчивость на любой территории, в том числе СНГ.

В полевых условиях суммарный расход растениями складывается из транспирации и испарения с поверхности почвы (суммарное испарение). Суммарный расход воды при оптимальном водоснабжении растений не может расти беспредельно, так как этот процесс связан с затратой тепла. Будыко М.И. [17] пришел к выводу, что максимально возможное испарение (испаряемость) ограничивается в основном величиной радиационного баланса. Испаряемость – это максимально возможное испарение с обильно увлажненной поверхности почвы или водоема при данных метеорологических условиях.

Сложность проблемы влагообеспеченности растений привела к появлению различных методов и способов ее решения, как на территории СНГ, так и в дальнем зарубежье. Рассмотрим те из них, которые применяются наиболее широко.

7.1 Оценка влагообеспеченности растений по количеству осадков

В настоящее время все еще часто, особенно в агроклиматической практике, влагообеспеченность растения оценивают, исходя из сравнения количества выпавших осадков, выраженного в миллиметрах слоя воды. Среднее многолетнее количество осадков, например, на территории СНГ дает представление о 50%-ной обеспеченности осадками выше или ниже данной величины (рис.7.1.а). Поэтому для правильной оценки

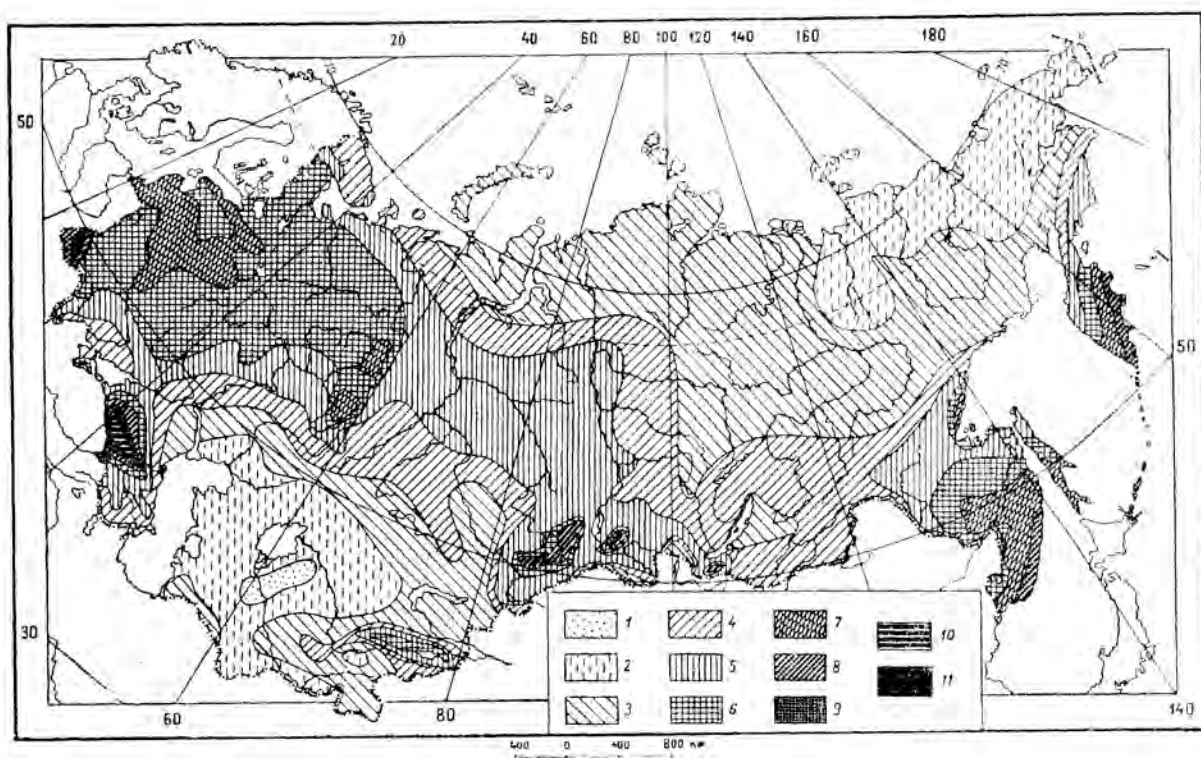


Рис.7.1.а – Годовое количество осадков на территории СНГ и стран Балтии

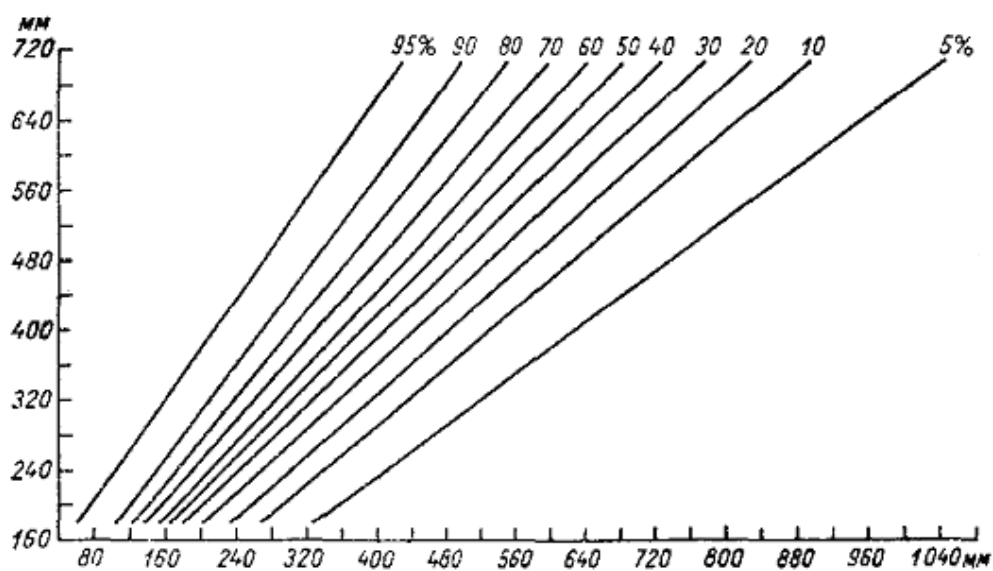


Рис.7.1.б – Номограмма для расчета годовых осадков различной обеспеченности (%) в юго-западных областях ЕЧ СНГ

влагообеспеченности посевов необходим расчет количества осадков различной обеспеченности.

Для этой цели рассчитывается суммарная вероятность осадков по формуле А.Г.Алексеева [9], применительно к каждому конкретному пункту с последующим построением кривых вероятности. Если рассматривается обширная территория, то строится номограмма обеспеченности количества осадков различной вероятности относительно средних многолетних значений осадков, т.е. климатической нормы.

На рис. 7.1.б представлена номограмма обеспеченности осадков, построенная А.И.Лебедевым [52], для юго-западных областей ЕЧ СНГ. По оси Y нанесены средние многолетние суммы осадков за теплый период, а по оси X – возможные суммы осадков в отдельные годы. В поле рис. 7.1 даны линии различной обеспеченности % осадков за теплый период. Практическая ценность номограмм обеспеченности заключается в том, что, зная климатическую норму осадков, можно определить возможные значения этого показателя в отдельные годы. На рис. 7.2 дан пример построения номограмм обеспеченности для расчета месячных сумм осадков весной и летом в засушливых районах Украины [48].

Однако оценка условий влагообеспеченности территории по количеству выпадающих осадков не удовлетворяет агроклиматологов, ибо осадки являются лишь одной из характеристик приходной части водного баланса. Этим, в частности, объясняется тот факт, что в различных районах страны может выпадать одинаковое количество осадков, но обеспеченность растений влагой будет разной. Например, на Кольском полуострове выпадает столько же осадков, сколько и в Узбекистане (350 мм за год). Однако, на Кольском полуострове наблюдается избыток влаги (при недостатке тепла), что отрицательно сказывается на жизни растений, а в Узбекистане земледелие немыслимо без орошения. Поэтому для более правильной оценки влагообеспеченности необходимо знать потребность растения во влаге и фактическое водопотребление. Сравнение этих двух величин (через разность или отношение) может служить показателем влагообеспеченности данной территории. Необходим также учет годового хода выпадения осадков.

7.2 Оценка влагообеспеченности растений по эмпирическим методам

Эмпирические методы основаны на предположении, что водопотребление конкретного сорта растения, в основном, определяется погодными условиями и его биологическими особенностями. Основными факторами, характеризующими потребность растений в воде, являются

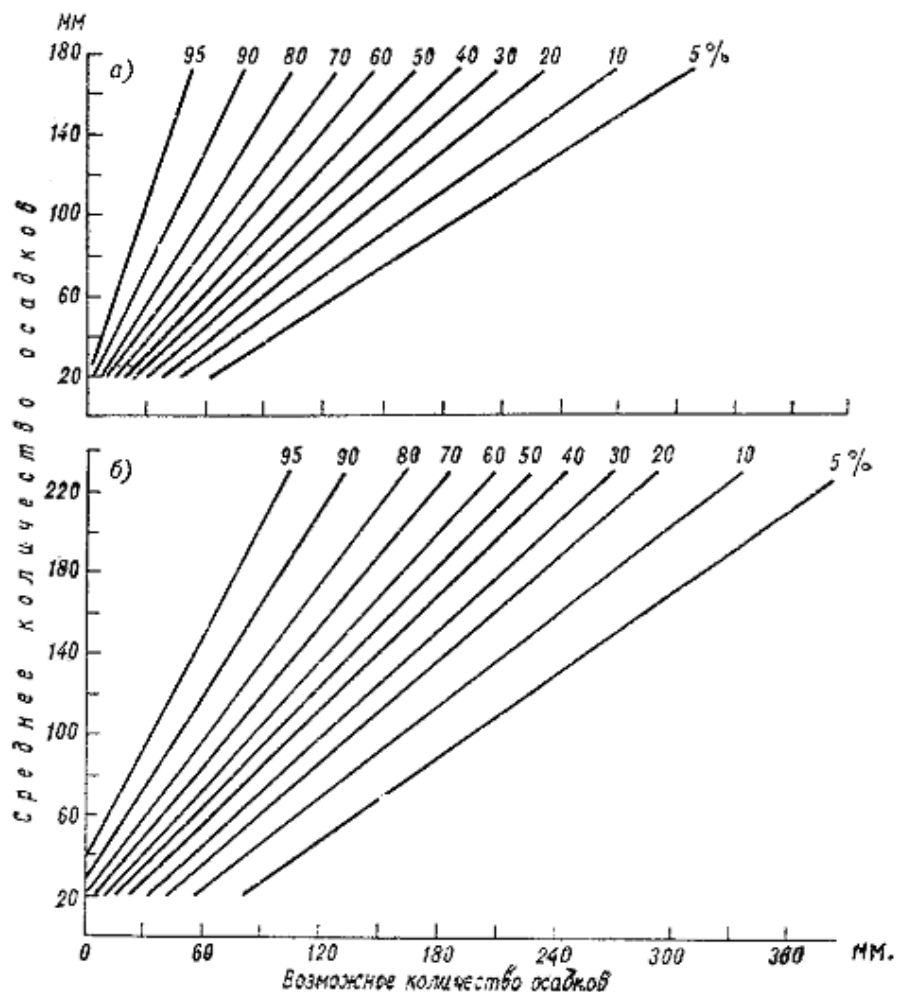


Рис.7.2 – Номограммы для расчета месячных сумм осадков различной обеспеченности в засушливых районах Украины: а) март-май, б) июнь-август.

солнечная радиация, температура воздуха, дефицит влажности воздуха и некоторые другие показатели.

Ряд исследователей рассчитывают потребность растений во влаге по средней суточной температуре воздуха или по сумме средних суточных температур за определенный период времени. Так, И.А. Шаров [95] предлагает рассчитывать оптимальное водопотребление культуры E_0 по формуле:

$$E_0 = e \sum T + 4b, \quad (7.1)$$

где $\sum T$ – сумма температур воздуха за период вегетации;

e – коэффициент водопотребления культуры, рассчитанный на 1°C ;

b – число дней вегетационного периода конкретной культуры

Согласно Н.Н. Иванову [95] оптимальное водопотребление культуры можно рассчитать по формуле:

$$E_o = 0,0018(T_B + 25)^2 \cdot (100 - h), \quad (7.2)$$

где T_B - средняя месячная температура воздуха;

h – средняя месячная относительная влажность воздуха;

E_o – испаряемость (мм мес.)

Температуру воздуха для расчета оптимального водопотребления культур предлагают использовать также Г.К. Льгов, Д.А. Штойко, Б.Б. Циприс и ряд других исследователей. Блейни, Джонсон, Пенмон, Торнтвайт, Тюрк в дальнем зарубежье для аналогичных расчетов рекомендуют использовать температуру воздуха, теплобалансовый индекс, суммарную солнечную радиацию, продолжительность солнечного сияния и осадки.

Широкое признание получил биофизический метод, предложенный А.М. Алпатьевым [8]. В качестве основного элемента климата, определяющего величину оптимального водопотребления (оптимального суммарного испарения), он выбрал дефицит влажности воздуха. Вторым показателем является так называемый биологический коэффициент испарения (K_B), учитывающий ритмы развития растений, ход накопления биомассы и качественные изменения самих растений. Особенности фитоклимата. Расчетное уравнение имеет вид:

$$E_o = K_B \cdot \sum d, \quad (7.3)$$

где E_o – потребность растений во влаге, численно равная суммарному испарению фитоценоза при оптимальном режиме увлажнения, (мм);

K_B – биологический коэффициент фитоценоза (безразмерная величина);

$\sum d$ – сумма дефицитов влажности воздуха (мм или мб).

Расчеты показали, что биологические коэффициенты меняются в зависимости от почвенно-климатических условий района, особенностей фитоценоза в ходе вегетации.

Совокупность меняющихся биологических коэффициентов во времени за вегетационный период для одного и того же фитоценоза получила название биологической кривой данного фитоценоза. Как видно из табл. 7.1, значения K_B существенно изменяются в течение вегетационного периода конкретных культур и составляют в первую декаду после всходов 0,4-0,5, в пятую – 0,7-0,9 и в девятую – 0,4-0,6. Поэтому для более точных расчетов влагообеспеченности по методу Алпатьева А.М. необходимо применение зональных биологических коэффициентов с учетом периода вегетации конкретной культуры.

Таблица 7.1 – Биологические коэффициенты (K_B) для расчета по декадам влагопотребности ряда зерновых и технических культур

Декада от всходов	K_B для яровых в лесной зоне	K_B для яровых в степной зоне	K_B для подсолнечника в степной зоне	K_B для картофеля в степной зоне
1	0,5	0,5	0,4	0,5
2	0,6	0,6	0,5	0,6
3	0,7	0,7	0,6	0,7
4	0,7	0,8	0,7	0,7
5	0,7	0,9	0,8	0,7
6	0,7	0,8	0,8	0,7
7	0,6	0,8	0,7	0,6
8	0,5	0,6	0,6	0,6
9	–	0,5	0,4	0,6

Используя метод Алпатьева А.М., влагообеспеченность растений вычисляют как разность между потребностью конкретного растения во влаге и фактическим испарением (E). Последняя величина может быть вычислена по формуле сокращенного водного баланса:

$$E = \sum r - F + (W_H - W_K), \quad (7.4)$$

где $\sum r$ – количество осадков за рассчитываемый период (мм);

F – поверхностный сток (мм);

W_H, W_K – запасы продуктивной влаги на начало и конец вегетации (мм).

Поскольку поверхностный сток в период активной вегетации растений практически бывает мал, им обычно пренебрегают. Территорию, для которой разность между фактическим и оптимальным испарением ($E - E_0$) не превышает ± 50 мм, относят к оптимальным условиям увлажнения. Районы с отрицательной разностью более $- 50$ мм относят к зоне недостаточного увлажнения, а районы с положительной разностью более 50 мм – к зоне избыточного увлажнения.

Во втором издании агроклиматических справочников «Агроклиматические ресурсы области» [6] влагообеспеченность растений рассчитана по формулам 7.3 и 7.4 через отношение E к E_0 . При этом влагообеспеченность определяется по формуле:

$$V_k = \frac{E}{E_o} \cdot 100\% , \quad (7.5)$$

где V_k – влагообеспеченность конкретной культуры, выраженная в процентах.

В заключение заметим, что все рассмотренные методы (И.А. Шарова, А.М.Алпатьева и др.) имеют существенный недостаток, в них не учитывается подпитывание корнеобитаемого слоя почвы за счет грунтовых вод. Поэтому данные методы дают хорошие результаты лишь при глубоком залегании последних (более, чем на 3-5 м). Определение же биологических коэффициентов для различных почвенно-климатических условий тоже довольно сложно.

7.3 Оценка влагообеспеченности растений по теоретическим методам

К числу этих методов следует отнести комплексный метод, разработанный М.И.Будыко [17]. При этом рассматриваются две стадии испарения с почвы. Первая из них соответствует оптимально увлажненной почве, при которой испарение равно испаряемости, а вторая – недостаточно увлажненной почве, с влажностью ниже критической, при которой испарение оказывается ниже испаряемости.

Оптимальное водопотребление (потребность растений в воде) М.И.Будыко отождествляет с потенциально возможным испарением, т.е. с испаряемостью. Установлено, что величина возможного испарения при оптимальном увлажнении почвы пропорциональна дефициту влажности воздуха, рассчитанному по температуре испаряющей поверхности. Исходя из этого, автор для расчета испаряемости предложил формулу

$$E_o = \rho D(q_s - q), \quad (7.6)$$

где ρ – плотность воздуха;

D – интегральный коэффициент диффузии;

q_s – удельная влажность насыщенного водяным паром воздуха, рассчитанная по температуре испаряющей поверхности;

q – удельная влажность воздуха в психрометрической будке.

Для определения величины q_s необходимо знать температуру испаряющей поверхности, что представляет наибольшую трудность. При решении этой задачи используется уравнение теплового баланса, которое вместе с уравнением Магнуса дает возможность определить величину q_s . В конечном итоге для расчета испаряемости по методу М.И. Будыко необходимо знать величины радиационного баланса, теплообмена,

температуры и влажности воздуха, коэффициента диффузии. И. Зубенок [36], развивая методику М.И.Будыко, преобразовала его формулу, в результате чего величину испаряемости для каждого месяца можно определить по среднему месячному значению дефицита влажности воздуха, определенному по температуре воздуха, с учетом поправки, зависящей от характера почвенно-климатических условий (тундра, лес, лесостепь, степь).

Расчет суммарного испарения (при влагозапасах почвы ниже критических) производится по формуле

$$E = E_o \frac{W_H + W_K}{2W_o}, \quad (7.7)$$

где E – испарение (водопотребление культуры в естественных условиях, мм);

E_o – испаряемость (мм);

W_H и W_K – влажность почвы в начале и конце расчетного периода;

W_o – критическая влажность метрового слоя почвы (мм), равная 70% полевой влагоемкости.

При упрощенных расчетах сток воды по поверхности не принимается во внимание. По формулам 7.6 и 7.7 Л.И. Зубенок выполнила расчеты E_o и E , построила карты испаряемости и суммарного испарения для всей территории суши земного шара, в том числе для территории СНГ в среднем за год и для каждого месяца с марта по октябрь. Построены также карты дефицита испарения в виде разности ($E_o - E$) и относительного испарения (E/E_o).

По методу Будыко ресурсы влаги можно определить как разность между оптимальным и фактическим испарением ($E_o - E$). Эта разность при положительном знаке представляет собой климатическую норму орошения, если используются средние многолетние данные. Для сопоставления условий увлажнения различных территорий удобнее пользоваться безразмерным показателем влагообеспеченности в виде E/E_o . Среднее годовое относительное испарение (E/E_o) на территории СНГ изменяется от 0,9 (северные районы России, Нечерноземная зона и Западная Сибирь) до 0,5 (южные районы Молдовы и Украины) и до 0,1 (южные районы Средней Азии). В июле на значительной территории России, кроме Западной Сибири, значения E/E_o превышают 0,7. На юге Молдовы и Украины влагообеспеченность снижается до 0,3, а на юге Казахстана и в среднеазиатских республиках – до 0,1 (рис.7.3).

Поскольку при достаточных тепловых ресурсах продуктивность растительного покрова в основном определяется состоянием водного режима, а относительное испарение E/E_o характеризует влагообеспеченность растений, этот показатель может быть использован

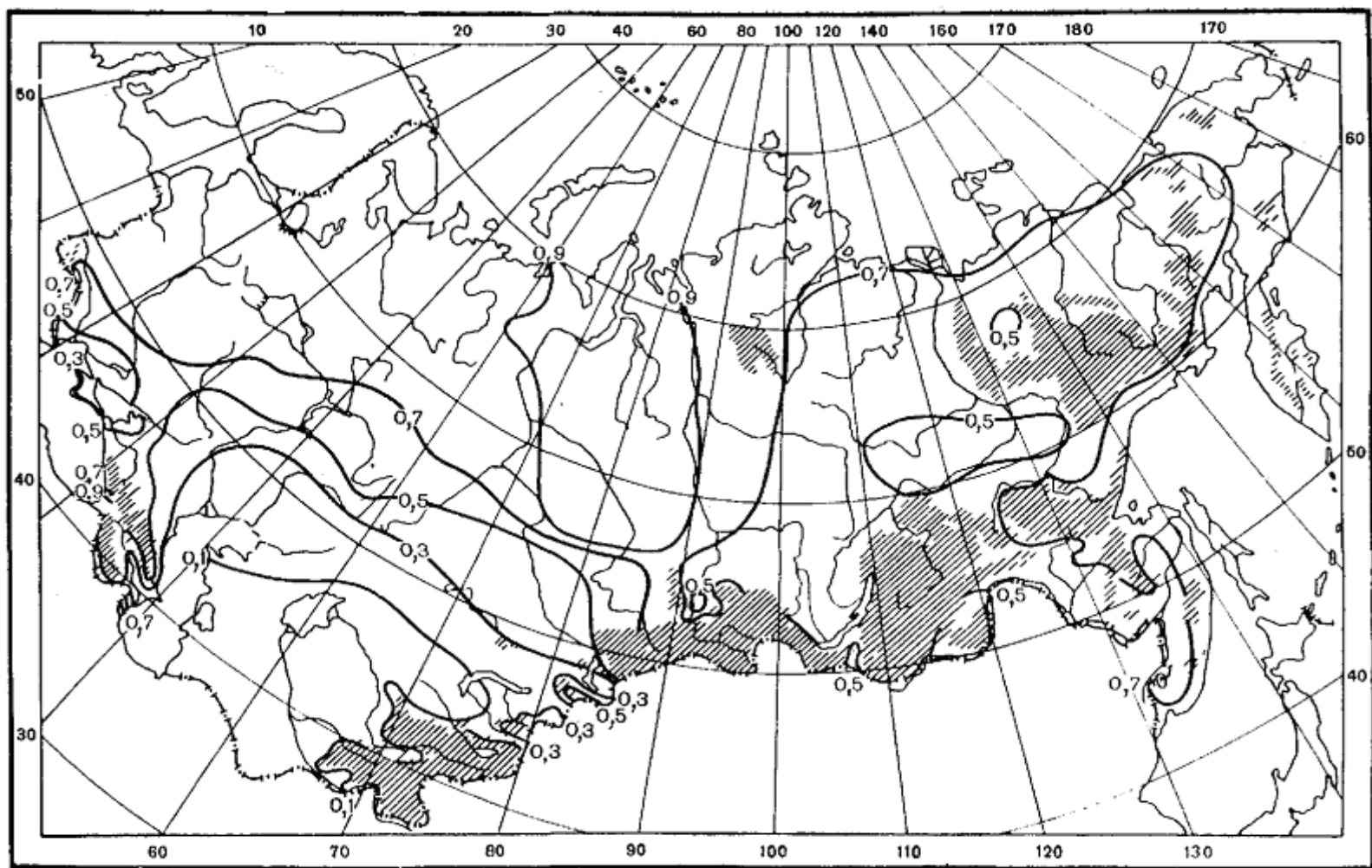


Рис.7.3 – Среднее месячное относительное испарение (E/E_0) на территории СНГ и стран Балтии. Июль.

для оценки урожайности. Рядом исследователей [36, 44, 88] получены зависимости урожаев зерновых культур (яровая пшеница, кукуруза, озимая пшеница) от показателей суммарного испарения и E/E_o для различных регионов России и Украины.

В заключение следует отметить, что комплексный метод Будыко является наиболее обоснованным физически. К недостаткам метода следует отнести не учет влияния растений и водно-физических свойств почв. Кроме того, для конкретных видов фитоценозов и определенных погодных условий величину коэффициента турбулентной диффузии D использовать трудно

К методам, основанным на теоретических положениях, следует отнести также метод С.И. Харченко [111]. Используя элементы водного и теплового баланса, он для расчета оптимального водопотребления предложил формулу вида:

$$E_{OP} = \frac{\beta(R_O - P_O)W_{hн.в.}}{z\gamma}, \quad (7.8)$$

где R_O – радиационный баланс;

P_O – поток тепла в почву;

z – скрытая теплота испарения;

$W_{hн}$ – запасы влаги в расчетном слое почвы при наименьшей влагоемкости;

γ – параметр, вычисленный как разность между наименьшей влагоемкостью и влажностью завядания;

β – коэффициент, зависящий от фазы развития растений и состояния деятельной поверхности.

Ресурсы влаги по Харченко, оцениваются коэффициентом влагообеспеченности η , представляющим собой отношение водного баланса корнеобитаемого слоя почвы к оптимальному водопотреблению (испаряемости):

$$\eta = \frac{X + (W_{hн} - W_{hk}) + K_h - I_h - I_{нов}}{E_{оп}}, \quad (7.9)$$

где X – атмосферные осадки;

$W_{hн}$ и W_{hk} – начальные и конечные влагозапасы в слое почвы толщиной h ;

K_h – приход влаги за счет восходящего потока капиллярной, пленочной и парообразной влаги или подпитывание корнеобитаемого слоя почвы за счет грунтовых вод;

I_h – инфильтрация влаги (расход ее за счет нисходящего потока);

$I_{нов}$ – поверхностный сток;

$E_{оп}$ – оптимальное водопотребление культуры.

При глубоком залегании грунтовых вод (4-5 м), когда компоненты влагообмена по вертикали K_h и I_h можно считать равными нулю, расчет коэффициента влагообеспеченности упрощается и его можно определить по формуле

$$\eta = \frac{X + (W_{hn} - W_{hk}) - I_{нов}}{E_{оп}} \quad (7.10)$$

Важным преимуществом этого метода по сравнению с другими является учет влагообмена по вертикали, особенно величин K_h и I_h . Это обстоятельство имеет существенное значение при расчете влагообеспеченности за короткие интервалы времени и при неглубоком залегании грунтовых вод.

Используя предложенный метод, С.И. Харченко, помимо коэффициента влагообеспеченности, определил средние многолетние недостатки водопотребления для ряда сельскохозяйственных культур, произрастающих на юге ЕЧ СНГ, в Казахстане и в Западной Сибири. Под этим термином С.И. Харченко понимает недостаток влаги в корнеобитаемой зоне поля до величины оптимального испарения (водопотребления). Для характеристики недостатков водопотребления в среднесухие климатические годы он построил карты распределения этих величин с 25%-ной обеспеченностью. Установлены также территориально общие зависимости урожая ряда культур от недостатков водопотребления; предложена новая методика расчета основных параметров оросительных систем. На примере отдельных оросительных систем автором разработаны дифференцированные оросительные нормы.

В целом рассмотренный метод, давая хорошие результаты, является трудоемким, так как требует использования значительного числа компонентов, точность вычисления которых должна быть относительно высокой. Как показали последние исследования самого автора, параметр β , учитывающий фазы развития растений и состояние деятельной поверхности, нуждается в уточнении для ряда культур.

Из других методов теоретического направления следует указать на метод, разработанный А.Р. Константиновым [43]. Он также оценивает влагообеспеченность как разность между испаряемостью и фактическим

испарением. В основе метода лежит схема расчета фактического испарения по градиентным данным. Построив эмпирические зависимости, автор заменил величины градиентов скорости ветра, температуры и влажности воздуха температурой (T_B) и упругостью водяного пара (e), измеренными на уровне будки, т.е. на высоте 2 м. По этим данным было определено фактическое испарение луга, которое относят к территории окружающей ту или иную метеостанцию.

Для расчета испарения с конкретного сельскохозяйственного поля необходимо воспользоваться второй частью метода А.Р. Константинова – графиками перехода от величин испарения с луга к величинам испарения с сельскохозяйственного поля. Такие графики построены пока для зерновых культур по данным синхронных измерений испарения с луга и с исследуемой культуры.

Под испаряемостью автор понимает максимально возможное испарение с оптимально увлажненного сельскохозяйственного поля. Испаряемость при оптимальных влагозапасах почвы, сомкнутом травостое и активной вегетации растений практически одинакова для любых сельскохозяйственных культур. Доказана идентичность величин испаряемости разных подстилающих поверхностей (сельскохозяйственное поле, паровое поле, водоем) при условии значительных размеров испаряющих поверхностей и оптимальном увлажнении почвы. На этом основании автор построил график испаряемости, используя данные оптимального испарения различных культур (кукурузы, клевера, картофеля и др.).

Влагообеспеченность территории оценивается А.Р. Константиновым через дефицит испарения в виде разности ($E_o - E$). Построенный на основе теории турбулентного обмена, этот метод выгодно отличается от других доступностью и простотой, ибо в результате ряда замен и упрощений, расчеты испарения и испаряемости в нем осуществляются по температуре и влажности воздуха, полученным по данным метеостанций без проведения градиентных наблюдений.

7.4 Оценка влагообеспеченности растений по условным показателям увлажнения

Рядом ученых предложены условные показатели увлажнения, называемые коэффициентами или индексами. Большинство из них представляют собой отношение ресурсов влаги (осадки, влагозапасы в почве) к потребности во влаге, рассчитанной через испаряемость. Последняя определяется по температуре и ее суммам, дефициту влажности воздуха или другим параметрам.

Г.Т. Селянинов [92] предложил показатель увлажнения (гидротермический коэффициент) рассчитывать по формуле:

$$ГТК = \frac{\sum r}{\sum T_c : 10} \quad (7.11)$$

где $\sum r$ – количество осадков в теплый период;

$\sum T_c$ – сумма среднесуточных температур воздуха выше 10 °С за период вегетации культур (обычно за два или четыре месяца), уменьшенная в 10 раз, условно характеризует испаряемость.

Им построена карта распределения ГТК на территории бывшего СССР за май-июль для средних многолетних условий. Как видно из рис.7.4, гидротермический коэффициент уменьшается в несколько раз в направлении с севера и северо-запада на юг и юго-восток от 1,6 до 0,2 и менее.

Г.Т. Селянинов выявил большую устойчивость определенных значений ГТК на границах основных природных зон и на географических границах сельскохозяйственных культур. Например, граница леса и степи совпадает с изолинией ГТК, равной 1,0; северная граница пустыни – с изолинией 0,5 и т.д. Гидротермический коэффициент, равный 2,0 и более, характеризует условия избыточного увлажнения; 1,5 – условия оптимального увлажнения; 1,0 – условия недостаточного увлажнения; 0,7 – условия неустойчивого земледелия; 0,5 и менее – очень сухую зону, где необходимо орошение при возделывании культурных растений.

Так как условия увлажнения в отдельные годы существенно отличаются от средних многолетних значений ГТК, необходимо наряду со средними значениями гидротермического коэффициента учитывать временную изменчивость этого показателя путем расчета вероятностных характеристик по формуле А.Г.Алексеева. В табл.7.2 даны значения суммарной вероятности (обеспеченности) гидротермического коэффициента относительно средних многолетних величин. Например, при среднем многолетнем значении ГТК, равном 1,2, на 90% (9 раз из десяти лет) обеспечены значения не ниже 0,7, но только один раз в 10 лет его значения могут составить 1,8.

В ряде работ ГТК широко используется для оценки влагообеспеченности урожая. П.И.Колосков и В.А. Смирнова [42, 95] определили зависимость урожая яровой пшеницы от увлажнения за период апрель-июнь. Она приведена в табл. 7.3, где урожай дан в баллах, которые получены путем пересчета его из абсолютных величин в доли максимального значения. Данные табл. 7.3 можно использовать для агроклиматических расчетов обеспеченности урожая влагой при наличии обеспеченности различных значений ГТК, приведенных в табл.7.2.

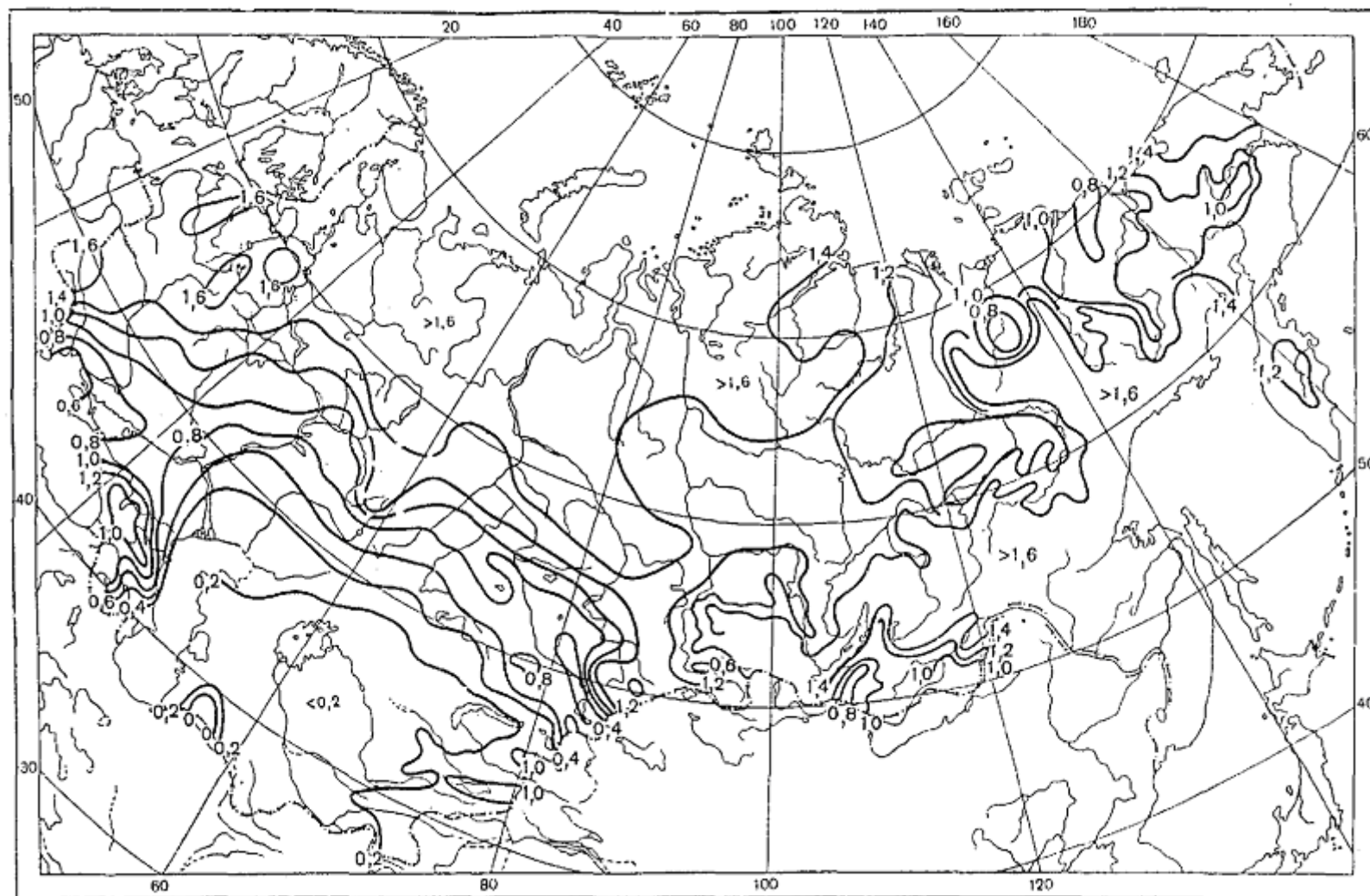


Рис.7.4 – Географическое распределение ГТК на территории СНГ за май-июль по Селянинову Г.Т.

Таблица 7.2 – Обеспеченность ГТК в отдельные годы в зависимости от его среднего многолетнего значения

ГТК (средний)	Обеспеченность, %						
	100	90	75	50	25	10	1
0,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,7	1,0	1,6
0,8	0,2	0,4	0,6	0,8	1,1	1,5	2,0
1,0	0,3	0,5	0,7	1,0	1,3	1,6	2,5
1,2	0,4	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8	3,0
1,5	0,6	0,9	1,2	1,5	1,9	2,3	3,5
2,0	0,8	1,3	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0
2,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0

Таблица 7.3 – Изменение урожайности яровой пшеницы в зависимости от ГТК за период апрель-июнь

ГТК (1У-У1)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
Урожай (баллы)	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0

Относительный показатель увлажнения, предложенный Н.Н.Ивановым [95] рассчитывается по формуле:

$$K_y = P / f \quad (7.12)$$

где P – осадки за год (мм);

f – испаряемость за год (мм), определенная по испарению с поверхности водоемов (озер).

Этот показатель был применен Э.Л. Хершкович [3]. При агроклиматическом районировании картофеля на территории стран Восточной Европы.

Поскольку показатель увлажнения зависит от влажности воздуха П.И. Колосков [42] предложил следующий показатель, учитывающий влияние влажности почвы:

$$W = K \frac{P}{(E - e)}, \quad (7.13)$$

где P – количество осадков;

$E-e$ – дефицит влажности воздуха;

K – коэффициент пропорциональности.

Пользоваться этой формулой затруднительно, так как необходимо определить величину K по данным влажности почвы.

Заслуживает внимание предложенный М.И. Будыко [17]. радиационный индекс сухости, который рассчитывается по формуле:

$$\hat{E}_{\hat{n}} = \frac{R}{Lr}, \quad (7.14)$$

где R – радиационный баланс подстилающей поверхности;

L – скрытая теплота испарения;

r – годовое количество осадков.

Применение этого индекса затруднено ограниченностью данных по радиационному балансу. Однако, М.И. Будыко показал возможность определения радиационного баланса подстилающей поверхности по суммам температур воздуха выше 10°C . Показатель K_c является наиболее физически обоснованным и находит применение, как в странах СНГ, так и в дальнем Зарубежье.

Показатель увлажнения, предложенный Д.И. Шашко [115], рассчитывается по формуле:

$$Md = P / \sum d, \quad (7.15)$$

где P – осадки за год;

$\sum d$ – сумма средних суточных дефицитов влажности воздуха за год, являющаяся показателем испаряемости.

Величина Md , равная 0,45, указывает на соответствие в пределах года осадков и испаряемости; при Md больше 0,45 осадки превышают испаряемость; Md более 0,60 указывает на формирование избыточного увлажнения. Наоборот, величины Md менее 0,45 являются показателями недостаточного увлажнения; Md менее 0,15 указывает на крайне засушливые условия.

Известны также показатель сухости климата В.П.Попова, индекс влажности, предложенный за рубежом Торнтвейтом и другими. Из указанных выше показателей наибольшее признание и распространение применительно к территории СНГ и странам Восточной Европы получили ГТК (Селянинова) и показатель увлажнения Шашко.

Однако эти показатели увлажнения имеют определенные недостатки. А именно, недостатком ГТК является неучет весенних запасов влаги в почве, которые при неоднородном годовом ходе осадков могут быть существенно различными при одном и том же значении ГТК за вегетацию. Вторым недостатком ГТК является то, что в качестве

показателя испаряемости используется лишь температура воздуха. На значительной территории СНГ температура воздуха тесно коррелирует с дефицитом влажности воздуха, более точно учитывающим испаряемость. Однако, в ряде районов, особенно прибрежных, эта связь нарушается. Поэтому для таких районов ГТК, как показатель увлажнения, будет неточным.

Показатель увлажнения Шашко Md также нуждается во введении поправок на ходовой ход осадков, так как зимние и летние осадки не равнозначны для растений. Кроме того, при учете годовых сумм осадков показатель Md оказывается слишком стабильным во времени и плохо отражает изменения влагообеспеченности вегетационного периода в отдельные годы.

Учитывая указанные недостатки, С.А.Сапожникова [22], предложила новый коэффициент увлажнения ($KУ$), положив его в основу ГТК:

$$KУ = \frac{W + P_B}{\gamma \sum T \geq 10^0 C}, \quad (7.16)$$

где, W – влажность почвы, рассчитанная по зимне-весенним осадкам;

P_B – осадки за теплый период с температурой воздуха выше 10^0C ;

γ – коэффициент, переводящий $\sum T \geq 10^0 C$ в испаряемость по соотношению $\sum T$ и $\sum (E - e)$ с учетом изменения этого соотношения в отдельных районах.

К настоящему времени величины W и γ , а следовательно $KУ$ определена рядом исследователей для оценки условий увлажнения применительно к кукурузе, озимой пшенице, сахарной свекле и подсолнечнику [3, 57, 104, 114].

7.5 Оценка влагообеспеченности растений по влагозапасам в почве

Жизнь растений и формирование их урожаев возможно лишь при наличии в корнеобитаемом слое почвы влаги. Количество влаги, содержащееся в почве сверх влажности устойчивого завядания и участвующее в создании органического вещества, называется продуктивной влагой. Для перевода влажности почвы, выраженной в процентах, в миллиметры продуктивной влаги применяют формулу:

$$W_{пр} = 0,1 d h (W - K), \quad (7.17)$$

где $W_{\text{пр}}$ – запасы продуктивной влаги (мм);

d – объемная масса почвы (г/см³);

h – толщина слоя почвы (см);

W – влажность почвы (% от массы абсолютно сухой почвы) в слое, для которого делается расчет;

K – влажность устойчивого завядания (5 от массы абсолютно сухой почвы);

0,1 – коэффициент для перевода запасов влаги в миллиметры водяного слоя.

Продуктивная влага почвы является важным комплексным показателем увлажнения сельскохозяйственных полей, ибо она есть результат взаимодействия погодных, почвенных, растительных и агротехнических условий. Этот интегральный показатель включает осадки, сток, влагообмен почвы по вертикали, испарение и поэтому характеризует действительные ресурсы влаги, находящиеся в распоряжении растений. По отношению к растениям почвенная влага разделена на следующие категории, согласно А.А.Роде [84]:

1) совершенно неусвояемая влага, так называемый мертвый запас в почве, который соответствует максимальному содержанию прочно связанной воды;

2) весьма труднодоступная влага (это часть рыхлосвязанной влаги от мертвого запаса до влажности завядания, при которой растения обнаруживают признаки страдания от недостатка влаги);

3) условно труднодоступная влага, которая заключена в пределах между величинами влажности завядания и влажности разрыва капилляров;

4) среднедоступная влага характеризуется подвижностью; заключена в пределах от влажности разрыва капилляров до величины наименьшей полевой влагоемкости (НВ – есть наибольшее количество влаги, прочно удерживаемое почвой против сил тяжести);

5) легкодоступная влага, переходящая в избыточную, находится в пределах от величины НВ до величины полной влагоемкости (ПВ).

Все указанные категории влаги объединяются в две основные группы:

а) непродуктивную влагу (1-я и 2-я категории);

б) продуктивную влагу (3-5-я категории), нижним пределом которой служит влажность завядания (W_3).

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

а) условий обеспеченности растений влагой в онтогенезе;

б) исходных запасов влаги весной

в) исходных запасов влаги осенью

г) критического по отношению к влаге периода жизни растений.

Сопоставление фактических запасов продуктивной влаги в корнеобитаемом слое почвы с потребностью растений в ней позволяет дать количественную оценку водных ресурсов территории.

Весенние запасы влаги в почве (слой 0-100 см) принято оценивать по их соответствию величине наименьшей полевой влагоемкости (НВ). Для большинства степных и лесостепных районов на территории СНГ НВ среднесуглинистых почв при глубоком залегании грунтовых вод соответствует примерно 170-190 мм продуктивной влаги метрового слоя почвы.

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

- хорошие 180-160 мм,
- удовлетворительные 150-130 мм,
- недостаточные 130-80 мм,
- плохие и очень плохие 80-50 мм и менее.

Повторяемость указанных градаций в длинном ряду лет характеризует климатическую обеспеченность растений влагой весной в данном районе.

Оценку влагозапасов почвы в летний период для зерновых культур можно проводить, исходя из следующих величин. С.А. Веригу [20] 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 – 120-180 мм,
- неудовлетворительные (меньше 40-50 % НВ) – менее 80 мм.

В завершающий этап развития злаковых (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 соответствуют 80-100 мм; удовлетворительные – 40-80 мм, неудовлетворительные – 30-40 мм, плохие – менее 25 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.

Содержание продуктивной влаги в природных условиях СНГ существенно изменяется в географическом разрезе, что определяется влиянием многих факторов. К основным из них следует отнести условия климата, свойства почвы, характер растительности, агротехнические мероприятия. Географическое распределение запасов продуктивной почвенной влаги на территории бывшего СССР показано на соответствующих картах в ряде атласов и монографий [2, 3, 7, 20, 40].

Динамика годового хода продуктивной почвенной влаги обуславливается, прежде всего, количеством и распределением во времени осадков и температурным режимом данной территории. Изучение динамики годового хода влажности почв на территории СНГ и соответствия особенностей режима влажности, потребности во влаге зерновых культур позволило С.А. Вериге и Л.А. Разумовой [18]: выделить на указанной территории четыре агрогидрологические зоны: обводнения, капиллярного промачивания, полного весеннего промачивания, слабого весеннего промачивания (рис.7.5).

Зона обводнения охватывает страны Балтии, северную часть Беларуси, северные районы ЕЧ России и таежные районы Западной Сибири. Здесь в корнеобитаемом слое почвы в течение всего года имеется большое количество легкоподвижной влаги. В зимний период происходит подтягивание её из грунтовых вод, которые лежат неглубоко. Наибольшее количество влаги в метровом слое почвы наблюдается в начале весны и может достигать 300 мм, нередко, превышая ПВ. Наименьшие запасы влаги бывают обычно в июле и не опускаются ниже 150 мм. Здесь в основном необходимы мелиоративные мероприятия по борьбе с избытком влаги, т.е. осушение сельскохозяйственных полей.

Зона капиллярного увлажнения расположена к югу от зоны обводнения и ограничена линией, проходящей через Калининград, Ливна, Кудымкар, Тобольск, Кемерово. В большую часть года идет капиллярный подток воды снизу. Динамика годового хода продуктивной влаги в метровом слое почвы характеризуется большими запасами (более 200 мм) в холодную часть года и уменьшением их до 100 мм летом. Корневая система расположена в верхних слоях почвы из-за плохой аэрации нижних слоев почвы вследствие переувлажнения. Поэтому в отдельные засушливые годы, когда сильно пересыхает верхний слой почвы, растения страдают от недостатка влаги.

Зона полного весеннего промачивания занимает территорию с выщелоченными черноземами, а также черноземами мощными. В неё входит Беларусь, центральные районы ЕЧ и Западной Сибири России. Грунтовые воды здесь залегают глубоко. Годовой максимум запасов продуктивной влаги приходится на весну, он равен наименьшей полевой влагоемкости (170-180 мм в метровом слое почвы). Минимальные запасы влаги наблюдаются в конце вегетационного периода зерновых культур и

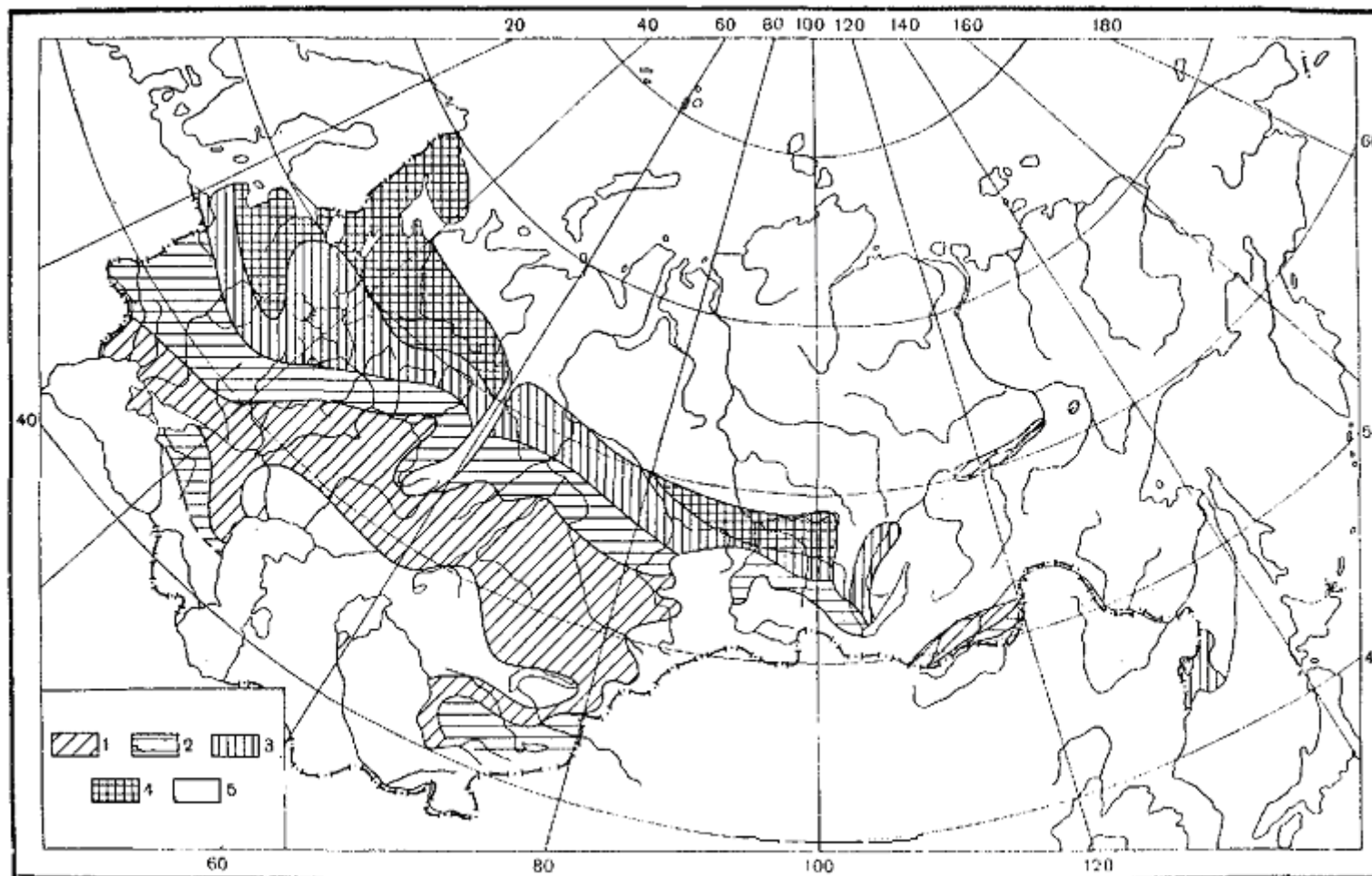


Рис. 7.5 – Агрогидрологические зоны на территории СНГ и стран Балтии.

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

составляют 50 мм, а в отдельные годы ещё ниже. Зерновые культуры на этой территории в целом обеспечены влагой.

Зона слабого весеннего промачивания занимает южные и юго-восточные районы стран СНГ (Молдовы, Украины, России и Казахстана). Эта зона характеризуется тем, что при глубоком залегании грунтовых вод в течение всего года, кроме периода снеготаяния, почва лишена подвижной влаги. Годовой максимум запасов продуктивной влаги в почве наблюдается весной, в наиболее засушливых районах они составляют всего лишь 60-80 мм. Глубина промачивания почвы в отдельные годы не превышает 50 см. Годовой минимум запасов влаги наблюдается осенью и нередко падает до нуля. Поэтому влагообеспеченность зерновых культур здесь недостаточна. В этой зоне мелиоративные мероприятия должны быть направлены на накопление и сохранение влаг в почве. Большой эффект дает орошение.

На рис. 7.6 показан годовой ход запасов продуктивной влаги в почве для средних многолетних условий по озимым культурам для вышеуказанных агрогидрологических зон. Однако следует иметь в виду, что границы зон, указанные на карте (рис. 7.6) относительно схематичны. Вследствие различий в рельефе, механическом составе почв,

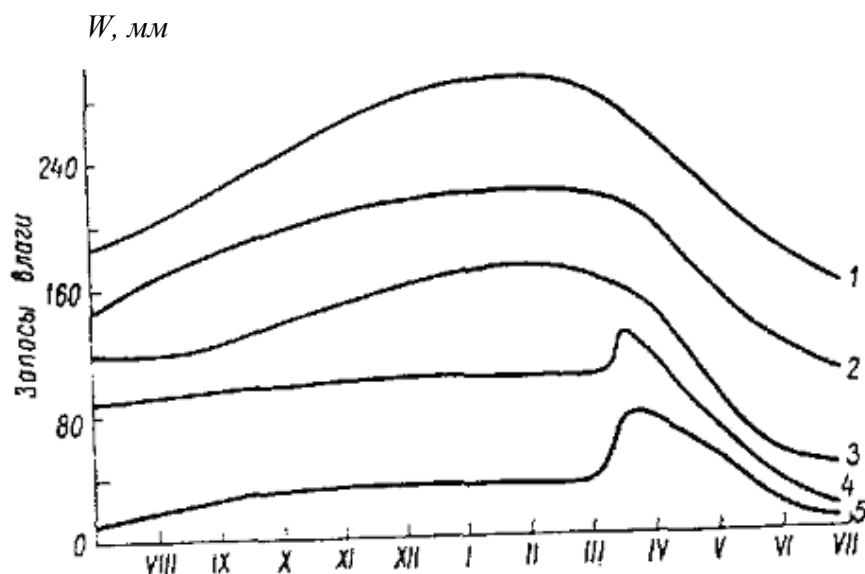


Рис.7.6 – Типы годового хода запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы под озимыми культурами, посеянными по чистому пару.
1 - в зоне обводнения, 2 - в зоне капиллярного увлажнения, 3 - в зоне полного весеннего промачивания, 4 - в зоне слабого весеннего промачивания (засушливые районы), 5 - в зоне слабого весеннего промачивания (сильно засушливые районы).

гидрогеологических условий, мелиоративных мероприятий, границы зон могут существенно отличаться от указанных.

В заключение рассмотрим еще один метод оценки водного режима растений, основанный на водном балансе поля. Этот метод предложен А.А. Роде [84]. Суть его заключается в использовании полного уравнения водного баланса поля. Уравнение имеет следующий вид:

$$W_0 + x + q_{\text{зр}} + q_k = E_n + E_m + W_1 + \Delta W + q_n, \quad (7.18)$$

где W_0 – запасы влаги в корнеобитаемом слое почвы в начале периода;

W_1 – запасы влаги в почве за расчетный период;

x – осадки;

$q_{\text{зр}}$ – влага, поступающая в корнеобитаемый слой от грунтовых вод;

q_k – конденсация пара;

E_n – испарение с поверхности почвы;

E_m – транспирация растений;

q_n – поверхностный сток;

ΔW_1 – изменение влагозапасов почвы.

Если расход влаги превышает приход, растения начинают испытывать со временем недостаток влаги. При превышении прихода влаги над расходом создаются условия для избыточного увлажнения. Этот метод, предложенный автором, позволяет с исчерпывающей полнотой оценить водный режим почвы в процессе вегетации культурных растений. Однако, при этом необходимо проведение инструментальных наблюдений на сельскохозяйственных полях, занятых конкретными культурами.

РАЗДЕЛ III ЛИМИТИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ КЛИМАТА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

К лимитирующим факторам климата, опасным для сельского хозяйства, относят заморозки, засухи, суховеи, градобитие, пыльные бури в период вегетации сельскохозяйственных культур, а также комплекс явлений в зимний период, т.е. во время перезимовки. Наиболее опасными являются агрометеорологические условия, которые по своей интенсивности, времени возникновения, продолжительности или площади распространения могут нанести или нанесли значительный ущерб народному хозяйству.

Так засуха или суховеи считаются особо опасными агрометеорологическими явлениями, если они охватывают более 10% посевной площади (административной области или страны) при сохранении в течение 10 дней и более относительной влажности воздуха днем 30% и менее и при запасах влаги в пахотном слое почвы менее 10 мм.

Заморозок считается особо опасным, если он наблюдается в вегетационный период на площади 25% и более применительно ко всей посевной площади технических, овощных, плодовых и других культур, возделываемых в пределах той или иной административной области или одной из стран СНГ. При комплексной оценке агроклиматических условий перезимовки озимых зерновых культур к плохим и очень плохим относят зимы, при которых площадь погибших озимых составляет 20-30%.

Пыльные бури повреждают почвенный покров, перемещая плодородный поверхностный слой, повреждают почвенный покров, перемещая плодородный поверхностный слой почвы. Меры борьбы с пыльными бурями складываются из создания лесных полезащитных полос и кулис на полях, введение почвозащитного и полосного размещения культур в севообороте, посева многолетних и однолетних трав.

Градобитие уничтожает урожай культурных растений. Борьба с градобитием заключается в активном воздействии на процессы образования града в облаке. Она наиболее усиленно проводится в Молдове, на юге Украины и на Кавказе.

Наибольший ущерб сельскому хозяйству в разных регионах СНГ наносят засуха и зимняя гибель озимых зерновых, а также значительное повреждение опасными морозами плодовых культур и винограда в период их перезимовки. Существенно снижают урожай ряда однолетних и многолетних культур опасные заморозки в результате их повреждения в период активной вегетации.

Глава 8 МЕТОДЫ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ МОРОЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ЗИМУЮЩИХ КУЛЬТУР

8.1 Опасные агрометеорологические условия перезимовки сельскохозяйственных культур

В зимний период на обширной территории СНГ наблюдаются различные опасные явления для озимых и древесных растений. Достигая в том или ином районе значительной интенсивности, они повреждают или губят растения. В результате урожай резко снижается или полностью погибает. Агроклиматическое изучение условий перезимовки дает представление о том, какие опасные явления наблюдаются в данных климатических условиях, какова их частота и интенсивность, как часто можно ожидать повреждения и гибели зимующих культур. Эти сведения используются при решении вопросов рационального размещения культур по территории, а также при разработке мер по улучшению условий перезимовки.

В зимний период на территории СНГ могут возникать следующие опасные агрометеорологические явления:

сильный мороз, приводящий к вымерзанию посевов и обмерзанию древесных растений, длительные оттепели, обуславливающие уменьшение закалки зимующих культур;

ледяная корка, приводящая к повреждению или гибели озимых культур;

гололед и другие ледяные отложения на деревьях, вызывающие механическое повреждение ветвей;

застой воды на полях с озимыми, обуславливающий их гибель от вымокания;

мощный снежный покров, способствующий выпреванию озимых и т.д.

Физическая сущность и условия образования этих явлений рассматриваются в курсе «Сельскохозяйственная метеорология» [77]. Следует отметить, что не все указанные явления достаточно хорошо изучены, поскольку некоторые из них сложны по своей природе. В различных климатических условиях озимые и древесные культуры повреждаются или гибнут от разных причин, иногда накладывающихся одна на другую. Степень повреждения зимующих культур опасными явлениями и, прежде всего, низкими температурами бывает разной в различные годы и в разные периоды зимы одного года. Это объясняется состоянием растений и их зимостойкостью, сильно изменяющейся в течение зимы и от года к году. Поэтому, прежде чем разбирать агроклиматические условия перезимовки, рассмотрим несколько

подробнее физические и биологические основы зимостойкости растений. Это тем более обосновано, что с зимостойкостью связана реакция растений на многие из указанных опасных явлений.

8.2 Зимостойкость и морозостойкость растений

Под зимостойкостью растений понимают их способность противостоять неблагоприятным условиям зимы. Зимостойкость – широкое понятие, сюда входят морозостойкость и холодостойкость растений, их устойчивость к выпреванию, выпиранию и вымоканию, воздействию ледяной корки.

Зимостойкость качество развивается у растений в результате процесса закаливания в конце осени. Под воздействием метеорологических факторов закаливание растений проходит две фазы (у злаков оно происходит только в период прохождения стадии яровизации). Для первой фазы, протекающей примерно 15 дней, на свету, лучшими условиями закаливания являются солнечная погода при средней суточной температуре воздуха от 6 до 0 °С (дневная температура порядка 10-15 °С, а ночная – несколько ниже 0 °С) и хорошая обеспеченность почвы влагой. В это время в организме озимых растений происходят физиологические изменения, приводящие к образованию и накоплению сахаров в тканях и особенно в точках роста, узлах кущения. Кроме того, образуется ряд других органических веществ, которые, так же как и сахара, обладают защитными свойствами. В результате к концу осени начинает возрастать устойчивость озимых к морозам и другим вредным явлениям.

После завершения первой фазы в растениях протекает вторая фаза закаливания, которая заканчивается за 5-7 дней (при морозах от -5 до -8 °С). В это время закаливания благоприятна сухая погода при некотором иссушении почвы. В растениях при такой погоде происходит перекачка воды из клеток в межклеточные пространства. Протоплазма несколько обезвоживается, но повышается концентрация защитных веществ в клетке, что приводит к резкому возрастанию зимостойкости и морозостойкости. Так как погодные условия осенью из года в год резко меняются, то из года в год существенно изменяется зимостойкость одних и тех же сортов сельскохозяйственных культур.

Зимостойкость плодовых культур определяется не только агрометеорологическими условиями осени, но и такими факторами как величина урожая, время созревания плодов, время опадания листьев и др. Последние исследования физиологов показали, что закаливание многолетних древесных растений также происходит в два этапа. Первый этап закаливания благоприятно протекает при температуре воздуха несколько выше 0 °С, а второй – при более низких отрицательных температурах воздуха.

Под морозостойкостью понимают способность растений противостоять низким отрицательным температурам (морозам) в зимнее время года. Согласно исследованиям Н.А. Максимова [95] доказано, что первопричиной губительного действия мороза является полное нарушение структуры протоплазмы в клетках растений. Последнее обусловлено совместным действием обезвоживания протоплазмы и механическим давлением образовавшегося льда. Морозостойкость зависит от многих факторов, как внутренних, так и внешних. Морозостойкость растений неодинакова и зависит от их вида и климатических условий той или иной географической зоны.

Обязательным условием при агроклиматической оценке условий перезимовки сельскохозяйственных культур является учет их морозостойкости, т.е. устойчивости растений к низким отрицательным температурам в зимний период. В настоящее время лучше всего изучен вопрос о морозоопасности злаковых и плодовых культур, включая виноград. Это объясняется тем, что наиболее распространенной причиной повреждения и гибели этих культур является вымерзание в морозоопасные зимы. Оно происходит в результате понижения температуры почвы на глубине узла кущения озимых культур и температуры воздуха на уровне метеорологической будки применительно к плодовым культурам, до пределов, равных или ниже так называемой «критической температуры» вымерзания растений. Согласно исследованиям В.Н. Степанова [95], озимые травянистые культуры по степени их морозостойкости можно условно разделить на три группы:

- 1) озимые культуры и многолетние травы высокой морозостойкости, способные переносить температуры ниже -20°C и до -24°C на глубине узла кущения (озимая рожь, тимopheевка луговая);
- 2) озимые культуры средней морозостойкости, переносящие температуры до $-15 - 20^{\circ}\text{C}$ (озимая пшеница, ежа сборная, райграс, клевер позднеспелый, люцерна синяя);
- 3) озимые культуры и многолетние травы слабой морозостойкости, не способные переносить температуру ниже $-10 - 15^{\circ}\text{C}$ (малозимостойкие сорта озимой пшеницы, ячмень, клевер).

Следует иметь в виду, что в отдельные годы в зимний период морозоустойчивость озимых культур сильно колеблется. Динамика морозостойкости у всех озимых культур и их сортов подчиняется определенной закономерности, обусловленной сезонным ходом температуры воздуха и верхнего слоя почвы. При понижении температуры воздуха осенью и в первой половине зимы она у всех сортов повышается, в середине зимы достигает максимального значения, а затем, при повышении температуры воздуха и почвы во второй половине зимы и особенно весной падает. Согласно исследованиям В.М. Личикаки [53] «Критическая температура» вымерзания озимых культур зависит от

значения минимальной температуры почвы ($\bar{T}_{мп}$) на глубине узла кущения. Наименьшие значения $\bar{T}_{кр}$ вымерзания бывают при средних значениях ее от перехода её через 0 °С до даты определения $\bar{T}_{кр}$ °С (табл.8.1).

Таблица 8.1 – Критическая температура вымерзания ($\bar{O}_{ед}$) озимых культур в зависимости от средней из минимальных температур почвы ($\bar{T}_{мп}$) на глубине узла кущения

$\bar{T}_{мп}$	Озимая пшеница с морозостойкостью (°С)			Озимая рожь	Озимый ячмень
	выше средней	средней	ниже средней		
0	-14,0	-14,0	-12,0	-14,0	-9,2
-0,6	-15,2	-15,1	-13,1	-15,5	-11,0
-4,2	-16,6	-16,1	-14,1	-16,8	-12,4
-1,8	-17,7	-16,9	-14,9	-18,3	-13,5
-2,4	-18,8	-17,7	-15,7	-19,5	-14,3
-3,0	-19,6	-18,3	-16,3	-20,7	-14,6
-3,6	-20,3	-18,7	-16,7	-21,8	-14,8
-4,2	-20,8	-19,1	-17,1	-22,7	—
-4,8	-21,2	-19,2	-17,2	-23,4	—
-5,4	-21,6	-19,4	-17,4	-24,2	—
-6,0	-22,0	-19,5	-17,5	-24,9	—

Примечание. $\bar{T}_{мп}$ – среднее значение минимальной температуры почвы на глубине узла кущения от даты перехода ее через 0 °С до даты определения $\bar{T}_{кр}$ (°С).

Морозостойкость древесных растений значительно варьирует в больших пределах. Например, кедр сибирский переносит морозы ниже -50 °С; а лимон в субтропической зоне СНГ не переносит температуру воздуха ниже -8 °С. Плодовые культуры и виноград повреждаются и гибнут зимой как при воздействии отрицательной температуры воздуха, так и при действии отрицательной температуры на корневую систему, расположенную на глубине почвы 20-40 см. Критические температуры для этих культур приведены в табл. 8.2. Из нее видно, что наибольшей морозостойкостью обладает яблоня, а наименьшей – виноград и миндаль. Например, надземная часть среднерусских сортов яблони повреждается при отрицательных температурах воздуха -35, -40 °С, а южные сорта –

при -30°C . Наиболее нежные сорта груши выдерживают морозы до $-25,-30^{\circ}\text{C}$. Большинство сортов слив выдерживают морозы до $-25,-28^{\circ}\text{C}$. Для абрикосов критическая температура составляет $-25,-28^{\circ}\text{C}$, а для надземной части персиков – $-23,-25^{\circ}\text{C}$. Сорта винограда очень слабой морозостойкости выдерживают морозы до $-16,-17^{\circ}\text{C}$, средней – до $-20,-21^{\circ}\text{C}$, высокой – до $-22,-23^{\circ}\text{C}$. (табл.8.2).

Таблица 8.2 – Критические температуры для плодовых культур и винограда

Культура	$\bar{T}_{кр} (^{\circ}\text{C})$	
	надземной части	корневой системы
Яблоня:		
среднерусские сорта	-35,-40	-12,-15
южные сорта	-30	-10,-12
Груша европейского сорта	-25,-30	-9,-10
Вишня	-30	-14,-15
Черешня	-25,-30	-14,-15
Слива	-25,-30	-14,-15
Абрикос	-25,-28	-11,-12
Персик	-23,-25	-10,-12
Айва	-25	
Грецкий орех	-23,-25	-10,-12
Виноград, европейские сорта	-16,-23	-7,-9
Миндаль	-18,-22	

Цитрусовые культуры, распространенные в субтропической зоне СНГ разделены Г.Т. Селяниновым [97] по степени морозостойкости на следующие группы:

- 1) слабоморозостойкие – лимон, итальянский мандарин, итальянский апельсин (холодостойкость выше -4°C);
- 2) маломорозостойкие – мандарин Уншиу, апельсин Вашингтон-Навел, грейпфрут Дункан, финик и др. (морозостойкость $-4,-6^{\circ}\text{C}$);
- 3) среднеморозостойкие – чай китайских сортов, маслина, инжир, фейхоа (морозостойкость $-6,-8^{\circ}\text{C}$);
- 4) высокоморозостойкие – хурма японская, гранат, инжир зимостойких сортов (морозостойкость $-8,-10^{\circ}\text{C}$);
- 5) наиболее морозостойкие сорта многолетних (морозостойкость ниже -10°C).

Все приведенные выше данные по плодовым культурам характеризуют морозостойкость кроны. Помимо этого показателя, важно знать критическую температуру корневой системы, так как гибель многих сортов плодовых может происходить не только при повреждении их

надземной части низкими температурами, но и при повреждении корневой системы. Морозостойкость корневой системы значительно меньше, чем кроны (табл.8.2). Этим можно объяснить, в частности, те известные в практике факты, когда крона оставалась живой, а погибала корневая система растений. На территории СНГ случаи гибели корневой системы плодовых нередки. Чаще всего повреждения возникают в районах с недостаточным снежным покровом. Такие случаи неоднократно наблюдались в юго-восточных районах России и Украины.

8.3 Агроклиматическая оценка условий морозоопасности применительно к территории СНГ

При агроклиматической оценке условий перезимовки все зимующие культуры делят на две группы: 1) древесные и кустарниковые, у которых при неблагоприятных условиях повреждаются преимущественно надземные части растений; 2) травянистые (озимая рожь, озимая пшеница, озимый ячмень, многолетние травы и т.д.), у которых неблагоприятными условиями повреждаются подземные части растений. Она складывается из количественной характеристики опасных явлений: вымерзания, действия ледяной корки, вымокания и др. Оценка условий перезимовки имеет большое значение при решении вопросов рационального размещения культур по территории, а также для обоснования агротехнических и защитных мероприятий по улучшению условий перезимовки.

8.3.1 Вымерзание

Агроклиматические показатели, применяемые для оценки условий вымерзания сельскохозяйственных культур в зимний период, отличаются большим разнообразием. Наиболее часто используются такие показатели, как средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ($\bar{O}_i$) и почвы ($\bar{O}_{II}$), сумма отрицательных температур ниже 0, -5, -10 °С, температура самого холодного месяца $\bar{O}_o$, высота снежного покрова (H), глубина промерзания почвы (h). Дополнительными показателями могут быть: число дней со снежным покровом, даты появления и схода снежного покрова, продолжительность холодных периодов с температурой воздуха ниже 0, -5, -10 °С.

Гибель и повреждение растений при вымерзании происходит не в результате действия низкого среднего уровня температуры, а действия минимальной температуры несколько ниже критической величины. Таким образом, о возможности повреждения зимующих культур можно судить по абсолютному минимуму температуры воздуха или почвы, но применять его для сравнительной оценки условий морозоопасности затруднительно.

Поэтому в качестве одного из основных показателей условий перезимовки применительно к вымерзанию растений используют не средние температуры самого холодного месяца, а средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ($\bar{O}_i$). Этот показатель впервые был предложен Г.Т. Селяниновым [92]. Для нахождения $\bar{O}_i$ абсолютные минимум температуры воздуха по годам алгебраически суммируются, полученный результат делится на число лет наблюдений.

Исследованиями Селянинова и его сотрудников выявлено, что изолинии определенных значений средних абсолютных минимумов температуры воздуха хорошо совпадают с северными границами возможного произрастания ряда многолетних культур. Исходя из этого, за границу возможного возделывания культуры винограда без укрытия принята изолиния $\bar{O}_i$, равная -15°C . Граница наиболее морозостойких субтропических культур (инжир, хурма и пр.) определяется изолинией -10°C , цитрусовых (мандарины) -5°C и т.д.

Общая характеристика условий перезимовки плодовых культур в зависимости от среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ($\bar{O}_i$) для территории СНГ и стран Балтии дана в табл.8.3. В ней выделено восемь типов зимы – от очень мягкой ($\bar{O}_i$ выше -10°C) до очень суровой ($\bar{O}_i$ ниже -45°C). Здесь же приведена повторяемость зим с абсолютным минимумом температуры ниже -30°C . Последняя величина опасна для большинства плодовых деревьев. Для Дальнего Востока дана специальная графа с более высокими температурами, учитывающими специфику климата этого региона.

Показателем успешности возделывания плодово-ягодных культур может быть процент занятой ими площади по отношению ко всей посевной площади в конкретном регионе. С.А. Сапожникова и Д.А. Бринкен [4] установили зависимость между $\bar{O}_i$ и процентом площадей под плодово-ягодными насаждениями по отдельным областям, краям и странам на территории бывшего СССР. Эта связь выражается экспоненциальной кривой, описываемой формулой:

$$\lg S = 6,74 - 3,8 \lg \bar{T}_M, \quad (8.1)$$

где S – процент площади под плодово-ягодными насаждениями.

Для данной зависимости характерно резкое уменьшение площади при $\bar{O}_i$ ниже -28°C . Продуктивность плодово-ягодных культур и винограда (сумма продукции на душу населения по экономическим районам) увеличивается к югу по мере снижения морозоопасности зимой. Наиболее высокая продуктивность приходится на Молдову и южные районы Украины.

Таблица 8.3 – Условия перезимовки плодовых деревьев на территории СНГ

Тип зимы (по средним многолетним данным)	$\bar{\theta}_i$, °С СНГ	Вероятность зим с $\theta_i < -30$ °С (%)	$\bar{\theta}_i$, °С Дальний Восток	Культуры, обеспеченные благоприятной перезимовкой
Очень мягкая	>-10	0	–	Субтропические
Мягкая	-10,-20	0	–	Грецкий орех, персик, зимовка винограда без укрытия
Умеренно- мягкая	-20,-25	0-10	–	Абрикосы, южные сорта яблонь, груш, слив, морозостойкие сорта персиков
Умеренно- холодная	-25,-30	10-50	–	Среднеморозостойкие сорта яблонь, груш, слив, морозостойкие сорта абрикосов
Холодная	-30,-35	50-70	-25	Среднерусские и мичуринские сорта яблонь, груш; абрикосы более морозостойких сортов
Очень холодная	-35,-40	70-100	-25,-30	Морозостойкие сорта яблонь, вишен, слив
Суровая	-40,-45	100	-30,-40	Яблони ранетки, более холодостойкие сорта вишен и слив. Стелющиеся формы яблонь
Очень суровая	<-45	100	-40	Наиболее морозостойкие формы тех же культур с применением специальной агротехники

Обычно при изучении условий перезимовки растений применительно к вымерзанию для определенной территории строят карту среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха. Изолинии на карте

проводят с учетом широтных, долготных и высотных градиентов, принимая во внимание и другие физико-географические факторы (форма рельефа, близость моря и т.д.). Эти карты позволяют определить морозоопасность той или иной территории для различных сортов винограда и плодовых культур с учетом их морозостойкости по критическим температурам.

З.А. Мищенко [1, 63] построила ряд агроклиматических карт распределения среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха на территории бывшего СССР и континентов Мира. Как видно из рис. 8.1, ход изолиний $\bar{O}_i$ на территории СНГ и стран Балтии носит почти меридиональный характер. Морозоопасность зимой возрастает в направлении с юго-запада на северо-восток, изменяясь от -20, -24 °C до -56, -60 °C (центральные районы Восточной Сибири). Наиболее высокие значения, порядка -12, -16 °C, характерны для прибрежных районов Черного и Каспийского морей. К карте прилагается серия номограмм обеспеченности для расчета вероятностных характеристик абсолютного минимума температуры воздуха относительно средних многолетних значений. На рис. 8.2 представлены такие номограммы для районов Нечерноземья России. Длина наклонных линий показывает, как исследуемый показатель климата изменяется по территории, а ширина в границах 5% и 95% обеспеченности указывает на изменчивость его во времени.

Если по номограммам обеспеченности получено, что вымерзание культуры в данном месте будет наблюдаться 3 раза в 10 лет, означает ли это, что и частота потери урожая будет в 3-х годах из 10-ти. Исследуя этот важный вопрос, Ф.Ф. Давитая [30] указывает, что для зимующих злаков частота вымерзания равна частоте потери урожая. Для плодовых культур и винограда такой закономерности нет, так как частота потери урожая находится в зависимости от характера погибших органов.

Для территории Украины З.А. Мищенко и С.В. Ляхова [68] выполнили комплексное районирование условий морозоопасности для перезимовки винограда. На карте (рис. 8.3) выделено восемь макрорайонов, различающихся по среднему из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ($\bar{O}_i$), абсолютному минимуму температуры с 10% обеспеченностью ($\bar{O}_i$), температуре самого холодного месяца (T_x), продолжительности холодного периода с температурой воздуха ниже 0 °C ($N_{хп}$) и суммам отрицательных температур воздуха ниже 0 °C ($\Sigma T_c < 0$ °C). К агроклиматической карте прилагается легенда в виде табл. 8.4 с количественной оценкой показателей морозоопасности, а также ряд номограмм обеспеченности возможных T'_M относительно средних многолетних значений. Основываясь на учете морозостойкости пяти

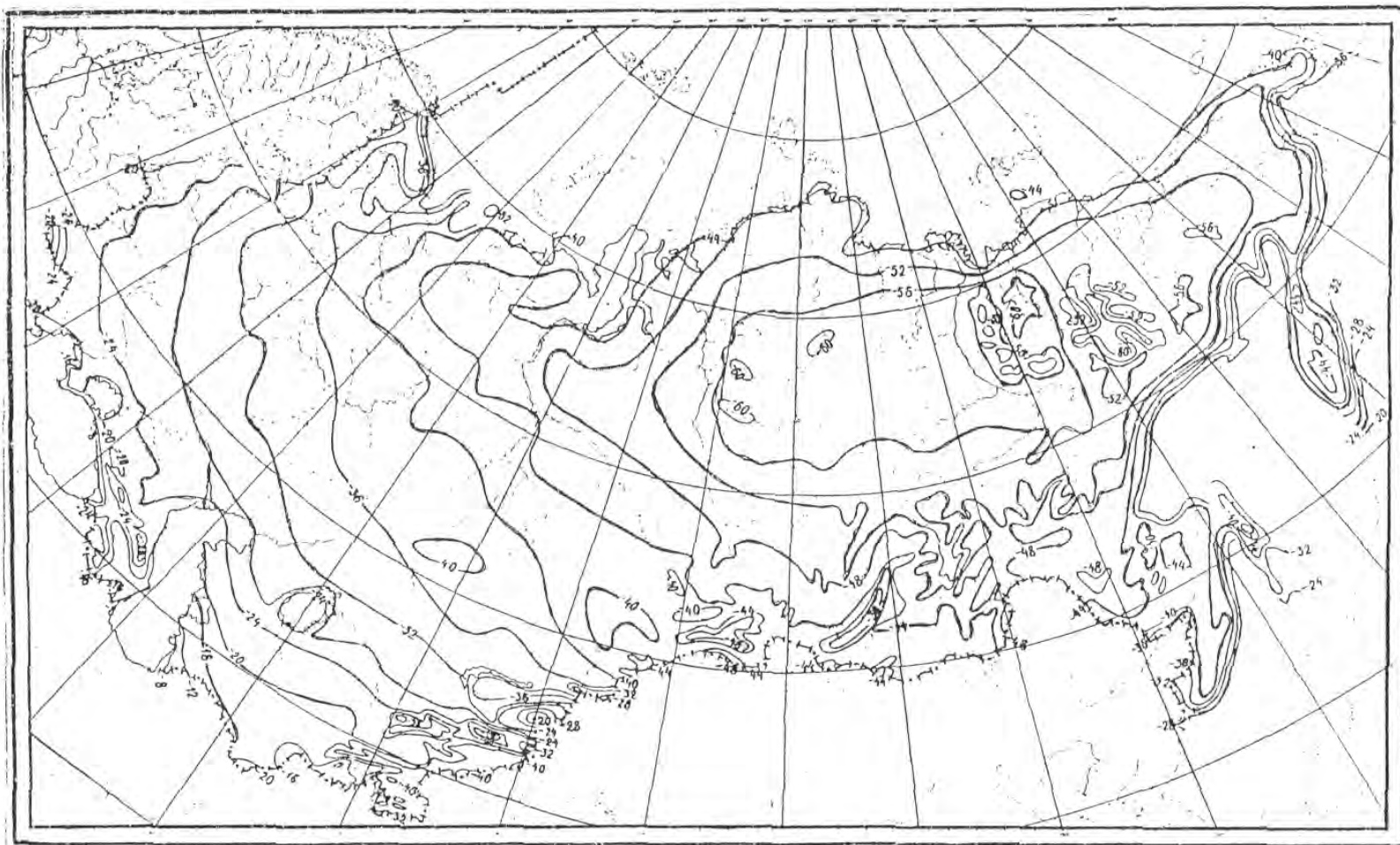


Рис.8.1 – Распределение среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ($\bar{O}_i$) на территории Содружества Евроазиатских независимых государств

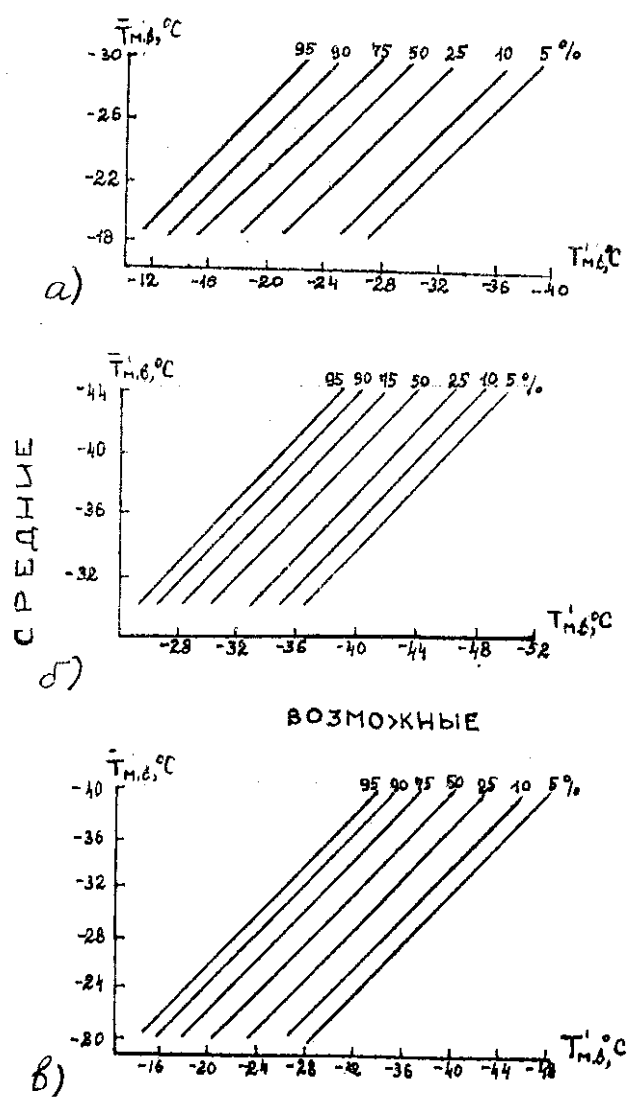


Рис.8.2 – Номограммы для расчета возможных T'_M различной обеспеченности в зависимости от средних многолетних $\bar{O}_M$ на территории Нечерноземья России.

Районы: а) Северо-западный; б) Северный; в) Центральный и Южный.

групп сортов винограда и значениях опасных морозов с 10-20% обеспеченностью, даны рекомендации по оптимизации размещения неукрывных и укрывных виноградников с учетом микроклимата сложного рельефа в различных регионах страны.

Изучением условий вымерзания растений, применительно к их корневой системе, занимались многие исследователи. Например, Ф.Ф. Давитая [30] показал, что средний из абсолютных годовых минимумов температуры почвы на глубине 20-25 см ($\bar{O}_{II}$) является показателем условий перезимовки корневой системы многих древесных

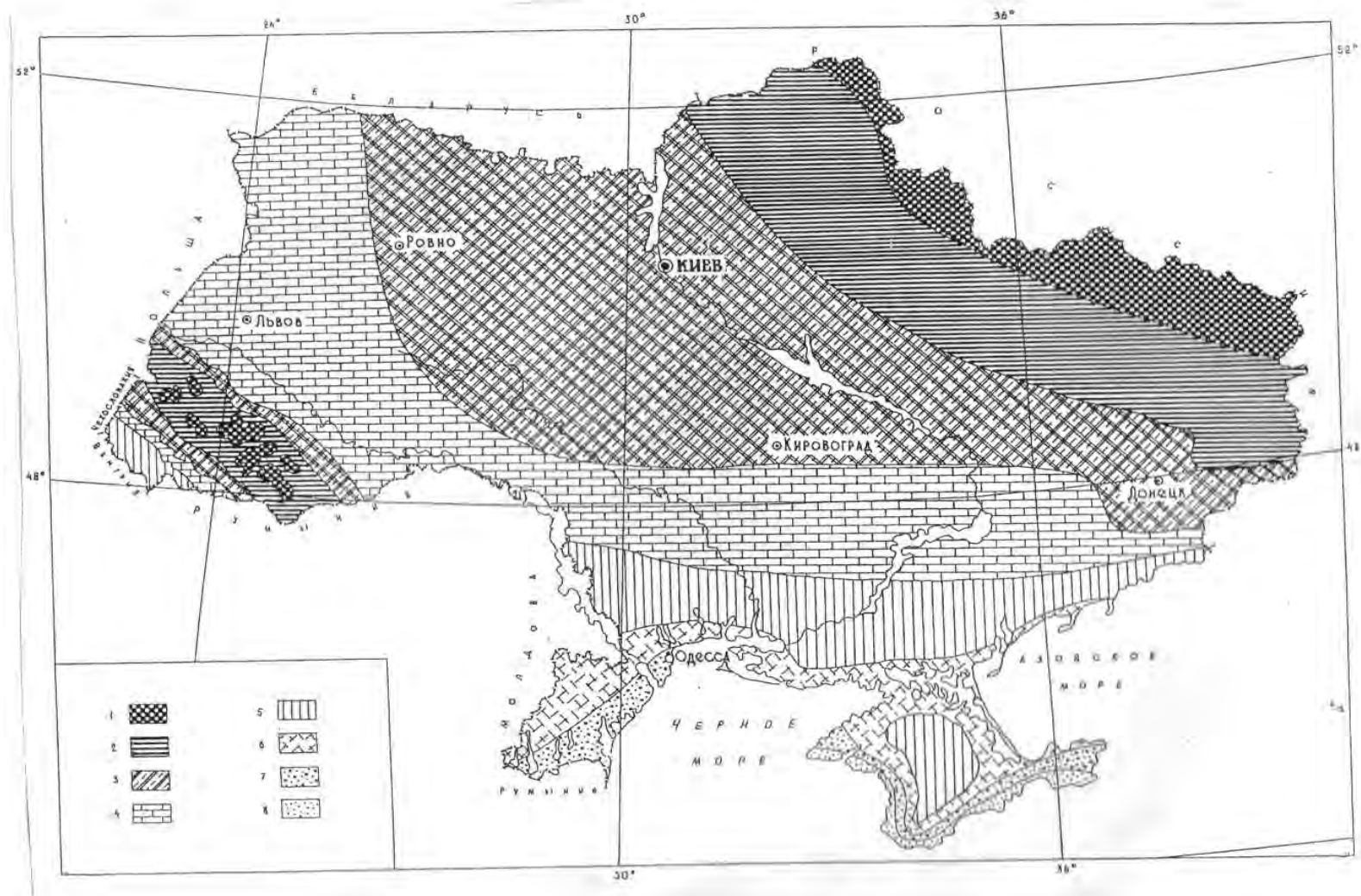


Рис.8.3 – Комплексное агроклиматическое районирование условий морозоопасности для перезимовки винограда на территории Украины. Макрорайоны 1-8 (см. легенду к карте в табл. 8.4).

Таблица 8.4 – Агроклиматическая оценка условий морозоопасности зимой на территории Украины

Макрорайон, тип зимы	$\bar{T}_M, ^\circ\text{C}$	$T'_M, ^\circ\text{C}$	$T_X, ^\circ\text{C}$	$N_{ХП}, \text{ дни}$	$\Sigma T_c < 0^\circ\text{C}$
1. Умеренно-суровая	≥ -28	≥ -34	≥ -25	≥ 135	≥ -650
2. Очень холодная	-28,-26	-34,-32	-25,-23	135-120	-650,-530
3. Холодная	-26,-24	-32,-30	-23,-21	120-110	-530,-440
4. Умеренно холодная	-24,-22	-30,-28	-21,-19	110-95	-440,-350
5. Умеренно мягкая	-22,-20	-28,-26	-19,-17	95-80	-350,-265
6. Мягкая	-20,-18	-26,-24	-17,-15,5	80-65	-265,-175
7. Очень мягкая	-28,-16	-24,-22	-15,5,-13,5	65-55	-175,-85
8. Теплая	-16,-14	-22,-20	-13,5,-11,6	55-35	-85,-20

растений и винограда. Им была составлена карта распределения $\bar{\theta}_{II}$ на глубине 25 см (рис. 8.4). Наименьшие значения $\bar{\theta}_{II}$ характерны для западных районов (-3, -5 °C). В северных и южных районах $\bar{\theta}_{II}$ не превышает -5,-7 °C и только в Центральном восточном районе средний минимум температуры почвы понижается до -9,-11 °C. На рис. 8.5 приведены кривые обеспеченности, по которым можно рассчитать вероятность наступления низких температур в почве, используя отклонения от $\bar{\theta}_{II}$. Вероятность понижения температуры ниже или выше определенных пределов на глубине 20-25 см рассчитывается для средней части ЕЧ России по кривой – 1, а для стран Балтии, Беларуси, Украины и Казахстана – по кривой 2. Кривая 2 соответствует также распределению среднего из абсолютных годовых минимумов температуры почвы на глубине 40-50 см по всей названной выше территории (по Давитая).

Изучая климат почв и условия перезимовки, озимых на территории бывшего СССР, А.М.Шульгин [120] выделили семь макрорайонов с различными типами зимы по температурному режиму почвы на глубине залегания узла кущения (3 см). Как видно из табл.8.5, средний из абсолютных годовых минимумов температуры изменяется от -4, -8 °C (отличные условия перезимовки озимых) до -28, -32 °C (очень плохие условия перезимовки).

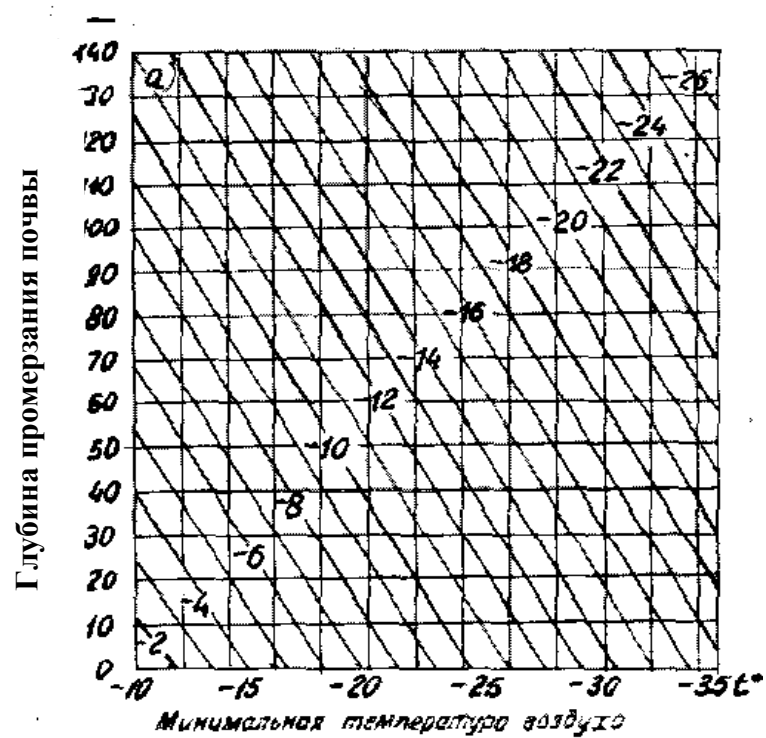
На условия перезимовки существенное влияние также оказывают сроки сева озимых, что необходимо учитывать в агроклиматических расчетах. Оптимальным сроком сева озимой пшеницы следует считать тот, при котором за период посев-прекращение вегетации (переход температуры через 5 °C осенью) накопилась сумма эффективных средних суточных температур 300 °C (при условии достаточного увлажнения). При оптимальном сроке сева у озимой пшеницы ко времени прекращения осенней вегетации появляется 4-6 побегов. На северной границе возделывания озимых сеять начинают с 1.08 по 10.08; в пределах Украины с 25.08 по 10.09 (северные районы) и с 15.09 по 30.09 (южные районы); на юге Средней Азии – с 25.10.

Фактических наблюдений за минимальной температурой почвы на глубине узла кущения очень мало. Кроме того, этот показатель характеризуется большой пространственной изменчивостью из-за различий в механическом составе почв. Поэтому ряд исследований посвящен разработке методов расчета $\bar{\theta}_{II}$ на глубине залегания узла кущения озимых культур. Эти исследования основаны на установлении зависимости температуры почвы на глубине 3 см от минимальной температуры воздуха, высоты снежного покрова и глубины промерзания почвы.

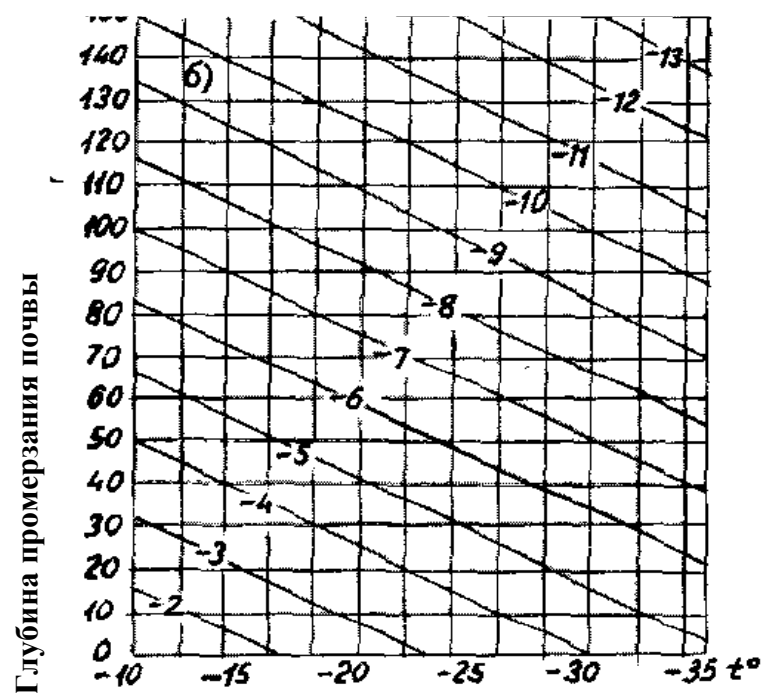
Например, В.А.Моисейчик [62] на основе экспериментально установленных зависимостей предложила ряд формул для расчета $\bar{\theta}_{II}$ на

Таблица 8.5 – Оценка климатических условий перезимовки озимых культур по температуре почвы на территории СНГ

Район климата почвы	Снежные мелиорации	Оценка условий перезимовки озимых культур	Абсолютный минимум температуры			Вероятность температуры в отдельные зимы (%)			
			средний	наиболь- ший	наимень- ший	выше - 5 °С	-5,-15 °С	ниже - 16 °С	ниже -20 °С
1. Очень мягкий	Не требуются	Отличные	-4,-8	-1,-3	-11,-14	10-20	80-90	-	-
2. Мягкий	Требуются в отдельные зимы	Хорошие	-8,-12	-1,-8	-12,-20	5-10	70-90	5-20	5
3. Умеренно холодный	Требуются во многие зимы	Удовлетвори- тельные	-12,-16	-2,-10	-20,-22	-	50-80	20-50	5-20
4. Холодный	Требуются в большинстве зим	Ниже удовлетвори- тельных	-16,-20	-10,-15	-20,-30	-	20-50	50-80	20-50
5. Очень холодный	Требуются ежегодно	Плохие	-20,-24	-12,-17	-25,-30	-	10-20	80-90	50-70
6. Суровый	То же	Плохие	-20,-28	-15	-30	-	-	100	70-80
7. Очень суровый	То же	Плохие	-28,-32	-15	-35	-	-	100	100



Минимальная температура воздуха



Минимальная температура воздуха

Рис.8.6 – Зависимость минимальной температуры почвы на глубине залегания узла кущения озимых от минимальной температуры воздуха и глубины промерзания почвы при высоте снежного покрова 5 см (а) и 10 см (б) (по В.А. Моисейчик)

глубине узла кущения озимых культур по минимальной температуре воздуха для юго-востока Черноземной зоны России. При отсутствии снежного покрова для глубины промерзания почвы менее 30 см уравнение регрессии имеет вид:

$$\dot{O}_{II} = 0,76 \dot{O}_I + 2,88 \quad r=0,90 \quad (8.2)$$

При образовании на полях снежного покрова зависимость между $\dot{O}_{II}$ и $\dot{O}_I$, глубиной промерзания почвы (H) и высотой снежного покрова определялась путем проведения корреляционного анализа и установления уравнений множественной регрессии. Они имеют следующий вид для высоты снежного покрова (h) 5 см, 10, 15 и 20 см

$$\dot{O}_{II} = 0,64 \dot{O}_I - 0,7H + 5,2 \quad \text{при} \quad h = 5 \text{ см} \quad (8.3)$$

$$\dot{O}_{II} = 0,25 \dot{O}_I - 0,06H + 0,48 \quad \text{при} \quad h = 10 \text{ см} \quad (8.4)$$

$$\dot{O}_{II} = 0,17 \dot{O}_I - 0,60H + 1,9 \quad \text{при} \quad h = 15 \text{ см} \quad (8.5)$$

$$\dot{O}_{II} = 0,12 \dot{O}_I - 0,05H + 1,56 \quad \text{при} \quad h = 20 \text{ см} \quad (8.6)$$

Для упрощения расчетов построены графики зависимости $\dot{O}_{II}$ от $\dot{O}_I$ и H при определенной высоте снежного покрова (рис.8.6).

8.3.2 Ледяная корка

На территории СНГ ледяная корка образуется весьма часто. Особенно она распространена в центральных районах Европейской части. В отдельные годы ледяная корка является причиной значительного повреждения или гибели озимых культур по данным Окушко А.Н. [95] наиболее часто на ЕЧ СНГ образуется притертая ледяная корка. Из всех рассмотренных случаев в 14% она покрывала поле сплошь, а в 86% залегала местами. Чаще всего ледяная корка образуется в феврале и марте и очень редко в ноябре и апреле.

Максимальная толщина притертой ледяной корки может достигать значительных размеров (до 15 см.). Пространственная изменчивость толщины притертой к почве ледяной корки весьма велика. Максимальная толщина ее более 8 см. бывает лишь в отдельных и очень незначительных по площади районах. На больших площадях ледяная корка максимальной за зиму толщины (более 5 см.) достигает в северо-восточных и восточных

областях центральной зоны ЕЧ СНГ и иногда в северной части Украины. Но наиболее часто максимальная толщина притертой ледяной корки не превышает 2 см. (в 90% всех случаев); толщина ее, равная 3-4 см, бывает в 12% случаев.

На рис. 8.7 представлены карто-схемы, повторяемости лет с притертой ледяной коркой и максимальной продолжительностью залегания ее по количеству декад на территории ЕЧ СНГ, составленные А.А. Окушко. Более чем в 70% лет притертая к почве ледяная корка на полях с озимыми повторяется в северных и центральных районах Украины, в центральной черноземной зоне, на юге центральной нечерноземной зоны России, в Волгоградской и Саратовской областях. В 50-70% лет она бывает в большинстве остальных районов Украины (кроме юго-западных), в западных, восточных и отчасти южных районах России, а также Беларуси.

Максимальная продолжительность залегания притертой к почве ледяной корки на полях с озимыми культурами колеблется в значительных пределах – от 10-ти дней до пяти месяцев. Она не превышает семи декад на Украине, в Молдове, Ростовской и Астраханской областях России, на Северном Кавказе и в Закавказье. На остальной территории по мере продвижения с юга на север максимальная продолжительность залегания ледяной корки увеличивается от восьми до семнадцати декад.

Повреждение озимых притертой ледяной коркой чаще всего наблюдается при ее толщине более 5 см. Причем в таких случаях большое значение имеет рельеф местности. Повторяемость гибели более 10% озимых культур от действия притертой к почве ледяной корки на ЕЧ СНГ составляет для ржи 5%, для пшеницы 9% от общего числа случаев с повреждением растений. Таким образом, притертая ледяная корка большой толщины наиболее часто образуется на полях в районах, где основной озимой культурой является пшеница, поэтому она и повреждается сильнее, чем озимая рожь.

8.4 Снежный покров и его влияние на условия перезимовки растений

Снег оказывает существенное влияние на условия перезимовки растений, является важным источником почвенной влаги, определяет многие черты климата почв в холодное время года. Основными метеорологическими элементами, оказывающими влияние на перезимовку растений, является температура воздуха и снежный покров в их определенных соотношениях. Резко пониженные температуры воздуха при малом снежном покрове или высокие температуры воздуха при избыточном снежном покрове нередко приводят к гибели зимующих культур. Имеют место повреждения растений и при других соотношениях

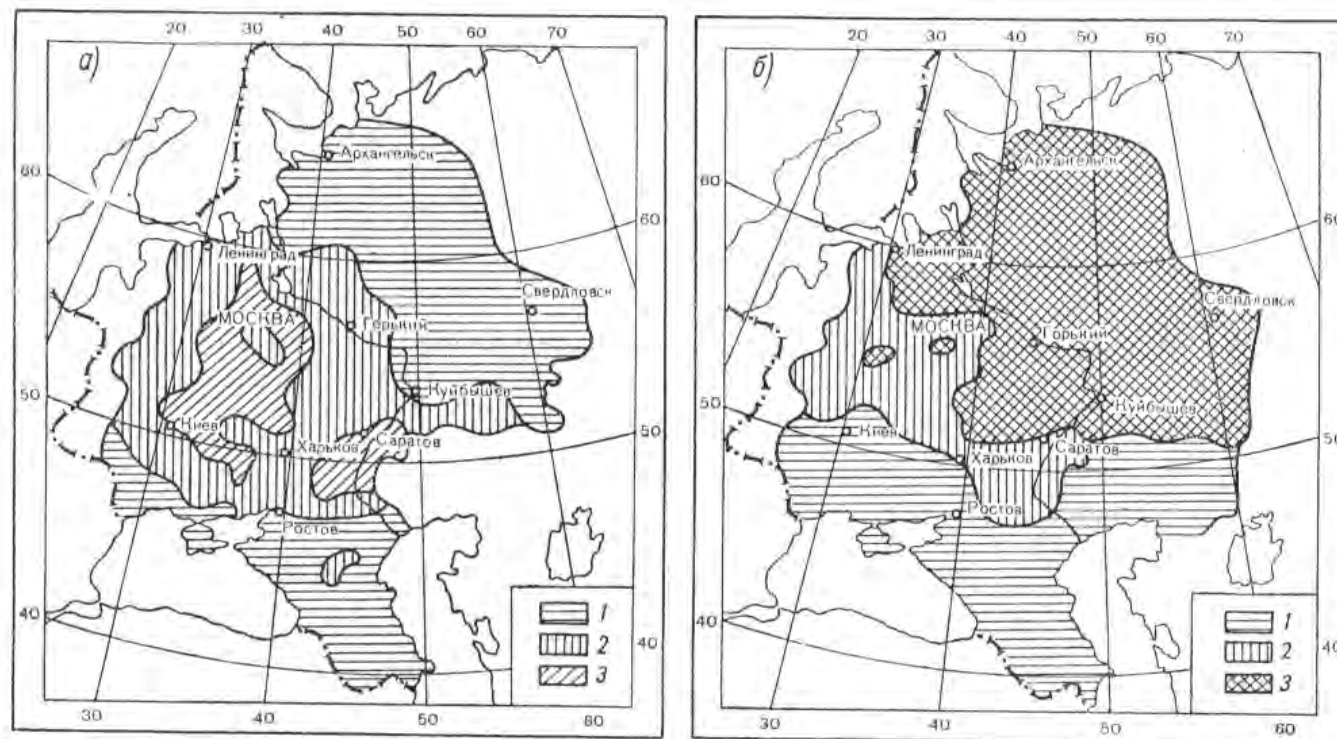


Рис.8.7 – Повторяемость лет с притертой к почве ледяной коркой (а) и максимальная продолжительность залегания притертой к почве ледяной корки (б).

Повторяемость, % лет: 1 – < 50%, 2– от 50 до 70%, 3 –>70%.

Продолжительность декады: 1 – от 1 до 7; 2– от 8 до 12; 3– от 13 до 18.

этих двух элементов климата, если они существенно отличаются от типичных для конкретной зоны или района.

Характеристиками снежного покрова применительно к условиям перезимовки растений являются: высота, распределение по площади, даты образования и схода, динамика накопления, продолжительность периода с устойчивым залеганием. Снежный покров в силу своих физических свойств обладает слабой теплопроводностью, благодаря чему почва, покрытая снегом, защищена от резких колебаний температуры, а зимующие растения – от вредного воздействия низких температур.

Исследования А.М. Шульгина [120] на Алтае и В.А. Моисейчик [71] в Казахстане выявили зависимость гибели озимых культур (вследствие вымерзания) от высоты снежного покрова на поле. Например, Шульгин получил следующие данные:

Высота снежного покрова (см).....	5,	15,	20,	25-30
Гибель растений (%)	40	14	4	0

Многие исследования показали, что для хорошей перезимовки озимых культур в южных районах ЕЧ СНГ необходим снежный покров высотой до 20 см, в юго-восточных и северных районах до 30 см, в Западной Сибири до 40 см (в более суровые по температурному режиму зимы до 50 см). В условиях Алтая благополучная перезимовка наблюдается при высоте снежного покрова в 30-40 см., а в суровые зимы – при высоте 60-70 см. В то же время снежный покров, превышающий 60-70 см, не является необходимым для хорошей перезимовки озимой ржи и пшеницы во многих районах. В некоторых случаях он вызывает даже повреждения, особенно при аномально повышенном температурном режиме зимы (выпревание).

На рис. 8.8 и 8.9 представлены климатические карты распределения средних высот снежного покрова на территории бывшего СССР в третью декаду января, построенные И.Д. Копаневым [49]. Высота снежного покрова существенно изменяется с севера на юг от 40-60 см до 109 см и менее, а также в направлении с запада на восток от 10-20 см до 60-80 см. Средняя продолжительность залегания снежного покрова более значительно изменяется в географическом разрезе, уменьшаясь в направлении с севера на юг от 200-240 дней до 20 дней (ЕЧ СНГ) и от 260-280 дней до 140 дней (АЧ СНГ).

Необходимо отметить, что на время появления снежного покрова, продолжительность его залегания и высоту значительное влияние оказывают местные условия (характер рельефа, лесные полосы, господствующие ветры и т.д.). Как правило, в лесах, лесных полосах, в пониженных формах рельефа, на подветренных склонах снежный покров устанавливается раньше, залегает более длительное время и бывает мощным.

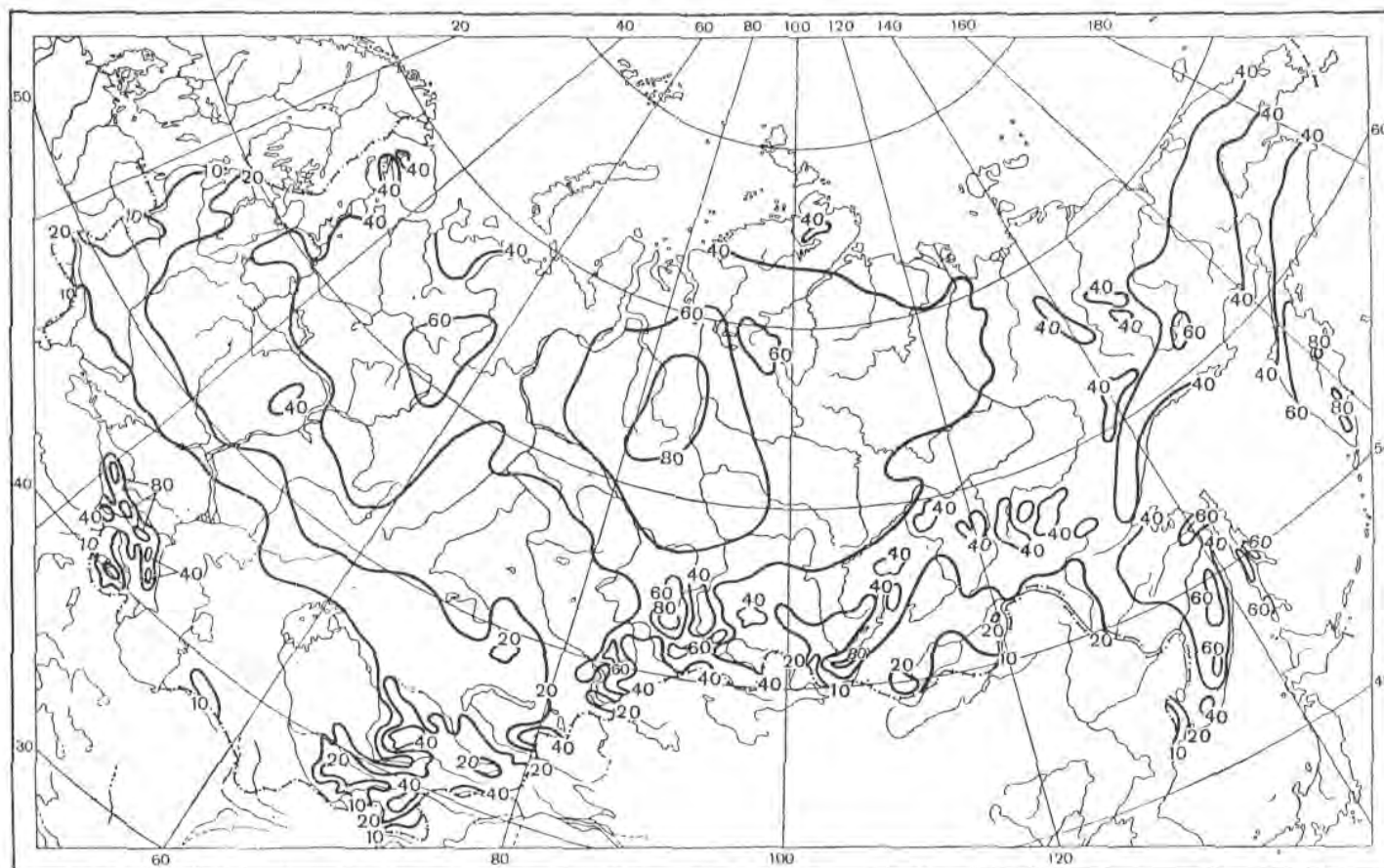


Рис.8.8 – Средняя многолетняя высота снежного покрова за третью декаду января (см).

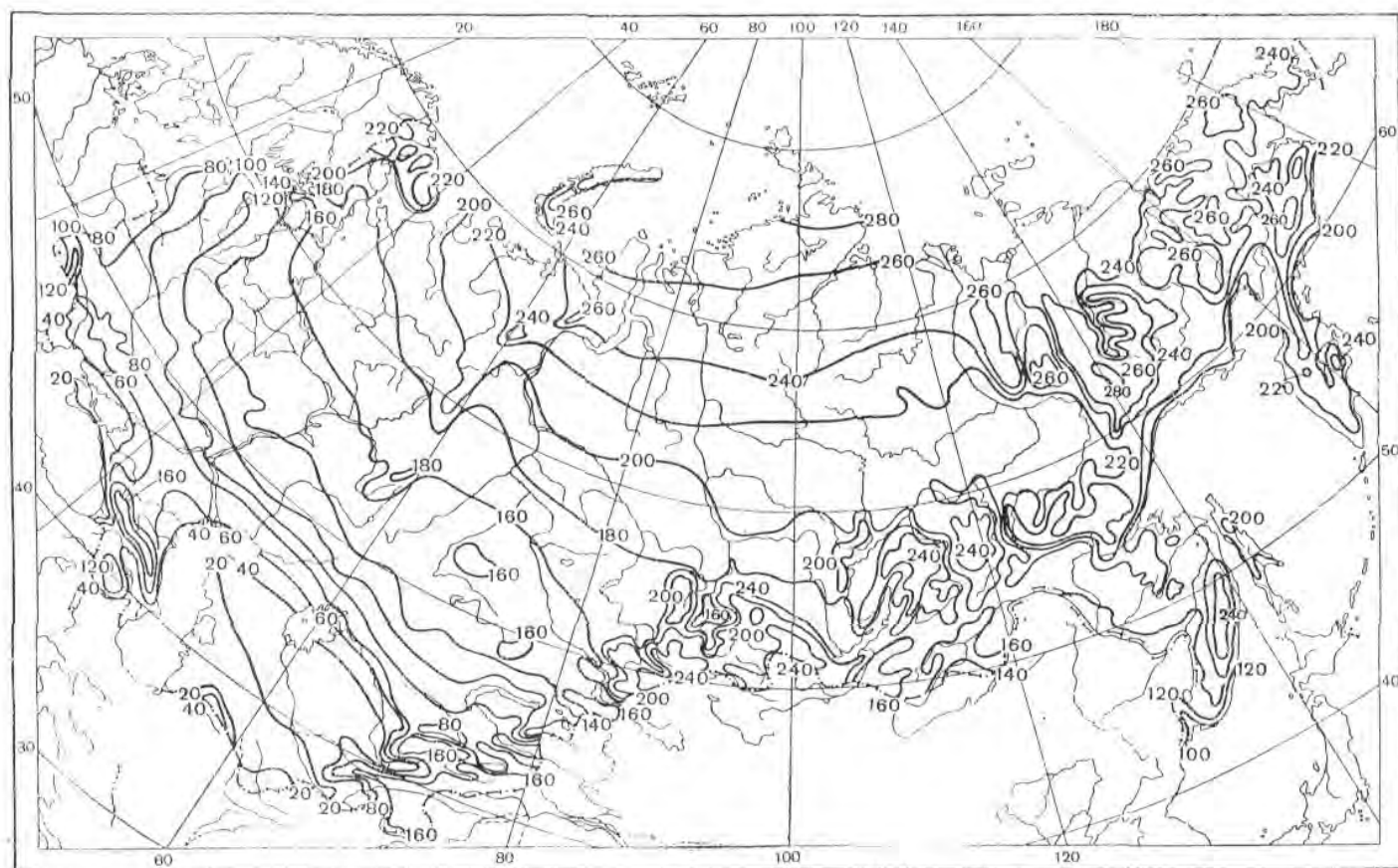


Рис.8.9 – Средняя продолжительность залегания снежного покрова (дни).

В ходе зимовки растений большое значение имеет динамика высоты снежного покрова. В западных, юго-западных и южных районах ЕЧ СНГ, где зима мягкая, снежный покров неустойчив, часто сходит, а затем опять устанавливается. В остальных районах ЕЧ СНГ идет непрерывное нарастание высоты снежного покрова. Наибольшая его высота для большинства районов ЕЧ СНГ и Западной Сибири имеет место к концу зимы и лишь в районах Восточной Сибири максимум приходится на первую половину зимы. Тем самым в первую половину зимы в большинстве районов создаются значительно более суровые условия перезимовки растений, чем во вторую. Поэтому при малом снежном укрытии полей понижение температуры воздуха ниже обычных пределов в первую половину зимы в районах возделывания озимых культур вызывает их повреждение.

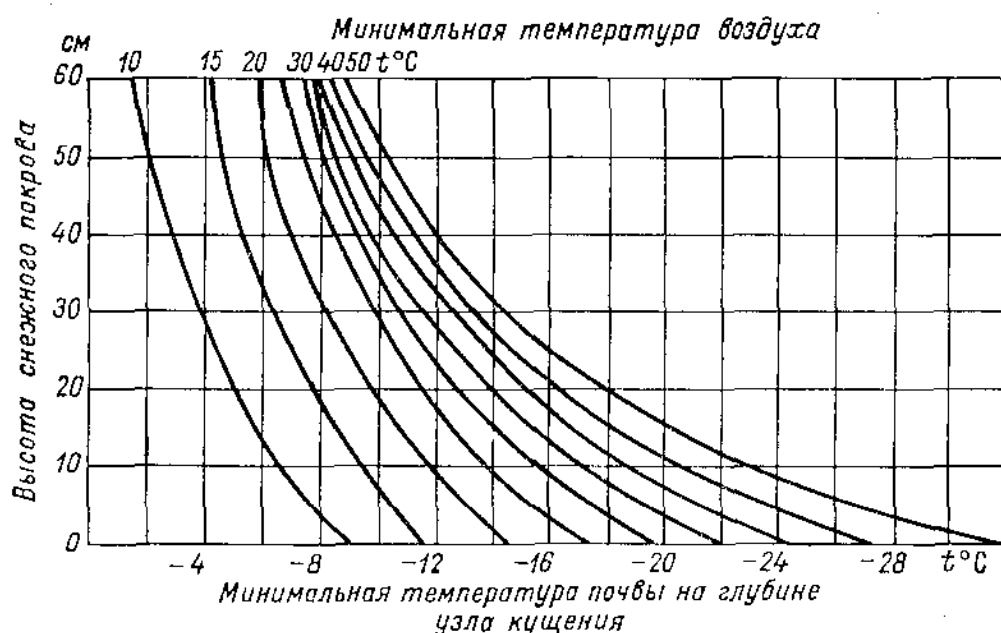


Рис.8.10 – Связь минимальной температуры почвы (3 см) с минимальной температурой воздуха при разной высоте снежного покрова (по А.М.Шульгину).

Защитная роль снежного покрова в перезимовке озимых культур находится в тесной зависимости от уровня минимальных температур воздуха. Различные сочетания их, в конечном счете, определяют значения минимальной температуры почвы на глубине узла кущения озимых (3 см). Так А.М. Шульгин [120] для условий Западной Сибири построил номограмму (рис. 8.10), из которой следует: чем ниже температура воздуха, тем больше защитное действие снежного покрова; чем больше высота снежного покрова, тем при одной и той же температуре воздуха

минимальная температура почвы на глубине 3 см выше. Пользуясь номограммой, можно по температуре воздуха и высоте снежного покрова определить минимальную температуру почвы на глубине узла кущения и оценить условия перезимовки растений в конкретном районе с учетом их морозостойкости.

Терморегулирующее значение снежного покрова при небольшой его высоте (5-20 см) изменяется в зависимости от абсолютного значения минимальной температуры воздуха и глубины промерзания почвы. Из табл.8.6 видно что, например, при $\bar{T}_M = -30^\circ\text{C}$ значения минимальной температуры почвы на глубине узла кущения при глубине промерзания почвы в 50 см составляют при высотах снежного покрова 5, 10, 15, 20 см соответственно -18°C , -7 , -6 , -4°C . Чем ниже температура воздуха, тем больше защитное действие снежного покрова. Чем больше высота снежного покрова, тем выше минимальная температура почвы на глубине 3 см при одной и той же температуре воздуха.

Таблица 8.6 – Минимальная температура почвы на глубине узла кущения озимых культур в зависимости от минимальной температуры воздуха (T_M), глубины промерзания почвы (H) и высоты снежного покрова (h)

$T_M,$ $^{\circ}C$	Высота снежного покрова (h), см														
	0		5			10			15			20			
	Глубина промерзания почвы (H), см														
	30 : 50		30 : 50 : 100			30 : 50 : 100			30 : 50 : 100			30: 50 : 100			
-15	-8	-12	-6	-8	-11	-4	-5	-8	-2	-4	-6	-1	-3	-5	
-20	-12	-16	-10	-11	-15	-4	-6	-8	-3	-4	-8	-3	-4	-6	
-25	-16	-20	-13	-14	-18	-5	-6	-9	-5	-6	-9	-3	-4	-7	
-30	-20	-24	-16	-18	-21	-6	-7	-10	-5	-6	-9	-3	-4	-7	
-35	-24	-28	-19	-21	-24	-7	-8	-11	-6	-7	-10	-4	-5	-8	
-40	-28	-32	-22	-24	-27	-7	-9	-12	-7	-8	-11	-5	-6	-9	

8.5 Комплексные показатели условий перезимовки растений

Для комплексной агроклиматической оценки зимнего периода предложены различные показатели, в том или ином виде учитывающие термический режим и высоту снежного покрова. Например, А.М. Шульгин [120] предложил формулу для расчета показателя суровости зимы (K_c) следующего вида:

$$\hat{E}_{\bar{n}} = \frac{\bar{O}_i}{\bar{N}}, \quad (8.7)$$

где $\bar{T}_M$ – средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха (за месяц, сезон);

C – средняя высота снежного покрова.

Для оценки степени суровости зимы определены градации, представленные в табл.8.7. Они получены для территории Западной Сибири.

Таблица 8.7 – Оценка степени суровости зимы

Степень суровости зимы	$\bar{T}_M, ^\circ\text{C}$	$C, \text{ см}$	$\hat{E}_{\bar{n}}$
Весьма суровая	Ниже -30	Менее 10	Более 3
Суровая	Ниже -30	От 10 до 30	От 1 до 3
Мало суровая	Выше -30	Более 30	Менее 1

Г.Д. Рихтер [95] назвал свой показатель снежно-температурным коэффициентом и предложил вычислять его по формуле:

$$K = \frac{10T}{H}, \quad (8.8)$$

где T – средняя температура воздуха;

H – средняя высота снежного покрова за средний период со снежным покровом выше 1 см.

Этот коэффициент показывает число градусов мороза, рассчитанное на каждые 10 см толщины снежного покрова. Коэффициент изменяется на ЕЧ территории СНГ с северо-запада на юго-восток от 1,6 до 17,8. В табл.8.8 показаны его значения и изменчивость для территории ЕЧ СНГ и Западной Сибири по ботанико-географическим зонам.

Таблица 8.8 – Снежно-температурный коэффициент (K)

Зона	Среднее значение	Изменчивость
Лесная	2,3	1,7-3
Лесостепная	3,6	3-5
Степная	6,7	5-8
Сухая степь	7,2	7-10
Пустыни	15,5	10-20

Для количественной оценки условий вымерзания озимых в период перезимовки В.М. Личикаки [58] предложил коэффициент морозоопасности, представляющий собой отношение минимальной температуры почвы на глубине 3 см ($\dot{O}_{ii}$) к критической температуре вымерзания конкретных видов озимых злаковых культур. Этот коэффициент ($\hat{E}_{ii}$) можно рассчитать по формуле:

$$\hat{E}_{ii} = \frac{\dot{O}_{ii}}{\dot{O}_{ie}}, \quad (8.9)$$

где $\dot{O}_{ie}$ – критическая температура вымерзания растений на глубине узла кущения;

T_{mi} – минимальная температура почвы на глубине 3 см..

Им найдена связь между коэффициентом морозоопасности и гибелью озимой пшеницы от вымерзания. В последующем Личикаки составил агроклиматическую карту вероятности гибели озимой пшеницы от вымерзания для территории Украины.

Позднее В.А. Моисейчик [62] для оценки условий перезимовки озимых зерновых культур предложила комплексный показатель ($\bar{E}_i$). Ею получен ряд уравнений для расчета $\bar{E}_i$ в различных физико-географических зонах на территории СНГ для средних многолетних условий. Например, для степной зоны уравнение имеет вид:

$$\bar{E}_i = 0,4844 \frac{\bar{O}_i}{\dot{O}_{eo}} + 1,3081 \frac{\bar{I}}{\bar{n}} - 0,6071, \quad (8.10)$$

где $\bar{O}_i$ – минимальная температура воздуха, осредненная для той или иной области;

$\bar{I}$ – максимальная глубина промерзания почвы;

$\bar{n}$ – продолжительность периода со снежным покровом;

$\dot{O}_{eo}$ – критическая температура вымерзания возделываемых сортов озимых культур на территории области, края.

Уравнение действительно при значениях: $\bar{O}_i$ от -15 до -30 °С, $\bar{I}$ от 10 до 100 см; $\bar{n}$ от 25 до 120 дней; множественный коэффициент корреляции (r) равен 0,97.

Для лесной и лесостепной зоны агроклиматический показатель $\bar{K}_M$ в среднем по области выражается аналитически следующим уравнением:

$$\bar{K}_M = 0,4934 \frac{\bar{T}_M}{T_{KP}} + 1,4181 \frac{\bar{H}}{\bar{n}} - 0,7015 \quad (8.11)$$

Это уравнение действительно при значениях: $\bar{T}_M$ от -18 до -45 $^{\circ}\text{C}$;

$\bar{H}$ - от 10 до 150 см;

$\bar{n}$ – от 35 до 200 дней;

множественный коэффициент корреляции (r) равен 0,94.

При $\bar{n}$ менее 35 дней, $\bar{O}_i$ выше -16 $^{\circ}\text{C}$ и $\bar{H}$ менее 50 см минимальная температура почвы на глубине узла кущения бывает выше критической температуры вымерзания даже слабоморозостойких озимых культур, а короткий период пребывания растений под снежным покровом исключает их выпревание. Поэтому такие агроклиматические условия являются хорошими для перезимовки (оцениваются баллами 4 или 5).

Комплексный показатель агроклиматических условий перезимовки озимых культур $\bar{E}_i$ – безразмерная величина, косвенно хорошо характеризующая площадь, на которой растения погибают в холодный период года. Зависимость между средними многолетними значениями площади гибели озимых $\bar{S}_B$ в % от общей посевной площади их по области и показателем $\bar{E}_i$ выражается следующим уравнением:

для лесной и лесостепной зон

$$\bar{S}_B = 84,63\bar{K}_M^2 - 137,25\bar{K}_M + 61,53, \quad (8.12)$$

уравнение действительно при $\bar{E}_i$ в пределах 0,55 до 1,30;

для степной зоны:

$$\bar{S}_B = 63,37\bar{K}_M^2 - 54,40\bar{K}_M + 16,07, \quad (8.13)$$

уравнение действительно при $\bar{E}_i$ в пределах от 0.33 до 1.20.

По формулам 8.12 и 8.13 В.А. Моисейчик были рассчитаны размеры площади с погибшими посевами озимых при различных значениях комплексного показателя перезимовки и дана количественная оценка агроклиматических условий (табл.8.9) в баллах. В лесной и лесостепной зонах площадь с погибшими посевами бывает наименьшей (0-7 %) при $\bar{E}_i$, равном 0,75-0,90. При увеличении $\bar{E}_i$ до 1,16-1,20 площадь гибели озимых растет до 16-20% в результате вымерзания, а при уменьшении этого показателя до 0,30-0,45 – в результате выпревания. В степной зоне, где выпревание посевов исключено, наилучшие условия перезимовки создаются при показателе $\bar{E}_i$ менее 0,70. При увеличении его площадь гибели озимых зерновых культур быстро растет, достигая 21-30 % при $\bar{E}_i$ 0,96-1,10.

Используя комплексный показатель $\bar{E}_i$ и увязав его с площадью гибели посевов, В.А. Моисейчик [71] выполнила районирование агроклиматических условий перезимовки озимых культур на территории СНГ (

Таблица 8.9 – Оценка агроклиматических условий перезимовки озимых культур при различных значениях комплексного показателя $\bar{E}$

В лесной и лесостепной зонах									
$\bar{E}$	<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
Средняя многолетняя площадь погибших озимых $\bar{S}_B$ в %	<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
В степной зоне									
$\bar{E}$	<0,70		0,70-0,85		0,86-0,95		0.96-1,10		>1,10
Средняя многолетняя площадь погибших озимых $\bar{S}_B$ в %	<10		11-15		16-20		21-30		>30
Оценка условий, баллы	5		4		3		2		1

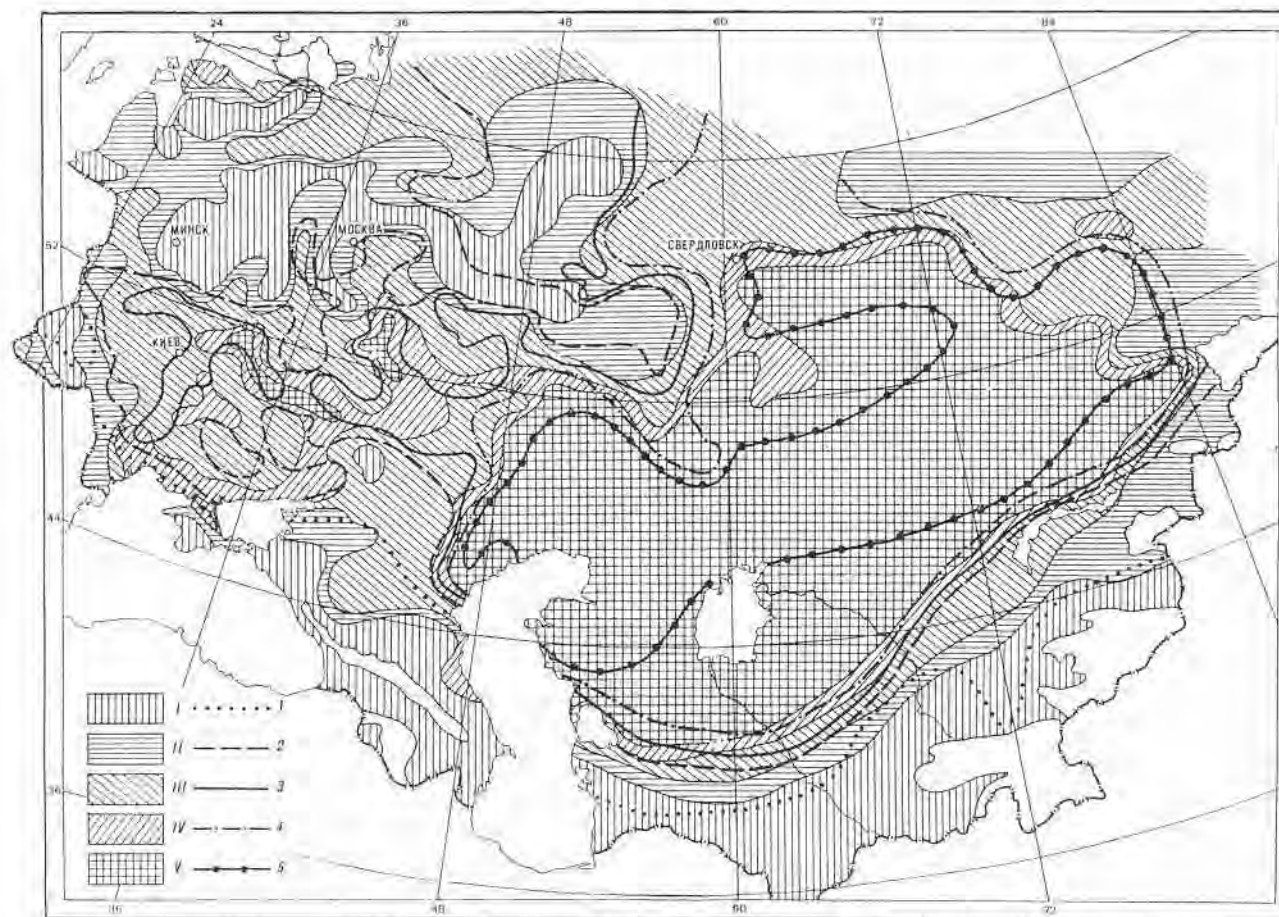


Рис. 8.11 – Комплексная оценка агроклиматических условий перезимовки районированных сортов озимых культур.

Оценка условий в баллах: I – отличные, II – хорошие, III – удовлетворительные, IV – плохие, V – очень плохие. Границы районов с благоприятными условиями перезимовки озимых культур с различной морозостойкостью: 1 – слабоморозостойких сортов озимого ячменя, с критической температурой вымерзания ($T_{кр}$) -14°C ; 2 – высокоморозостойких сортов озимого ячменя, слабоморозостойких сортов озимой пшеницы с $T_{кр}$ -16°C ; 3 – среднеморозостойких сортов озимой пшеницы и слабоморозостойких сортов озимой ржи с $T_{кр}$ -18°C ; 4 – высокоморозостойких сортов озимой пшеницы, среднеморозостойких сортов озимой ржи с $T_{кр}$ -20°C ; 5 – высокоморозостойких сортов озимой ржи с $T_{кр}$ -24°C .

кроме крайних северных районов). Как видно из рис. 8.11, на карте выделено пять макрорайонов с оценкой условий перезимовки в баллах от 1 до 5. Здесь же даны границы районов с благоприятными условиями перезимовки ряда озимых культур с различной морозостойкостью по $\bar{O}_{ED}$. К районам с отличными условиями перезимовки относятся центральные и юго-западные районы нечерноземной зоны ЕЧ СНГ, Крым, Краснодарский край, районы северного Кавказа, закавказских и южных среднеазиатских стран СНГ. Плохие и очень плохие условия перезимовки озимых складываются в ряде северных и восточных районов Украины, центральной черноземной зоне России, в Среднем и Нижнем Поволжье, на юге Урала, Западной Сибири, в Казахстане (кроме южных областей), а также в Восточной Сибири.

Недостатком данной работы является осреднение агроклиматических расчетов $\bar{E}_i$ по административным областям, краям, республикам. Следует иметь в виду, что в пределах каждой области реальные условия перезимовки озимых культур могут существенно варьировать под влиянием местного климата и микроклимата, поскольку $\bar{O}_i$, $\bar{I}$, а следовательно и $\bar{E}_i$, значительно изменяются на ограниченных территориях под влиянием форм рельефа или механического состава почв [60, 63, 65].

Глава 9 МЕТОДЫ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ЗАМОРОЗКООПАСНОСТИ ВЕСНОЙ И ОСЕНЬЮ

Весенние и осенние заморозки в умеренном поясе – нормальное климатическое явление для переходных сезонов года. Они становятся опасными для сельскохозяйственных культур только в случаях наступления их поздней весной или ранней осенью во время вегетационного периода. Сведения о заморозках необходимы для оценки заморозкоопасности территории, расчетов сроков сева и возможных дат всходов различных культур, решений вопроса о рациональном размещении наиболее теплолюбивой группы культур, определение вероятности гибели цветков и завязей плодовых культур. Кроме того, данные о заморозках необходимы при выборе и разработке методов активной борьбы с ними.

9.1 Типы заморозков и условия их возникновения

Заморозком называют понижение температуры до 0°C и ниже на поверхности почвы или в травостое в период вегетации на фоне положительных средних суточных температур воздуха. В метеорологической будке на высоте 2 метров от поверхности почвы в это время температура может быть как ниже 0°C , так и несколько выше (до $+2$, $+3^{\circ}\text{C}$). Применительно к плодовым культурам и винограду под заморозком понимают аналогичное понижение температуры в слое воздуха до уровня крон.

Заморозок – сложное явление. Изучению его посвящены многочисленные работы ученых (синоптики, климатологи, агрометеорологи, биологи). В настоящее время достаточно изучены вопросы: генезиса заморозков, отношение растений к заморозкам, степень опасности заморозков, их вероятность и вероятность повреждения ими культурных растений, выбор методов по ослаблению вредного воздействия заморозков на растения.

В зависимости от процессов образования выделяют три типа заморозков: адвективные, радиационные, адвективно-радиационные.

1. Заморозки адвективные образуются в результате поступления волны холода с температурой воздуха ниже 0°C . Они, как правило, наблюдаются в течение нескольких суток подряд в начальный период весны и поздней осенью при общем низком уровне температуры, значительной облачности и ветре. При таких заморозках ниже 0°C опускается не только минимальная, но часто и средняя суточная температура. Иногда при интенсивной адвекции холода дневные температуры бывают также близки к 0°C . При последующем

радиационном выхолаживании такие заморозки значительно усиливаются – до $-8, -10^{\circ}\text{C}$.

2. Радиационные заморозки возникают в тихие ясные ночи в результате суточного хода температуры при относительно низких среднесуточных температурах и интенсивном ночном излучении. Уровень среднесуточных температур, при которых наблюдаются заморозки этого типа, зависит от климатических условий. В приморских районах СНГ такие заморозки прекращаются при среднесуточных температурах порядка $5-6^{\circ}\text{C}$, в континентальной части (Северный Казахстан, Средняя Азия, Забайкалье) – только при $12-13^{\circ}\text{C}$. Вследствие малых скоростей ветра и слабого вертикального перемешивания приземного слоя воздуха при радиационных заморозках создаются большие инверсии температуры в этом слое. Температура воздуха в метеобудке на высоте 2-х метров бывает на ЕЧ СНГ в среднем на $2,5-3,0^{\circ}\text{C}$ и в континентальном климате (в восточной части ЕЧ, в Сибири, в Казахстане) – на $4-4,5^{\circ}\text{C}$ выше, чем на уровне травостоя. В отдельные ночи эта разность может достигать $7-9^{\circ}\text{C}$.

3. Адвективно-радиационные заморозки наиболее опасны для растений. Они образуются в результате вторжения холодного воздуха северного происхождения и последующего его выхолаживания за счет ночного излучения при ясной погоде. В этом случае процессы адвекции и радиационного выхолаживания взаимно усиливают друг друга. При этом типе заморозков температура понижается до $-2, -3^{\circ}\text{C}$ на ровном месте. Это понижение температуры часто затрагивает лишь припочвенный слой воздуха, а на уровне метеобудки она может быть даже положительной. В условиях континентального климата такие заморозки могут наблюдаться после установления средних суточных температур выше 15°C .

Различие свойств подстилающей поверхности (различие во влажности почвы, ее окраске, наличие или отсутствие растительного покрова и т.д.) приводит к большому разнообразию в интенсивности излучения отдельных участков и к пестроте в распределении заморозков на близких расстояниях даже на равнинных землях и, в особенности, в условиях сложного рельефа [60,70]. При радиационных и адвективно-радиационных заморозках наименее заморозкоопасными являются открытые вершина и верхние части склонов, наиболее заморозкоопасными – нижние части склонов, их подножия, дно широких и узких долин. При адвективных заморозках, сопровождающихся ветром и большой облачностью, микроклиматические различия в значительной степени сглаживаются. При этом типе заморозков наиболее заморозкоопасными являются открытые холодным ветрам участки (вершины, наветренные склоны возвышенностей).

Длительность действия разных типов заморозков различна. Наиболее длительными являются адвективные заморозки. Прогревание холодной волны и трансформация принесенного воздуха в местный занимает 3-4 дня. Причем в начале этого периода температура может держаться ниже 0°C в течение суток и более. К концу этого процесса температура ниже 0°C наблюдается только ночью. Заморозки радиационные наблюдаются в течение ночи или немного дольше. Т.е. 5-6 часов подряд, иногда до 8-12 часов. При ясной тихой погоде они могут быть ежедневно в течение длительного времени. Адвективно-радиационные заморозки могут наблюдаться под утро с продолжительностью в 3-4 часа в течение одной - двух ночей подряд. А иногда дольше.

9.2 Заморозки и сельскохозяйственные культуры

Устойчивость растений к заморозкам и степень повреждения их определяется многими факторами: закалкой растений, интенсивностью и длительностью заморозка, временем его появления. Скоростью падения температуры, быстротой и условиями оттаивания, обводненностью тканей и т.д. В целом заморозкоустойчивость растений складывается из устойчивости его отдельных органов и тканей и определяется наиболее чувствительными из них.

Отношение растений к заморозкам определяется заморозкоустойчивостью, которая выражается значениями критических температур, повреждающих различные органы растений или вызывающих их гибель. Разным растениям свойственны различные критические температуры. Степень опасности заморозка для культурных растений весьма различна и зависит от времени его наступления, интенсивности и длительности его, а также от состояния самого растения – фазы его развития, сорта, условий агротехники, густоты стояния.

В.Н. Степанов [95] дал количественную оценку устойчивости сельскохозяйственных культур по отношению к заморозку в разные фазы их развития на уровне травостоя растений. Он выделили пять основных экологических групп, которые представлены в таблице 9.1.

1. Наиболее устойчивые, выносящие кратковременные заморозки до $-7, -10^{\circ}\text{C}$ и более, к числу которых относится ряд растений умеренного пояса (ранние яровые хлеба, зернобобовые и масличные раннего посева).

2. Устойчивые к заморозкам, выдерживающие заморозки до $-5, -8^{\circ}\text{C}$ (корнеплоды, большинство масличных, прядильные раннего посева: лен, конопля).

3. Среднестойкие, выносящие заморозки до $-3, -4^{\circ}\text{C}$ (соя, могар, канатник и др.).

4. Малоустойчивые к заморозкам растения (кукуруза, просо, сорго, картофель, табак и др.), способные выносить заморозки до $-2, -3^{\circ}\text{C}$.

Таблица 9.1 – Устойчивость сельскохозяйственных культур по отношению к заморозкам в разные фазы развития (температуры даны на уровне растений)

Культура	Начало повреждения и частичная гибель (°C)			Гибель большинства растений (°C)		
	всходы	цветение	созревание (молочная спелость)	всходы	цветение	созревание (молочная спелость)
Наиболее устойчивые к заморозкам						
Яровая пшеница	-9, -10	-1,-2	-2, -4	-10, -12	-2	-4
Овес	-8, -9	-1,-2	-2, -4	-9, -11	-2	-4
Ячмень	-7, -8	-1,-2	-2, -4	-8, -10	-2	-4
Чечевица	-7, -8	-2,-3	–	-8, -10	-3	–
Горох	-8, -9	-3	-3, -4	-8, -10	-3, -4	-4
Устойчивые к заморозкам						
Люпин многолетний	-7, -8	-3	-3	-8, -10	-3, -4	-3 ,-5
Вика яровая	-8, -9	-2,-3	-2,-3	-8, -9	-3	-3, -4
Люпин узколистный	-5, -6	-2,-3	-3	-6, -7	-3, -4	-3, -4
Бобы	-6, -7	-2,-3	–	-6 ,-7	-3	-3, -4
Подсолнечник	-5, -6	-1,-2	-2,-3	-7 ,-8	-3	-3
Лен,конопля	-5, -7	-1,-2	-2,-4	-7	-2	-4
Сахарная свекла	-6, -7	-2,-3	–	-8	-3	–
Свекла кормовая	-6, -7	-2,-3	–	-8	-3	–
Морковь,брюква, турнепс	-6, -7	–	–	-8	–	–
Среднеустойчивые к заморозкам						
Люпин желтый	-4, -5	-2, -3	–	-6	-3	
Соя	-3,-4	-2	–	-4	-2	
Редис	-4,-5	–	–	-6	–	
Могар	-3,-4	-1,-2	–	-4	-2	
Малоустойчивые к заморозкам						
Кукуруза	-2,-3	-1,-2	-2,-3	-3	-2	-3
Просо, сорго, картофель	-2	-2	-1, -2	-2,-3	-2,-3	-3
Неустойчивые к заморозкам						
Огурцы, томаты	-1, -2	–	–	-2	–	–
Гречиха	-1, -2	-1	-1,5, -2	-2	-1	-2
Хлопчатник	-0,5, -1	-0,5, -1	–	-1	-1	–
Фасоль	-0,5,-1.5	-0,5, -1	-2	-1, -5	-1	-2
Рис	-0,5,-1	-0,5	–	-1	-0,5	–
Бахчевые	-0.5,-1	-0,5, -1	-0,5	-1	-1	-1

5. Неустойчивые к заморозкам, наиболее теплолюбивые растения, всходы которых повреждаются при снижении температуры до $-0,5$, $-1,5$ °C (фасоль, рис, хлопчатник, бахчевые, кунжут, арахис и др., а из растений умеренного пояса – гречиха, отличающаяся высокой чувствительностью к заморозкам).

Генеративные органы растений значительно более чувствительны к заморозкам и повреждаются уже слабыми, кратковременными заморозками порядка 0 , -2 °C. Гибель цветков большинства растений наблюдается при -3 , -4 °C. Зерно основных зерновых культур в фазе молочной спелости повреждается заморозками при -2 – -4 °C. С переходом в фазу восковой спелости устойчивость зерна к низким температурам резко возрастает, достигая наивысшего выражения при полной спелости.

Изменение чувствительности растений к действию заморозков в разных фазах развития создает большие трудности для климатологической оценки опасности заморозков, необходимой для правильной организации мер борьбы с ними. Как правило, повреждения сельскохозяйственных культур заморозками отмечаются лишь после того, как культуры тронулись в рост, что сопровождается быстрым снижением их заморозкостойкости. Яровые зерновые при появлении всходов переносят значительные заморозки (до -7 , -8 °C) без заметных повреждений, в период колошения и выхода в трубку они повреждаются при -3 , -4 °C, а во время цветения при -1 , -2 °C.

Для плодовых культур, винограда и ягодников заморозки особенно опасны во время цветения и образования завязей. Как видно из табл. 9.2, например, дерево лимона полностью повреждается заморозком силой в -9 , -10 °C, крона - при минимальных температурах в -7 , -8 °C, листва – при -6 °C. Закрытые бутоны яблони, груши, сливы вишни повреждаются заморозками силой в -4 °C, цветки погибают при -2 °C, а плодовые завязи – при -1 °C. Закрытые бутоны абрикос и персиков повреждаются заморозком силой в -2 °C, а плодовые завязи погибают при -1 °C. Распустившиеся почки винограда повреждаются при минимальной температуре в -1 °C, а цветки – при 0 °C.

Таким образом, опасными для сельскохозяйственных культур заморозки становятся тогда, когда начинается рост и растения активно вегетируют. Применительно к территории СНГ заморозки становятся опасными после устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 10 °C или после ее первого повышения до 15 °C. Исходя из этого, на севере ЕЧ СНГ (севернее широты 60°) опасны заморозки в начале и середине июня, в Центральной части – в конце мая, на юге ЕЧ – в начале мая. В Крыму и на Северном Кавказе заморозки опасны в конце марта и в начале апреля.

Таблица 9.2 – Критические температуры (0 °С) повреждения
некоторых плодовых культур заморозками

Культура	Часть растения, повреждаемая заморозком	Критическая температура
Лимон	Дерево полностью	-9,-10
	Крона	-7,-8
	Листва	-6
Апельсин	Дерево полностью	-10,-11
	Крона	-8,-9
	Листва	-7
Мандарин	Дерево полностью	-12
	Крона	-10
	Листва	-8
Виноград	Распустившиеся почки	-1
	Цветки	0
Яблоня, груша, вишня слива	Закрытые бутоны	-4
	Цветки	-2
	Плодовые завязи	-1
Черешня	Бутоны и цветы	-2
	Плодовые завязи	-1
Абрикос, персики	Закрытые бутоны	-2
	Цветки	-3
	Плодовые завязи	-1
Ягодники (малина, клубника)	Цветки и завязи	-2

9.3 Агроклиматические показатели заморозков и их географическая изменчивость на территории СНГ

Основными агроклиматическими показателями заморозков для оценки территории являются: даты последнего заморозка весной и первого осенью в воздухе и на поверхности почвы ($D_{вз}$, $D_{оз}$, $D'_{вз}$, $D'_{оз}$); продолжительность беззаморозкового периода в воздухе на уровне метеобудки и на поверхности почвы ($N_{б/п}$, $N'_{б/п}$) интенсивность заморозков, определяемая по значениям минимальной температуры от 0°C и ниже в воздухе и на почве ($T_{мин}$, $T'_{мин}$); суммы температуры воздуха и почвы за беззаморозковый период ($\Sigma T_{б/п}$, $\Sigma T'_{б/п}$).

И.А. Гольцберг [26, 95] разработала методы расчетов основных показателей заморозков, составила ряд агроклиматических карт распределения заморозков на территории СНГ и выполнила оценку их микроклиматической изменчивости. На обширной территории СНГ, в том числе в Украине, заморозки весьма разнообразны в своем проявлении. Они существенно различаются по частоте и срокам возникновения, длительности и интенсивности действия, степени опасности для сельскохозяйственных культур и т.д. Широтный ход изолиний на картах средних дат окончания весенних заморозков в воздухе (минимальная температура 0°C и ниже в метеобудке на ровном открытом месте) и средних дат начала осенних заморозков в воздухе нарушается под влиянием близости морей, степени континентальности климата и рельефа.

Самое раннее окончание заморозков весной – в последних числах февраля – наблюдается в прибрежной полосе Черноморского побережья Кавказа. На побережье южной части Каспийского моря и в юго-восточной части Средней Азии под защитой Гиссарского хребта заморозки в среднем прекращаются к 15-20 марта. На ЕЧ СНГ среднее время прекращения заморозков в воздухе равномерно продвигается с юга на север от первых чисел апреля на побережье Черного и Азовского морей до 20-25 июня в районе большеземельской тундры. В резко-континентальном климате Восточной Сибири и в горных районах прекращение весенних заморозков в воздухе наблюдается значительно позднее (в южных районах 1-11 июня, а в северных – 21 июня-1 июля).

Распределение средних дат начала осенних заморозков в воздухе также, в основном, носит широтный характер, следуя за общим снижением температуры с севера на юг. На севере ЕЧ СНГ средняя дата начала осенних заморозков приходится на 10-20 августа, а на юге Молдовы и Украины – на 21 октября-1 ноября. На Черноморском побережье Кавказа и на берегах южной части Каспийского моря осенние заморозки появляются в первых числах декабря. В Западной и Восточной Сибири даты осенних заморозков в северных районах приходятся на 24 августа, а в южных – на 11-21 сентября.

Значительно изменяется на территории СНГ средняя длительность безморозкового периода (в днях). Как видно из рис. 9.1 в северных районах ЕЧ СНГ $N_{\delta/n}$ составляет 105 дней, а на Южном берегу Крыма он увеличивается до 210 дней и более. В северных районах Западной и Восточной Сибири безморозковый период не превышает 45-60 дней, а в южных районах $N_{\delta/n}$ увеличивается до 105-120 дней. Наибольшая длительность безморозкового периода наблюдается на юго-западном и юго-восточном побережье Каспийского моря и составляет 270 дней. Сведения о продолжительности безморозкового периода нужны для решения вопроса о том, успеет ли та или иная культура закончить вегетацию на данной территории или она будет систематически повреждаться заморозками.

Средние даты начала и конца безморозкового периода находятся в тесной взаимосвязи с длительностью его (табл.9.3). Чем короче продолжительность безморозкового периода, тем позднее прекращаются весенние заморозки и тем раньше появляются осенние заморозки. Например, при $N_{\delta/n}$, равном 90 дням, весенние заморозки прекращаются 5 июня, а первые осенние заморозки наступают 3 сентября. При $N_{\delta/n}$, равном 210 дням, последние заморозки весной наблюдаются 26 марта, а первые заморозки осенью наступают 6 ноября.

Таблица 9.3 – Зависимость средних дат начала и конца безморозкового периода от средней длительности его в континентальной части СНГ

$N_{\delta/n}$ (дни)	Средние даты		$N_{\delta/n}$ (дни) начало	Средние даты	
	начало	конец		начало	конец
60	20.VI	19.VIII	150	1.V	27.IX
75	12.VI	26.VIII	165	21.IV	2.X
90 ¹	5.VI	3.IX	180	12.IV	9.X
90 ²	1.VI	29.VIII	195	6.IV	18.X
105	31.V	12.IX	210	30.III	25.X
120	21.V	18.IX	225	26.III	6.XI
135	10.V	22.IX			

Примечание. 1 – для Европейской части СНГ, 2 – для Азиатской части СНГ

В связи с различной морозоустойчивостью культурных растений важно знать время наступления осенью и прекращения весной заморозков разной интенсивности. Последняя определяется по минимальным температурам в воздухе и на поверхности почвы. Интенсивность

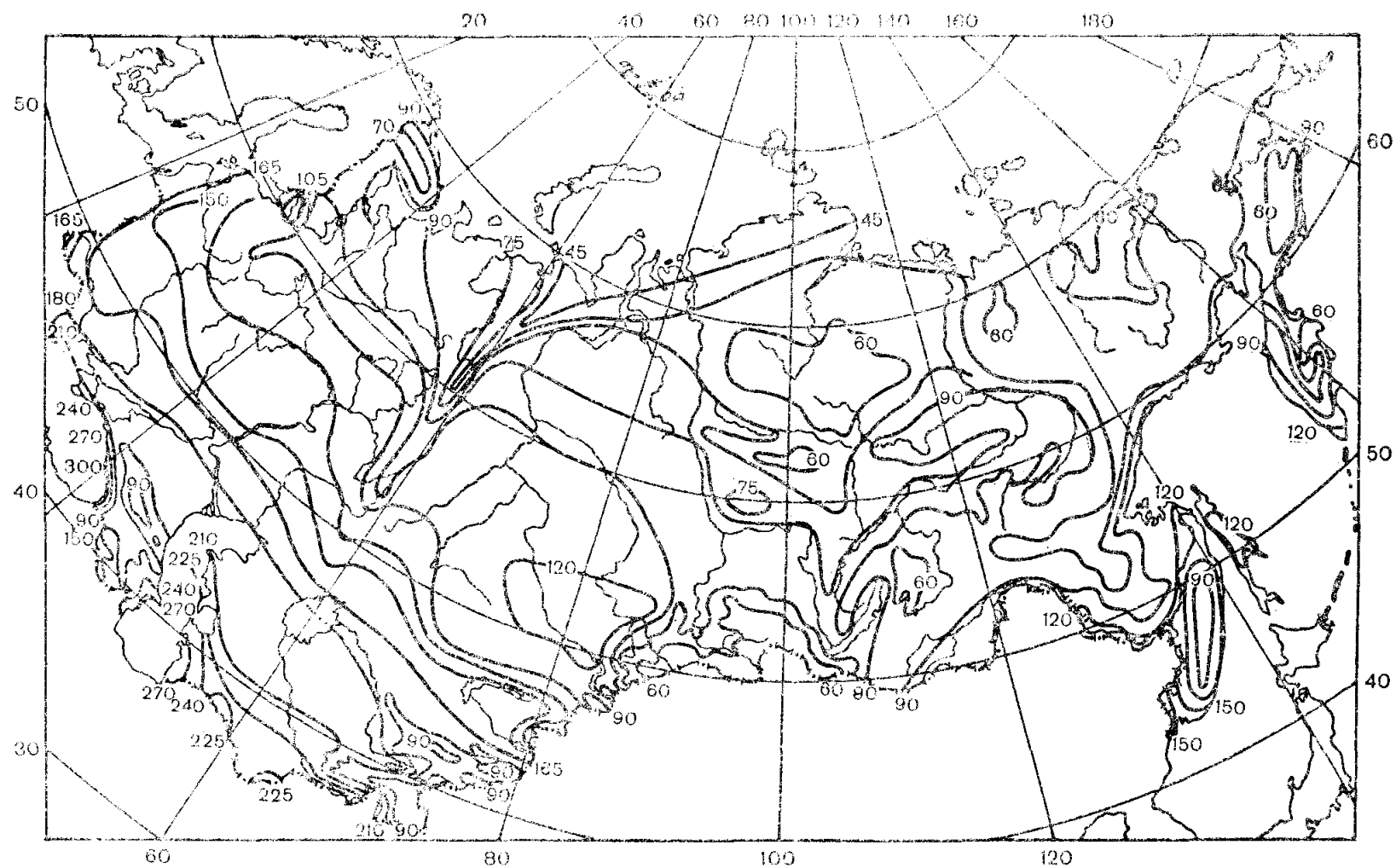


Рис. 9.1 – Средняя длительность (в днях) безморозкового периода (минимальная температура 0° и ниже в метеорологической будке на ровном открытом месте).

заморозков тесно связана с продолжительностью безморозкового периода. Эта зависимость чаще всего носит прямолинейный характер, но количественно различается применительно к разным регионам СНГ. В табл. 9.4 сопоставляются средняя длительность безморозкового периода в воздухе и на поверхности почвы при температуре 0 °С с N_{б/п} ниже

Таблица 9.4 – Сопоставление длительности безморозкового периода (дни) разной интенсивности в воздухе и на поверхности почвы

Средняя длительность безморозного периода (0 °С)		Средняя длительность периода без заморозков ниже указанной интенсивности в воздухе (°С)			
в воздухе	на почве	-1 ⁰	-2 ⁰	-3 ⁰	-4 ⁰
Север ЕТС и Западной Сибири					
90	70	98	105	115	125
105	85	115	125	135	145
Западная и средняя часть ЕТС (до Волги)					
120	95	131	143	154	165
135	110	146	158	169	180
150	125	161	173	184	195
165	140	176	188	199	210
180	155	191	203	214	225
Заволжье и Западная Сибирь					
105	75	113	122	130	140
120	90	128	137	145	155
135	105	143	152	160	170
150	120	158	167	175	185
165	135	173	182	190	200
Средняя Азия					
180	155	190	202	212	225
210	185	220	232	242	255
225	200	235	247	257	270
240	215	250	262	272	285
Восточная Сибирь и Якутия					
75	45	82	90	95	105
90	60	97	105	110	120
105	75	112	120	125	135
Дальний Восток					
120	105	127	135	140	145
130	135	157	165	170	175

интенсивности в воздухе, равной -1°C , -2 , -3 и -4°C для условий открытого ровного места. Данные показывают, что соотношения этих показателей в разных климатических условиях существенно меняются. Повсеместно продолжительность безморозкового периода на поверхности почвы оказывается на 20-30 дней короче, чем $N_{6/n}$ в воздухе.

Общей закономерностью является существенное увеличение безморозкового периода с возрастанием интенсивности заморозков. Например, в западных и центральных районах России при безморозковом периоде в воздухе (0°C), равном 150 дням этот период увеличивается от 160 до 195 дней с возрастанием заморозков от -1 до -4°C (табл.9.4). На юге Средней Азии при $N_{6/n}$, равном 240 дней, этот период увеличивается от 250 дней до 285 дней с возрастанием интенсивности заморозков в тех же пределах.

Сведения о заморозках в воздухе обычно используются при оценке степени заморозкоопасности территории для плодовых культур и винограда. Для полевых культур оценку заморозкоопасности следует давать по заморозкам у поверхности почвы или на уровне травостоя. В среднем разность температуры воздуха на уровне метеобудки (2 м) и у поверхности почвы на ЕЧ СНГ составляет $2,0-2,5^{\circ}\text{C}$, для континентальных районов Азиатской территории, а также Заволжья она может достигать $3,5-4,0^{\circ}\text{C}$. Указанные средние разности температур определены по отношению к ровному открытому месту. Где ночью обычно наблюдается инверсия. На возвышенностях с хорошим перемешиванием приземного слоя воздуха ночью обычно образуется изотермия, поэтому опасность температур практически близка к нулю. Изотермия часто наблюдается и в «озерах холода» на дне долин со слабым уклоном до высоты 7-8 метров, сменяясь затем мощной инверсией на верхней границе выхолаженного слоя воздуха.

9.4 Вероятностная оценка показателей заморозкоопасности

Сведения о вероятности окончания весенних заморозков и наступления осенних заморозков разной интенсивности в определенные сроки позволяют оценить возможность появления их в разные фазы развития сельскохозяйственных культур и определить будут ли повреждены растения. Заморозки заканчиваются и начинаются в различных районах на территории СНГ при разном термическом уровне, т.е. на разном фенологическом фоне. Так, весной в западных районах ЕЧ и на побережье морей заморозки в среднем оканчиваются до наступления средней суточной температуры воздуха выше 5°C и лишь изредка могут наблюдаться после установления средней суточной температуры более 10°C . Здесь опасность заморозков для плодовых и теплолюбивых культур, размещенных на равнинных территориях, незначительна. В

континентальных районах заморозки могут наблюдаться месяц спустя после установления средней суточной температуры более 10 °С. Поэтому они представляют большую опасность для теплолюбивых культур.

9.4.1 Вероятность заморозков

Суммарная вероятность дат окончания весенних и начала осенних заморозков, а также продолжительности беззаморозкового периода представляет собой изменчивость этих дат и периода по годам, которая одинакова для больших территорий. Поскольку показатели заморозков в основном подчиняются нормальному закону распределения суммарную вероятность их можно определить по соответствующим величинам среднего квадратического отклонения и отклонения кривой Гаусса [26]. Расчеты выполняются по следующим формулам:

$$\ddot{A}_{\dot{a}\zeta(\%)} = \bar{A}_{\dot{a}\zeta} \pm \sigma_{\dot{a}} \cdot \hat{E}_{\dot{a}} \quad (9.1)$$

$$\ddot{A}_{i\zeta(\%)} = \bar{A}_{i\zeta} \pm \sigma_i \cdot \hat{E}_{\dot{a}} \quad (9.2)$$

$$N_{\dot{a}/i(\%)} = \bar{N}_{\dot{a}/i} \pm \sigma_N \cdot \hat{E}_{\dot{a}} \quad (9.3)$$

где $\ddot{A}_{\dot{a}\zeta(\%)}, \ddot{A}_{i\zeta(\%)}, N_{\dot{a}/i(\%)}$ – возможные даты прекращения весенних и наступления осенних заморозков, продолжительности беззаморозкового периода искомой вероятности;

$\bar{A}_{\dot{a}\zeta}, \bar{A}_{i\zeta}, \bar{N}_{\dot{a}/i}$ – климатическая норма этих показателей;

$\sigma_{\dot{a}}, \sigma_i, \sigma_N$ – средние квадратические отклонения от соответствующих средних значений показателей заморозков;

$\hat{E}_{\dot{a}}$ – коэффициенты нормального распределения к $\sigma_{\dot{a}}, \sigma_i, \sigma_N$ для определения отклонений от средних искомой вероятности в виде $\dot{i} = \sigma \cdot \hat{E}_{\dot{a}}$ (дни).

В табл. 9.5 показан пример расчета суммарной вероятности (обеспеченности) прекращения заморозков весной в отклонениях от средней даты (n) или в абсолютных значениях ранее указанных дат. Наглядно видно, что при одинаковых значениях n даты весенних заморозков различной вероятности прекращаются в Москве более, чем месяц позднее, чем на юге в Одессе.

Для территории СНГ И.А. Гольцберг [26] выявила семь типов кривых вероятности заморозков с соответствующими им значениями среднего квадратического отклонения (6). На картах она выделила районы для каждого типа кривых вероятности дат весенних и осенних заморозков, а также продолжительности беззаморозкового периода в воздухе.

Таблица 9.5 – Суммарная вероятность дат прекращения заморозков весной в отклонениях от средней или ранее указанных дат

Показатель	Обеспеченность (%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
K_z	-2,25	-1,28	-0,87	-0.52	-0,25	0	0,25	0,52	0,87	1.28	2.25
$n = \sigma \cdot K_z$	-32	-18	-12	-7	-4	0	4	7	12	18	32
D_{63} в Москве	10.IY	24.IY	30.IY	5.Y	8.Y	12.Y	16.Y	19.Y	24.Y	30.Y	13.YI
D_{63} в Одессе	4.III	18.III	24.III	29.III	1.IY	5.IY	9.IY	21.IY	17.IY	23.IY	7.Y

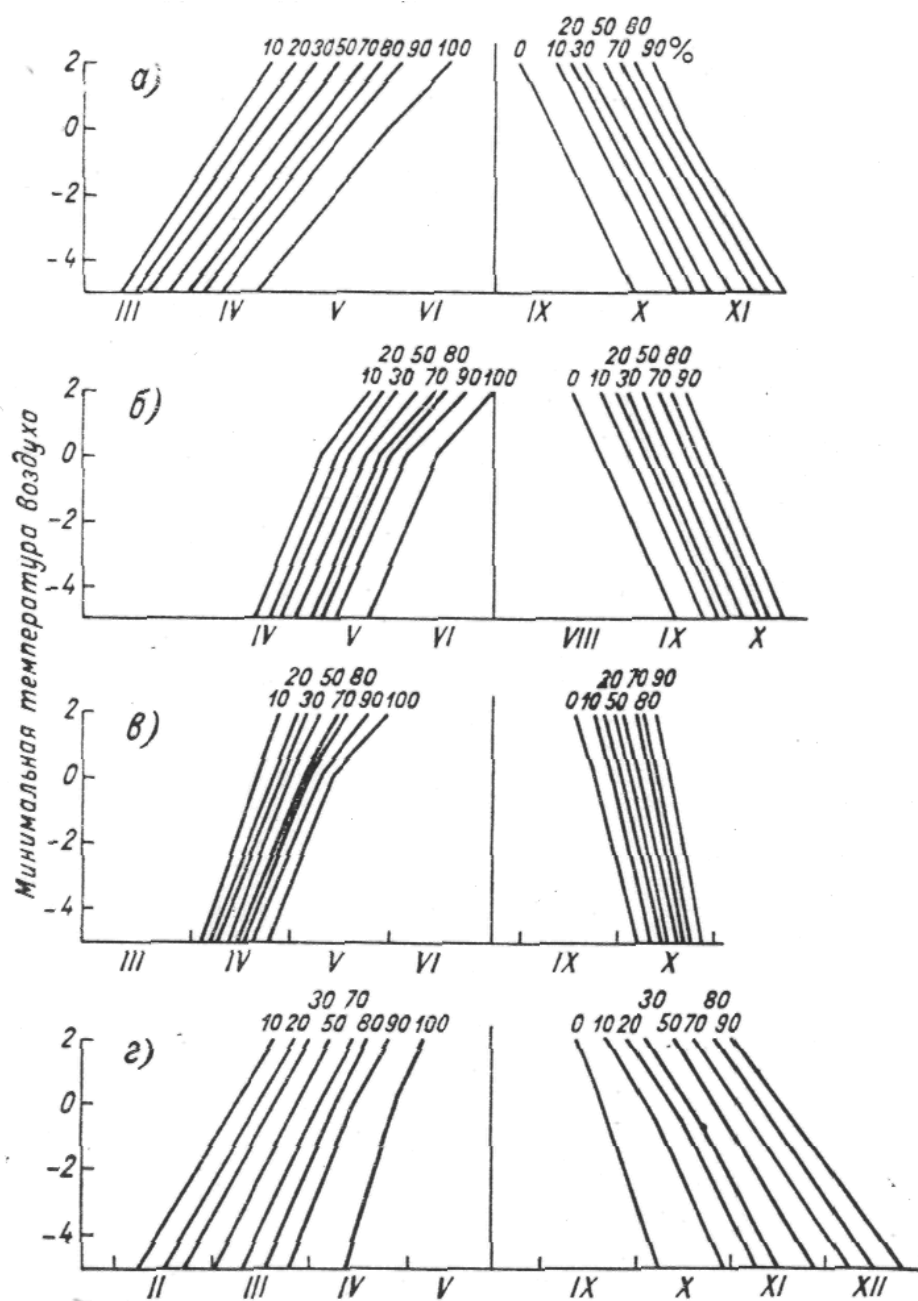


Рис.9.2 - Вероятность заморозков разной интенсивности в разных регионах СНГ.

а) Полесье, б) Западная Сибирь, в) Дальний Восток, г) Средняя Азия.

Вероятность заморозков возрастает по мере увеличения σ от 7-9 до 20 и более. Весной имеют место 1, 2, 3, 4, 5, 7 типы кривых вероятностей дат заморозков, соответствующих значениям σ_6 от 7-9 до 20-. Особо выделен район частых летних заморозков в Восточной Сибири. Осенью преобладают 1,2,3,4,5 типы кривых вероятности заморозков со значениями σ_0 от 7-9 до 15-17.

Важное практическое значение имеет количественная оценка вероятности заморозков различной интенсивности весной и осенью. Для

этой цели можно использовать номограммы обеспеченности дат прекращения весенних заморозков и дат появления осенних заморозков интенсивностью в 2°C , 0 , -2 , -4°C , представленные на рис. 9.2, применительно к разным регионам СНГ. Перемещаясь по вертикали к соответствующей нужной дате, можно определить вероятность прекращения или начала заморозков разной интенсивности ранее этой даты. Передвигаясь по горизонтали. Соответствующей заморозку определенной интенсивности, можно определить вероятность дат.

По этим номограммам можно определить также среднюю продолжительность беззаморозкового периода разной вероятности и интенсивности. Например, на Украине в Полесье заморозки в воздухе интенсивностью в -2°C и ниже один раз в 10 лет заканчиваются до 1 апреля, в пяти годах – до 16 апреля и окончательно во все годы они прекращаются ранее 15 мая. Осенью заморозки указанной интенсивности в 10 % лет начинаются в этом районе ранее 4 октября и в 9 годах из 10 – ранее 8 ноября. Они никогда не начинаются ранее 20 сентября.

9.4.2 Опасные заморозки на территории СНГ

Повторяемость заморозков, опасных для сельскохозяйственных культур в разных регионах СНГ различна. По соотношению между временем наступления заморозков и продолжительностью беззаморозкового периода И.А. Гольцберг разделила территорию бывшего СССР на три зоны: холодную, умеренную и зону с теплой зимой.

Холодная зона. Для нее характерно отсутствие четко выраженного во времени беззаморозкового периода, разделяющего весенние и осенние заморозки. В пределах этой зоны, границы которой в основном совпадают с южной границей вечной мерзлоты, выделено два крупных района, различающихся по продолжительности беззаморозкового периода.

Первый район занимает крайний север Азиатской части СНГ и горные территории Восточной Сибири и Якутии (рис.9.3 район 7). Этот район очень холодный, не земледельческий; $N_{\delta/n}$ в воздухе составляет в северной части 25-40 дней, а на южной границе – не более 60 дней. Заморозки возможны в любой день лета при температуре $-2, -3^{\circ}\text{C}$ в метеобудке. Здесь преобладают адвективные заморозки.

Во втором холодном районе (рис.9.3 район 2) земледелие возможно отдельными очагами. Сюда относятся территории со средней продолжительностью беззаморозкового периода от 60 до 90 дней. Заморозки здесь возможны во все месяцы вегетационного периода. Весенние заморозки, приходящиеся на июнь, мало интенсивны и опасности для всходов не представляют. Летние и осенние заморозки в июле и августе могут погубить ботву картофеля и повредить зерновые (ячмень) во время цветения и налива зерна.

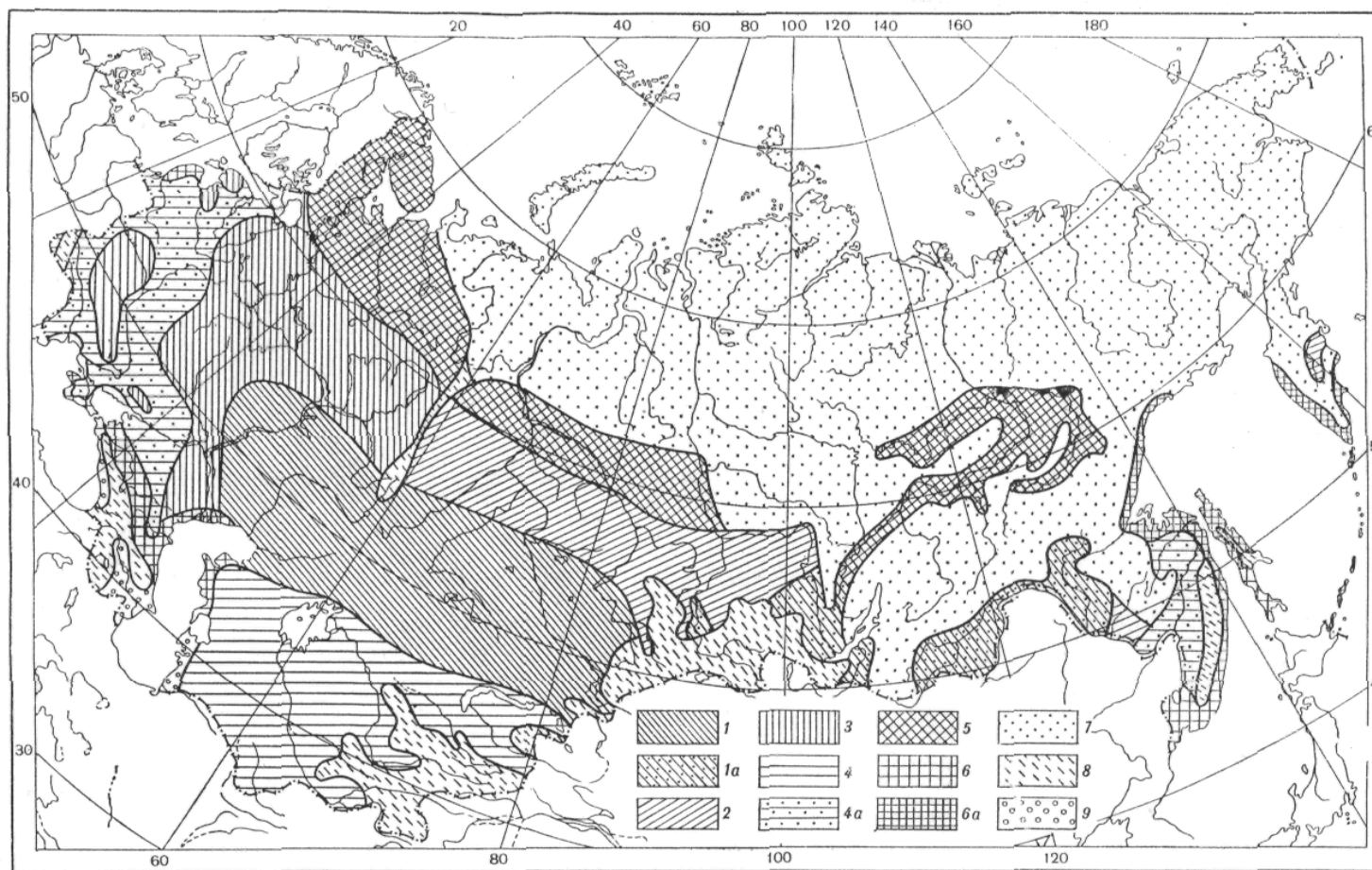


Рис. 9.3 – Вероятность опасных заморозков. Весна.

Из 10 лет: 1 и 1а – от 5 до 6; 2 – от 4 до 5; 3 – от 3 до 4; 4 и 4а – от 2 до 3; 5 – от 1 до 2; 6 и 6а – от 0 до 1; 7 – не опасны (короткая ночь, поздние всходы, на севере и в горах нет посевов); 8 – горные районы с очень сложным распределением заморозков (опасность не характеризуется); 9 – опасны зимой для субтропических культур.

Умеренная зона. В пределах этой зоны выделены районы по степени опасности весенних заморозков для малоустойчивых по отношению к ним сельскохозяйственных культур. Критическая температура повреждения этих культур находится в пределах 0-3 °С на уровне растений (рис.9.3 районы 2-6).

Наиболее часты (до 5-6 раз в 10 лет) опасные весенние заморозки в регионе с континентальным климатом, территориально разделенным на отдельные части (рис.9.3, район 1 и 1а). Он охватывает юго-восточный район ЕЧ России, центральную и южную части Западной Сибири, а также отдельные части территории Восточной Сибири. Опасность весенних заморозков для всходов теплолюбивых культур здесь велика, кроме теплолюбивых огородных культур (огурцы, томаты и т.п.) часто страдают от заморозков всходы картофеля и кукурузы. Несколько реже повреждаются всходы яровых зерновых культур.

На территории южной части Западной Сибири, Северного Казахстана и Поволжья (рис.9.3, район 1) повторяемость опасных заморозков для теплолюбивых культур также велика – 5-6 раз из 10 лет. Весенние заморозки здесь могут повреждать теплолюбивые огородные культуры и полевые культуры (например, гречиху) в 5-6 годах из 10. В 2-3 годах из 10 в западной части района повреждаются цветки завязи плодовых (вишни, яблони) и винограда. К востоку повреждаемость этих культур заморозками возрастает. С такой же частотой повреждаются ранние всходы картофеля, кукурузы, проса. Возможны повреждения всходов яровых зерновых (овса и ячменя).

В районе 2, занимающем территорию в средней части Западной Сибири, южную часть Красноярского края, часть Иркутской области, опасность весенних заморозков уменьшается для теплолюбивых культур до 4-5 раз в 10 лет. Заморозки прекращаются при установлении температуры 11-12 °С. Наиболее часто повреждаются всходы картофеля и сходных по уровню критических температур культур. В отдельные годы страдают от заморозков всходы яровых зерновых культур.

В районе 3, занимающем среднюю часть ЕЧ СНГ, вероятность повреждения сельскохозяйственных культур весенними заморозками уменьшается до 3-4 лет из 10. Состав культур на этой большой площади, простирающейся от 60° с.ш. до Волыни, Донбасса и низовьев Волги, существенно различается, но повторяемость повреждений заморозками почти не изменяется. Здесь заморозки прекращаются весной при наступлении средней суточной температуры воздуха около 10-11 °С. В западной и южной частях территории могут повреждаться цветки и завязи плодовых (вишня, яблоки, слива), а также винограда. Возможна гибель всходов картофеля, кукурузы, проса и частичная гибель всходов овса и ячменя. Вероятность опасных заморозков весной составляет примерно 2-3 года из 10.

Район 4 подразделяется на две части (4а и 4). Как по составу культур, подвергающихся повреждениям, так и по особенностям климатического режима отдельных частей района. Западная и южная части ЕЧ СНГ, Закарпатье и долины рек Уссури и Амура на Дальнем Востоке, отнесенные к

району 4а, отличаются ранним прекращением весенних заморозков при средней температуре около 9-10 °С. Наиболее часто повреждаются цветки и завязи плодовых, всходы картофеля ранних сроков посадки, всходы теплолюбивых культур. В районе 4 с более континентальным климатом заморозки заканчиваются весной при средней температуре около 11-12 °С. Здесь в 2-3 года из 10 лет повреждаются виноградники в период распускания почек, цветки и завязи рано цветущих южных плодовых культур (абрикос), всходы теплолюбивых овощных культур. В отдельные годы повреждаются всходы хлопчатника.

Для района 5 характерно уменьшение опасности весенних заморозков до 1-2 из 10 лет. Сюда относится и северная часть ЕЧ СНГ. Западная Сибирь и район в долинах рек Лены и Вилюя. Всходы сельскохозяйственных культур здесь появляются во второй половине июня, в период белых ночей, в течение которых условия для образования опасных радиационных заморозков неблагоприятны. Поэтому повреждения всходов весенними заморозками невелики. Возможны повреждения всходов картофеля, ячменя, овса.

Общим для района 6 является малая вероятность образования опасного заморозка весной, вследствие раннего прекращения заморозков уже при температурах ниже 10 °С. На Северном Кавказе и в Приморском крае на Дальнем Востоке заморозки иногда повреждают всходы картофеля, кукурузы, цветки плодовых культур.

В пределах умеренной зоны летом и осенью наиболее опасны заморозки в северной части, а также в Минусинской котловине и в Забайкалье (рис.9.4, район 3). Вероятность опасных заморозков здесь составляет 3-4 года из 10. Осенние заморозки начинаются уже при средних суточных температурах около 11 °С в условиях ровного места и при 11-12 °С в понижениях рельефа. От ранних осенних заморозков страдает картофель, вплоть до полной гибели урожая, и зерновые в период налива зерна. Сильны и часты повреждения яровых зерновых (яровая пшеница, овес, ячмень) среднеспелых и поздних сортов. Эти культуры повреждаются также при посеве в морозобойных местах (подножия склонов, дно широких и узких долин, котловины), в которых часто зерновые и картофель гибнут от заморозков, в то время, как на прилегающих склонах эти культуры дают хороший урожай.

В районе 4а осенние заморозки начинаются при температуре воздуха ниже 10 °С. Здесь заморозки губят вегетативную массу теплолюбивых огородных и полевых культур, ботву картофеля поздних сортов. В районе 4 (среднеазиатском) осенние заморозки начинаются при температуре воздуха около 11-12 °С. В 2-3 годах из 10 ранние заморозки повреждают хлопчатник, поздние сорта винограда и поздние овощные культуры (перец, баклажаны, томаты, огурцы). Наступление заморозков осенью возможно в последнюю декаду сентября.

В районах 5 и 5а вероятность опасных заморозков осенью не более 1-2 лет из 10. В районе 5 они опасны для хлопчатника и наступают в отдельные

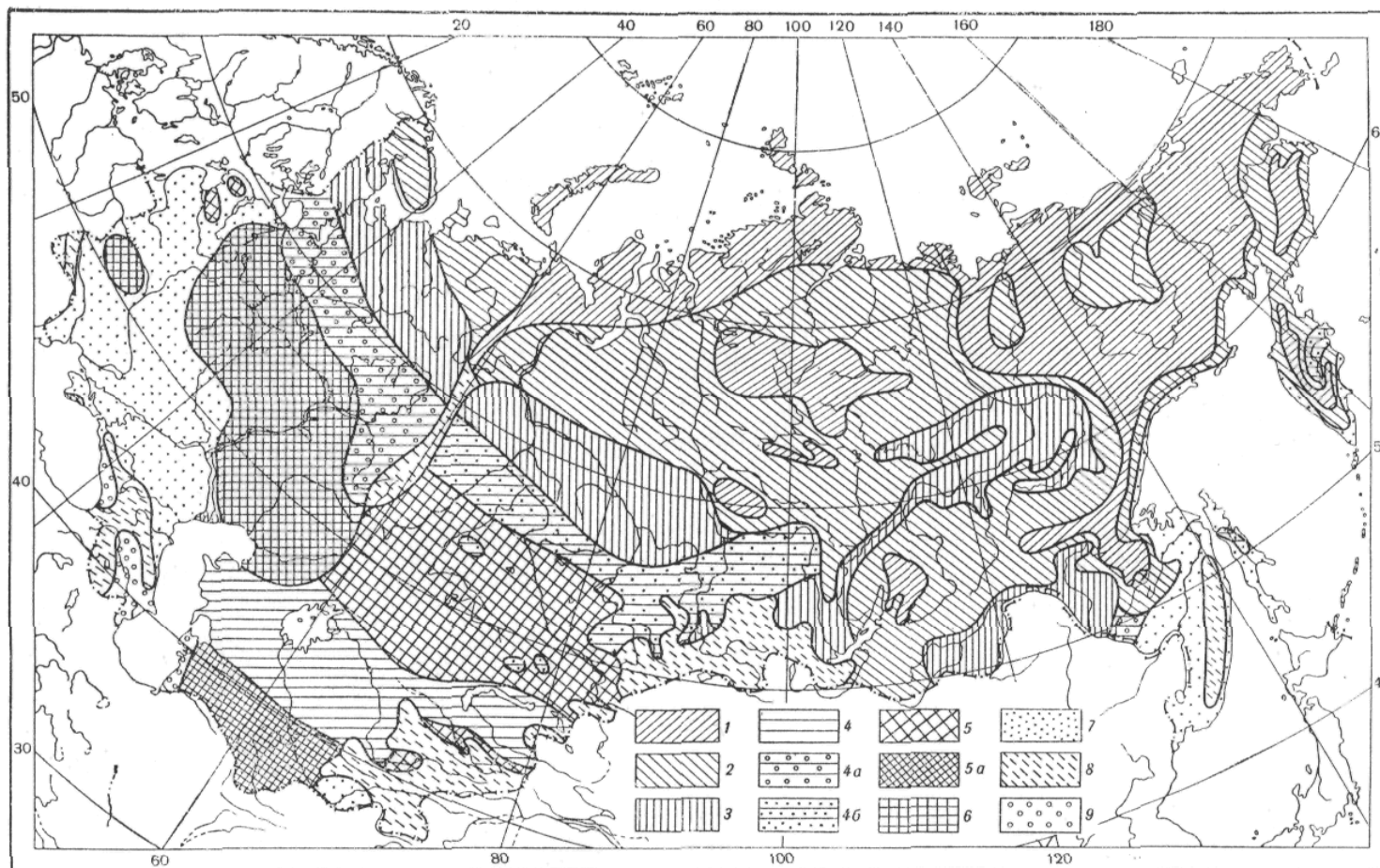


Рис. 9.4 – Вероятность опасных заморозков. Осень.

Из 10 лет: 1 – ежегодно (нет посевов); 2 – более 5 (опасны летом); 3 – от 3 до 4; 4, 4а и 4б – от 2 до 3; 5 и 5а - от 1 до 2; 6 – от 0 до 1; 7 – не опасные (позднее наступление заморозков); 8 – горные районы с очень сложным распределением заморозков (опасность не характеризуется); 9 – опасны зимой для субтропических культур.

годы уже в первых числах октября. В районе 5, отличающемся более коротким вегетационным периодом, ранние осенние заморозки бывают в начале сентября и повреждают теплолюбивые овощные культуры, а во влажные годы с затянувшимся периодом вегетации – также зерно яровой пшеницы в период созревания. В такие годы могут быть повреждены заморозками кукуруза и просо.

Следует заметить, что агроклиматическая оценка опасных заморозков на территории СНГ дана для условий открытого ровного места. Однако, известно, что показатели заморозкоопасности могут существенно изменяться на малых площадях под влиянием разных форм рельефа, близости морей и крупных водоемов и др. [26, 64]. Поэтому при оценке условий заморозкоопасности в конкретной местности необходимо учитывать микроклиматическую изменчивость показателей заморозков, а также вероятность повреждения сельскохозяйственных культур опасными заморозками в определенные фазы развития.

9.5 Региональная оценка и агроклиматическое районирование показателей заморозков на ограниченной территории

Для более эффективного обеспечения сельского хозяйства данными об условиях заморозкоопасности необходима дальнейшая детализация показателей заморозков применительно к ограниченной территории (небольшая страна или административная область, район, отдельное хозяйство) с оценкой их интенсивности отдельно для весны и осени. З.А. Мищенко [64, 66, 67] разработала метод комплексной оценки и районирования показателей агроклиматических ресурсов, в том числе заморозков, в среднем масштабе (1:600000 и до 1:200000) с учетом микроклимата на основе уплотнения агроклиматической информации. Суть его заключается в установлении связей между известным и искомым показателями климата.

Например, применительно к территории Молдовы выполнено комплексное агроклиматическое районирование показателей заморозков в рабочем масштабе 1:400000 с вероятностной оценкой. Картирование осуществлено по основному показателю условий заморозкоопасности – беззаморозковому периоду в воздухе ($N_{\delta/n}$). А далее для каждого выделенного на карте мезорайоне определены значения других показателей заморозков. Для этой цели были установлены связи: $N_{\delta/n}$ с датами прекращения весенних и осенних заморозков ($\bar{A}_{\bar{A}\zeta}, \bar{A}_{\bar{A}\zeta}$); $N_{\delta/n}$ с суммами температур за беззаморозковый период в воздухе ($\sum \bar{\partial}_{\bar{\partial}/i}$); $N_{\delta/n}$ с продолжительностью беззаморозкового периода на поверхности почвы $N'_{\delta/n}$; $N_{\delta/n}$ с интенсивностью весенних и осенних заморозков ($\bar{\partial}_{\bar{\partial}i}, \bar{\partial}_{\bar{\partial}i}$); $N_{\delta/n}$

с суммами температур за беззаморозковый период в воздухе ($\Sigma \dot{O}_{a/i}$); $N'_{\delta/n}$ с датами прекращения весенних и осенних заморозков на поверхности почвы ($\ddot{A}_{\ddot{a}/i}$, $\ddot{A}_{\ddot{o}/i}$).

На рис.9.5 в качестве примера представлены зависимости между продолжительностью беззаморозкового периода в воздухе и интенсивностью заморозков отдельно для весны и осени. При увеличении $N_{\delta/n}$ в отдельные годы от 155 до 220 дней интенсивность весенних заморозков (T_{B3}) уменьшается от $-5,0^{\circ}\text{C}$ до $-1,5^{\circ}\text{C}$, а интенсивность осенних заморозков (T_{O3}) – от $-7,0^{\circ}\text{C}$ до $-0,5^{\circ}\text{C}$. Аналитические выражения этих зависимостей имеют следующий вид:

$$\dot{O}_{ia} = N_{a/i} \cdot 0,11 - 21,7; \quad r = 0,94 \quad (9.4)$$

$$\dot{O}_{io} = N_{a/i} \cdot 0,13 - 27,3; \quad r = 0,96 \quad (9.5)$$

$$\Sigma \dot{O}_{a/i} = 18,5 \cdot N_{a/i} - 265,1; \quad r = 0,92 \quad (9.6)$$

$$\Sigma \dot{O}_{a/i} = 22,9 \cdot N'_{a/i} - 106,2; \quad r = 0,88 \quad (9.7)$$

Как видно из рис. 9.6 на агроклиматической карте выделено восемь мезорайонов существенно различающихся по показателям заморозков весной и осенью в пределах Молдовы. К карте прилагается легенда в виде табл.9.6, где дана комплексная оценка по шести показателям заморозкоопасности в воздухе и по четырем – на поверхности почвы. На севере страны $N_{\delta/n}$ в воздухе оказывается меньше 170 дней, а интенсивность заморозков весной и осенью составляет $-3,-4$ и $-5,-6^{\circ}\text{C}$. На юго-востоке (мезорайон 8) $N_{\delta/n}$ увеличивается до 200-210 дней и более, а интенсивность заморозков для средних многолетних условий ($\dot{O}_{ia}$, $\dot{O}_{io}$) не превышает $-0,5,-1,0$ и $-1,5,-2,0^{\circ}\text{C}$.

На поверхности почвы весенние заморозки прекращаются позднее, а осенние появляются раньше, поэтому повсеместно продолжительность беззаморозкового периода ($N'_{\delta/n}$) оказывается короче, чем в воздухе на 30 дней в северных мезорайонах 1, 2 и на 15 дней в южных мезорайонах 7, 8.

Выполнена вероятностная оценка дат прекращения весенних заморозков и появления осенних заморозков различной интенсивности в воздухе от 0°C до -4°C с региональным подходом. Для этой цели построен ряд номограмм обеспеченности для разных районов Молдовы. Например, весной на севере (мезорайон 1) прекращение заморозков интенсивностью в -1°C 90% лет обеспечено 22 апреля при средней многолетней дате 7 апреля, но только 1 раз в 10 лет (10% обеспеченность) они могут прекратиться 23 марта. На юге (мезорайон 8) при той же интенсивности

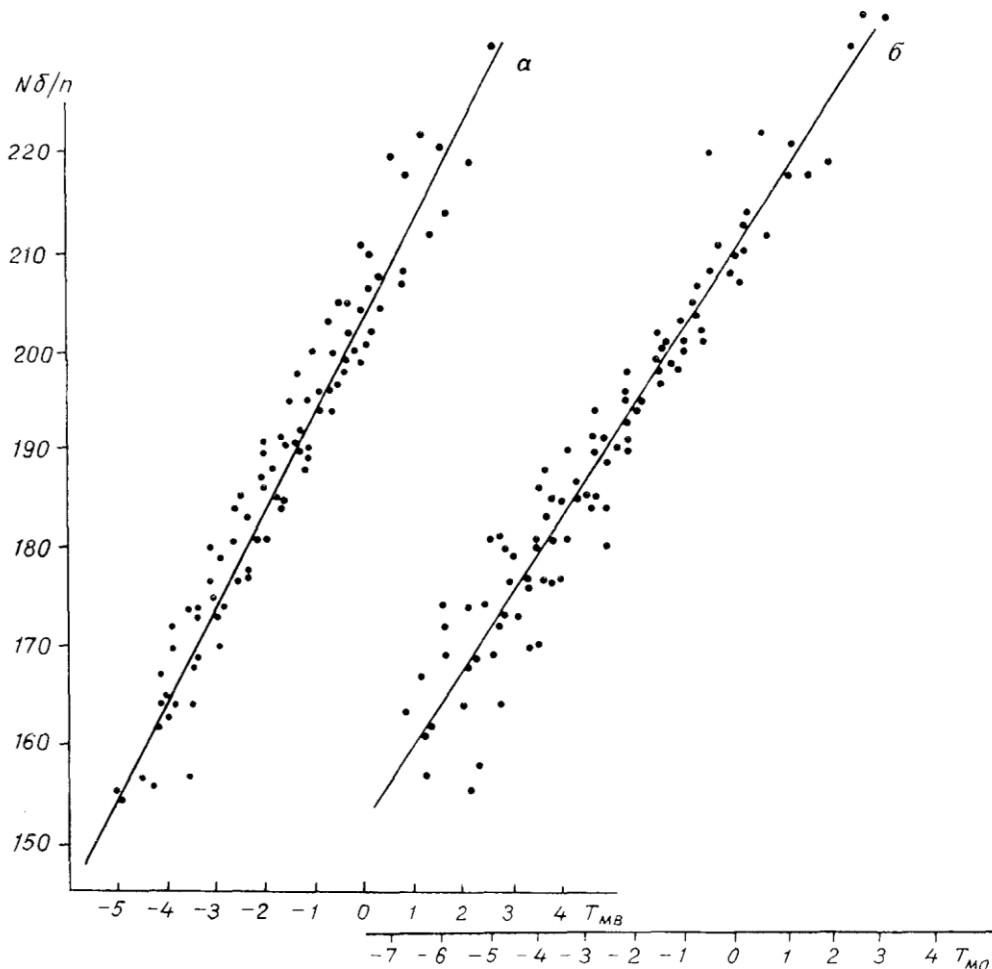


Рис.9.5 - Зависимости между продолжительностью безморозкового периода в воздухе ($N_{\delta/n}$) с интенсивностью заморозков весной а) и осенью б) на территории Молдовы.

прекращение весенних заморозков на 90% лет обеспечено 15 апреля при средней дате 1 апреля, но только 1 раз в 10 лет они могут прекратиться 16 марта.

Даты первых осенних заморозков также существенно изменяются при разной интенсивности. Так, при интенсивности заморозков в -1°C на 90% лет обеспечено их появление 28 октября при средней дате 14 октября, но только 1 раз в 10 лет они могут появиться уже 3 октября (мезорайон 1).

На юге появление первых осенних заморозков той же интенсивности на 90% обеспечено 20 ноября (при средней дате 24 октября), но только 1 раз в 10 лет они могут появиться уже 11 октября (мезорайон 8).

Практически важной задачей является оценка вероятности повреждения сельскохозяйственных культур в определенную фазу их

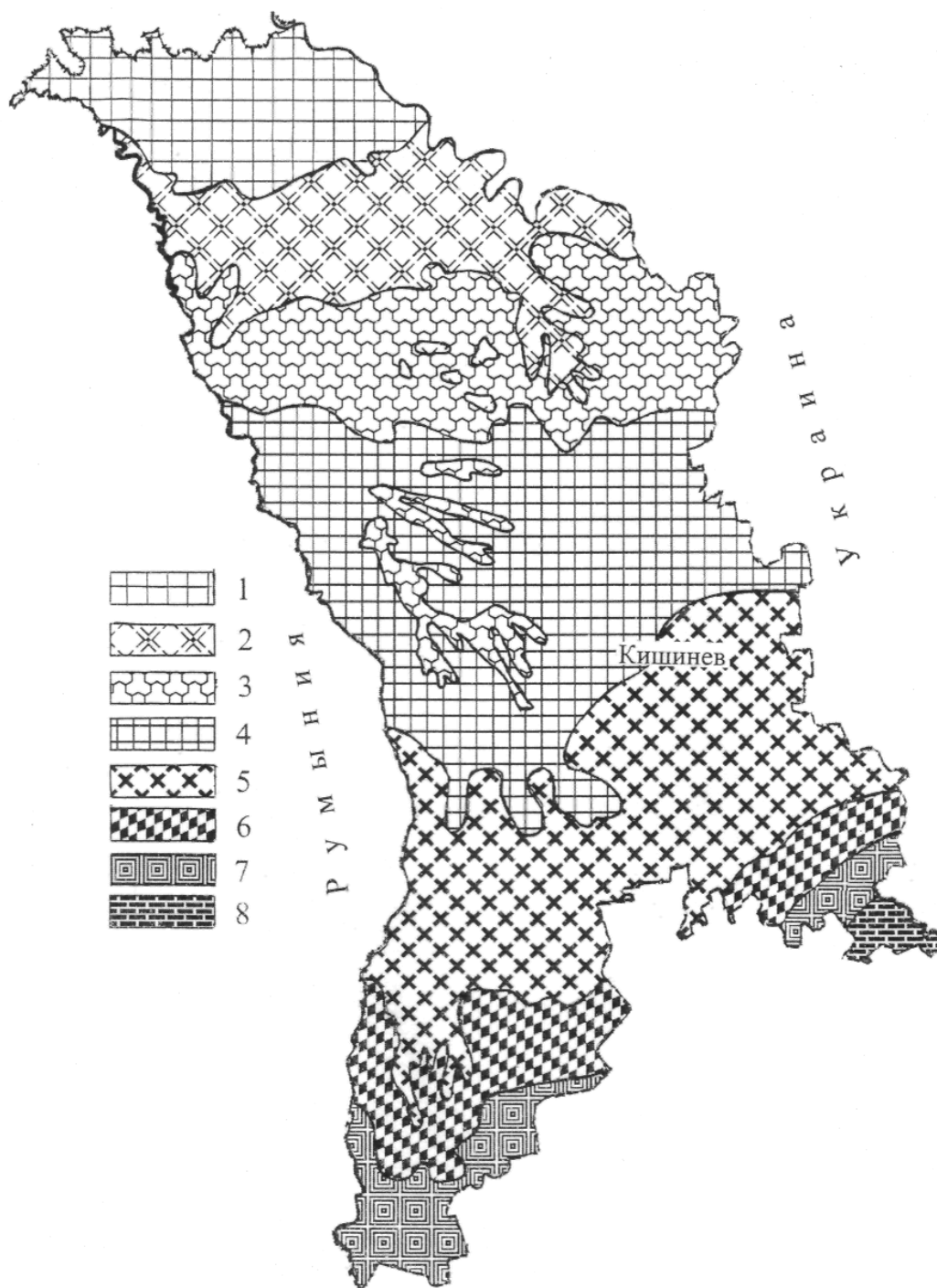


Рис.9.6 – Комплексное агроклиматическое районирование показателей заморозкоопасности на территории Молдовы. Макрорайоны 1-8 (см. легенду в табл. 9.6).

Таблица 9.6 – Комплексная оценка показателей заморозков весной и осенью на территории Молдовы

Макрорайоны	В воздухе						На поверхности почвы			
	$\ddot{A}_{\dot{A}\zeta}$	$\ddot{A}_{i\zeta}$	$N_{\delta/n}$, (дни)	$\dot{O}_{i\dot{A}}$, °C	$\dot{O}_{ii}$, °C	$\Sigma \dot{O}_{\dot{a}/i}$ °C	$\ddot{A}_{\dot{A}i}$	$\ddot{A}_{\dot{A}i}$	$N'_{\dot{a}/i}$, (дни)	$\Sigma \dot{O}'_{\dot{a}/i}$, °C
1. Крайний северный, самый заморозкоопасный	$\geq 21.IY$	$\geq 9.X$	165-170	≤ -3.42	≤ -5.2	2800-2900	$\geq 24.IY$	$\geq 6.X$	135-140	3000-3100
2. Северный, очень заморозкоопасный	21-19.IY	9-12.X	170-175	-3.4,-2.9	-5.2,-4.5	2900-3000	24-22.IY	6-8.X	140-145	3100-3300
3. Центральный, заморозкоопасный	19-17.IY	12-15.X	175-180	-2.9,-2.4	-4.5,-3.8	3000-3050	22-19.IY	8-10.X	145-155	3300-3500
4. Центральный умеренно заморозкоопасный	17-14.IY	15-18.X	180-185	-2.4,-1.9	-3.8,-3.2	3050-3150	19-17.IY	10-12.X	155-165	3500-3700
5. Южный, относительно заморозкоопасный	14-12.IY	18-20.X	185-190	-1.9,-1.4	-3.2,-2.6	3150-3250	17-15.IY	12-14.X	165-175	3700-3900
6. Южный, слабой заморозкоопасности	12-10.IY	20-23.X	190-195	-1.4,-0.9	-2.6,-1.9	3250-3350	15-13.IY	14-16.X	175-185	3900-4100
7. Южный, мало заморозкоопасный	10-9.IY	23-26.X	195-200	-0.9,-0.4	-1.9,-1.3	3350-3450	13-11.IY	16-18.X	185-190	4100-4200
8. Юго-восточный, наименее заморозкоопасный	$\leq 9.IY$	$\geq 26.X$	200-210	≥ -0.4	≥ -1.3	3450-3550	$\leq 11.IY$	$\geq 18.X$	190-195	4200-4300

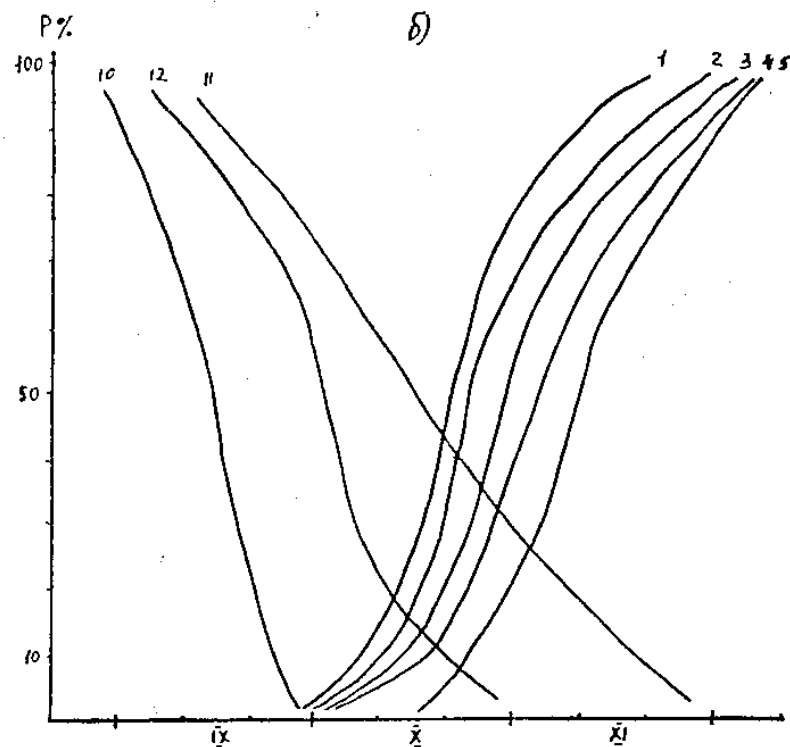
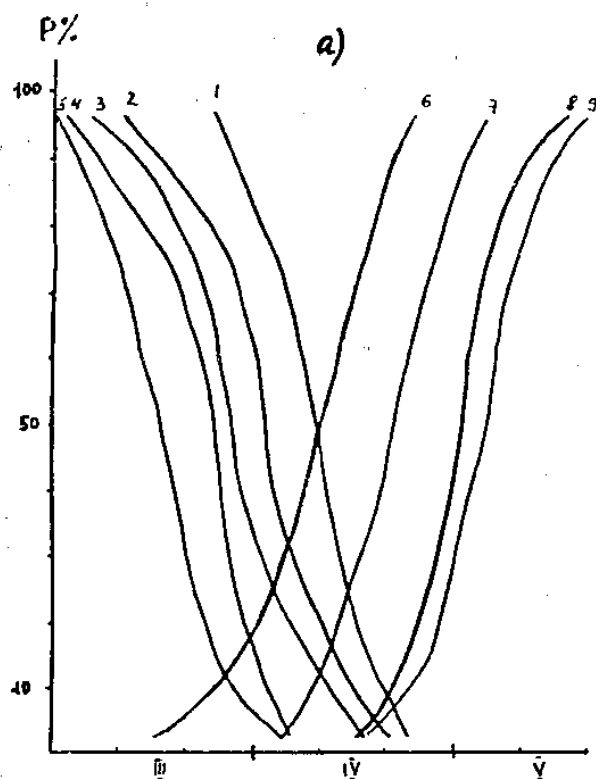


Рис.9.7 – Номограммы обеспеченности для расчета повреждения винограда весенними (а) и осенними (б) заморозками на юге Молдовы:

1- 5 кривые суммарной вероятности заморозков интенсивностью 0, -1, -2, -3, -4⁰C; 6 -12 – кривые суммарной вероятности фаз развития винограда; 6 - набухание почек, 7 – распускание почек, 8– образование 1-го листа, 9 – образование 3-го листа, 10 – конец созревания, 11 – вызревание лозы, 12 – уборка.

развития заморозками различной интенсивности. Для этой цели З.А. Мищенко и Г.В. Ляшенко [54, 70] предложили метод построения номограмм обеспеченности, на которых совмещаются кривые суммарной вероятности дат весенних и осенних заморозков различной интенсивности с кривыми суммарной вероятности дат фаз развития той или иной культуры. Такой подход реализован применительно к Молдове на примере винограда (сорта Фетяска и Алиготе). На рис.9.7 номограммы обеспеченности для весны и осени характеризуют южный район (ст. Комрат).

В точках пересечения кривых снимаются значения вероятности попадания фаз развития винограда в заморозки различной интенсивности весной и осенью. Из табл. 9.7 видно, что во все фазы развития винограда вероятность попадания в заморозки уменьшается с возрастанием интенсивности их от 0 до -4°C . Это объясняется тем, что заморозки интенсивностью в -4°C весной бывают значительно раньше набухания почек, а осенью – позднее конца созревания ягод.

Таблица 9.7 – Вероятность (%) попадания разных фаз развития винограда в заморозки различной интенсивности. Молдова

$T_{\text{мин}},$ $^{\circ}\text{C}$	Весна				Осень		
	Набу- хание почек	Распуска- ние почек	Разверты- вание 1-го листа	Разверты- вание 3-го листа	Конец созре- вания	Созре- вание лозы	Убо- рка
а) Центральный район							
0	66	34	25	18	11	23	42
-1	56	24	18	13	7	20	38
-2	27	13	10	7	6	18	33
-3	17	8	5	3	5	15	25
-4	11	0	0	0	0	12	19
б) Южный район							
0	48	25	10	8	2	18	42
-1	33	17	7	6	0	16	37
-2	25	13	3	3	0	14	35
-3	18	4	0	0	0	12	30
-4	13	3	0	0	0	8	25

Для достоверной оценки вероятности повреждения винограда опасными заморозками различной интенсивности необходимо учитывать критические минимальные температуры в разные фазы развития. Таким образом, вероятность повреждения заморозками той или иной культуры можно

рассчитать для любого района на территории СНГ, используя следующие данные:

- 1) вероятность наступления заморозков различной интенсивности весной и осенью;
- 2) вероятность наступления дат фаз развития конкретной культуры;
- 3) заморозкоустойчивость (критические температуры повреждения) в разные фазы развития.

Глава 10 АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАСУХ, СУХОВЕЕВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА УРОЖАЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

На территории Земного шара в условиях засушливых и сухих климатов часто возникают засухи и суховеи. Они причиняют большой ущерб сельскому хозяйству. В годы катастрофических засух гибель урожая на огромных пространствах представляет собой настоящее бедствие. Из неблагоприятных явлений погоды засухи наносят наибольший ущерб сельскому хозяйству многих стран СНГ, в том числе Украины, так как около 70 % всех посевных площадей зерновых культур расположено в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения. Поэтому изучение методов агроклиматической оценки засух и суховеев применительно к территориям отдельных стран и регионов имеет большое научное и прикладное значение.

10.1 Общие сведения о засухах, их происхождении и типах

Чаще всего засухи возникают асинхронно. В одном крупном регионе, где господствуют в теплое время года антициклоны, имеет место засуха, а в другом регионе в это время преобладают циклоны влаги. Очень редко (один раз в 30-50 лет) засухи имеют глобальный характер, охватывая синхронно почти все Северное полушарие. Несмотря на повышение культуры земледелия до настоящего времени не удается полностью компенсировать потери урожая от засух. Материальный ущерб от сильных засух в связи с потерей урожая в сельском хозяйстве и в пищевой промышленности исчисляется сотнями и даже миллиардами долларов.

Например, катастрофическая засуха 1976 года, охватившая всю Западную Европу, причинила огромный материальный ущерб десяткам стран. Во Франции, кроме значительного снижения урожая зерновых культур, сильно упал урожай трав; от пожаров серьезно пострадали леса. В Англии засуха 1976 года нанесла большой ущерб сельскому и водному хозяйствам (запасы воды в резервуарах понизились до 40-60 %). А на Европейской части бывшего СССР 1976 был весьма влажный и урожай большинства культур оказался выше среднего многолетнего. Аналогичные по силе засухи наблюдались на ЕЧ территории СНГ в 1972 и 1975 годах, когда в течении двух месяцев (май-июнь) над ней стационарировал мощный антициклон. Недобор валовых сборов зерна по сравнению со средними за пятилетки составил: в 1972 году 13 млн.т., а в 1975 году 42 млн.т.

Систематические исследования по изучению засух начались со второй половине XIX века. Наиболее значительные результаты разноплановых исследований получены за последние 40-50 лет. Ряд исследований изучали происхождение засух, разрабатывали их количественные критерии и

составляли каталоги засух – А.М. Алпатьев, Н.В. Бова, О.А. Дроздов, А.В. Мещерская, В.М. Обухов, Д.А. Педь, А.И. Руденко, Г.Т. Селянинов, Е.С. Уланова и др. [8, 31, 81, 95, 107]. Для отдельных сельскохозяйственных культур получены количественные показатели по снижению урожая в зависимости от интенсивности засух.

Под засухой понимают сложное агрометеорологическое явление, в результате которого у растения нарушается водный баланс; под влиянием недостатка влаги, вызванного усиленным испарением или длительным бездождем, растение увядает или гибнет. Образование засух на территории СНГ связано с мощными атмосферными процессами, которые приводят к установлению длительной антициклональной погоды. Чаще всего в 70 % случаев антициклоны на ЕЧ СНГ приходят из Арктики. Воздушные массы таких антициклонов характеризуются большой прозрачностью и малой влажностью воздуха. Устанавливались на центральной, южной или юго-восточной территории, антициклоны приводят к формированию ясной и малооблачной погоды.

Вследствие этого арктический воздух быстро прогревается, температура его в приземном слое воздуха возрастает, относительная влажность воздуха резко падает (до 30 % и ниже). Идет быстрое испарение почвенной влаги. Длительное время не выпадают осадки. Следствием таких процессов является образование засух. Следует подчеркнуть, что свойственная засухам уменьшенная затрата тепла на испарение (она обусловлена малым количеством влаги в почве) способствует резкому увеличению затрат радиационного тепла на прогревание воздуха в приземном слое. Это придает засухам черты процесса саморазвития.

Процесс такого типа наиболее эффективно проявляется в условиях атмосферной циркуляции, часто наблюдающихся в мощных антициклонах. Следует, что циркуляционные процессы, приводящие к образованию засух, одновременно часто создают предпосылки к появлению суховеев. Можно утверждать, что суховеи также характерны для засухи, как засуха характерна для континентального климата.

Различают три типа засух: атмосферную, почвенную и общую. Атмосферная засуха предшествует почвенной. Она возникает при высоких температурах и большой сухости воздуха, когда надземные части растений теряют так много воды через транспирацию, что корневая система не успевает подавать воду в необходимом количестве. Почвенная засуха возникает как следствие атмосферной засухи, когда при усиленном испарении запасы влаги в почве быстро уменьшаются и становятся недостаточными для нормального роста и развития растений. Наступает несоответствие между потребностью растений во влаге и поступлением ее из почвы. Это вызывает существенное снижение урожайности сельскохозяйственных культур. Когда оба типа засух наблюдаются

совместно, наступает общая засуха; отрицательный эффект от ее действия становится наибольшим.

По времени наступления различают весеннюю, летнюю и осеннюю засухи. Весенняя засуха характеризуется невысокими температурами воздуха при низкой относительной влажности воздуха (ниже 30 %), малыми запасами продуктивной влаги (ниже 10 мм в слое почвы 0-50 см) и сухими ветрами. Продолжительная засуха весной существенно снижает урожай культур. Летняя засуха обычно отличается высокими температурами воздуха, вызывающими повышенную испаряемость. Последствия летней засухи проявляются в щуплости зерна и резком снижении урожая культур. Осенняя засуха отличается невысокими температурами воздуха. Она наиболее опасна для посевов озимых зерновых культур, которые не успевают укорениться, пройти фазу кущения и нередко погибают в зимний период. По данным А.В. Процерова (95) повторяемость засух на ЕЧ СНГ следующая: весенних 42 %, летних 33 %, осенних 25 %.

Разные группы растений в условиях засухи по-разному управляют своим водным режимом. Одни растения уменьшают скорость транспирации, что является приспособлением к атмосферной засухе; другие регулируют процесс поглощения воды в почве, что является приспособлением к почвенной засухе. Многие засухоустойчивые растения характеризуются мелкоклеточностью строения, большим числом устьиц на единицу поверхности и малыми их размерами. Эти и другие приспособительные реакции определяют разную потребность растений во влаге. Поэтому наиболее правильно определить влияние засух различной интенсивности можно только применительно к определенной культуре.

Улановой Е.С. (107) проведена агрометеорологическая оценка засух с 1991 по 1985 гг. применительно к зерновым культурам. Выявлено, что наибольший ущерб зерновому хозяйству стран СНГ наносят весенне-летние засухи, охватывающие многие зерновые районы. К наиболее сильным засухам такого типа относятся засухи следующих лет: 1891, 1901, 1920, 1921, 1924, 1936, 1946, 1954, 1955, 1965, 1972, 1975, 1979, 1981, 1984. Среди них жесточайшими были засухи 1975 и 1981 годов, которые охватили все зерновые районы ЕЧ СНГ, Сибири и Казахстана. Нередки засухи, которые охватывают 5-6 основных зерновых районов и также значительно снижают урожай зерновых культур. К таким засухам можно отнести засухи следующих лет: 1892, 1897, 1906, 1911, 1914, 1931, 1934, 1938, 1939, 1948, 1949, 1953, 1957, 1967, 1982 гг.

На рис. 10.1 представлена динамика сильных, средних засух и число крупных зерновых районов, охваченных этими засухами по пятилетиям на территории СНГ. К сильным засухам отнесены обширные засухи, охватывающие по 7-10 основных зерновых районов, к средним – охватывающие по 5-6 зерновых районов. Наиболее неблагоприятными

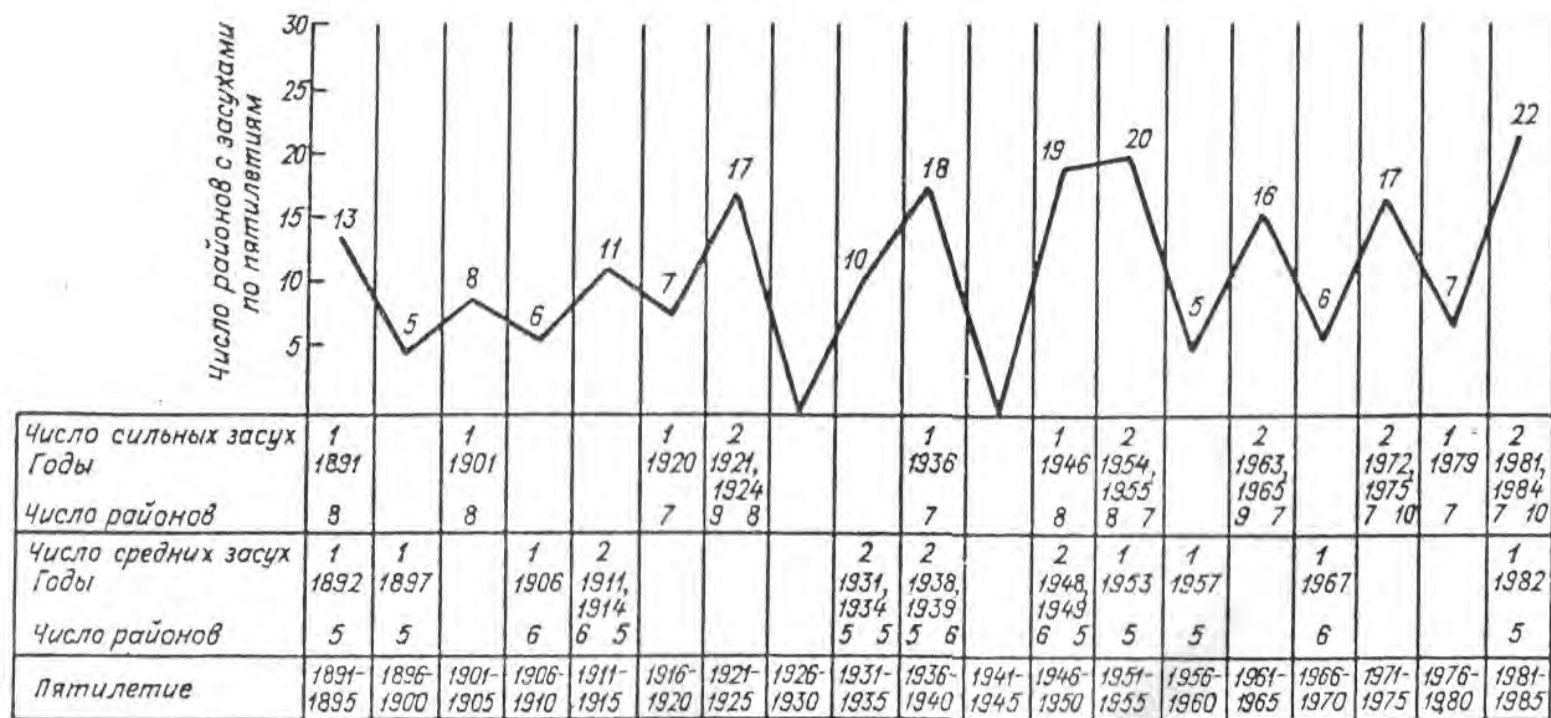


Рис. 10.1 – Динамика сильных и средних засух с охватом не менее пяти зерновых районов по пятилеткам с 1881 по 1985 гг.

пятилетиями по условиям формирования урожая зерновых культур были пятилетки с 1951 по 1955 и с 1981 по 1985 г., когда наблюдалось по две сильные и одной средней засухи, а количество районов за эти пятилетия, охваченные засухами, составило соответственно 20 и 22 района.

10.2 Агроклиматические показатели засух и методы их расчетов

В конце прошлого века В.В. Докучаев для характеристики степени засушливости района применил сопоставление осадков с испаряемостью. Эта идея нашла широкое признание и в дальнейшем развивалась и углублялась многими исследователями. В ряде работ и сейчас для оценки степени засушливости климата применяются условные показатели увлажнения. Известны формулы Г.Т. Селянинова, Р.Э. Давида, П.И. Колоскова, В.П. Попова, С.А. Сапожниковой, Д.И. Шашко и других исследователей. Некоторые из этих показателей рассмотрены в § 7.4 седьмой главы.

Согласно исследованиями Г.Т. Селянинова [92] показателем очень сильных засух может служить гидротермический коэффициент, равный 0,3 и менее сильных – при ГТК от 0,31 до 0,6, средних – при ГТК от 0,61 до 0,8 и слабых – при ГТК от 0,8 до 1,0. Этот показатель был применен агрометеорологами ВИРа для оценки влияния засух на урожай яровых зерновых культур. Годами с засухами считались те, в которые урожай по сравнению со средним многолетним значением снижался более, чем на 25% [95].

Дифференциация показателя засух в виде ГТК по климатическим зонам дала такие результаты

1. Для лесной зоны при среднем многолетнем значении ГТК=1,2 показатель засухи равен 0,7.
2. Для лесостепной зоны при среднем многолетнем значении ГТК=0,8 показатель засухи равен 0,6.
3. Для степной зоны при среднем многолетнем значении ГТК= 0,7 показатель засухи равен 0,6.

Заслуживают внимания исследования Р.Э. Давида [77], который обосновал возможность использования дефицита давления водяного пара в качестве мерила транспирации культурных растений. Для этой цели им предложена формула

$$\frac{E - e}{2} = f \quad (10.1)$$

где f – испаряемость, мм;

E – давление насыщения при данной температуре воздуха;

e – парциальное давление водяного пара. В дальнейшем многие исследователи использовали это обоснование для оценки влагообеспеченности и степени засушливости.

Для общей оценки сухости или влажности климата В.П.Попов [77] предложил формулу

$$P = \frac{\sum G}{2,4(t - t') \cdot n} \quad (10.2)$$

где P – показатель сухости климата;

$\sum G$ - годовое количество эффективных осадков;

$(t - t')$ - психрометрическая разность температур;

n – коэффициент, зависящий от длины дня.

С.А.Сапожникова [89] предложила коэффициент увлажнения КУ, положив в его основу ГТК

$$\hat{E}\hat{O} = \frac{\hat{A} + D_A}{\gamma \sum T_{10}}, \quad (10.3)$$

где B – влагозапасы почвы, рассчитанные по зимне-весенним осадкам;

D_A – осадки за теплый период с температурой воздуха выше 10^0C ;

γ – коэффициент, переводящий $\sum T_{10}$ в испаряемость по соотношению $\sum \hat{O}_{10}$ и $\sum (\hat{A} - \hat{a})$ с учетом изменения этого соотношения в отдельных районах. Этот коэффициент КУ может быть использован и для оценки общей засушливости климата.

Г.П. Дубинский [77] объединил понятие засухи и суховея, предложив единый энергетический подход к их оценке на основе уравнения теплового баланса. В качестве критерия засушливо-суховеяных явлений он предложил коэффициент тепло-влагообмена (KTB), представляющий собой отношение затрат тепла на испарение (LE) к затратам тепла на турбулентный теплообмен с прилежащими слоями воздуха (P). Этот показатель рассчитывается по формуле:

$$\hat{E}\hat{O}\hat{A} = \frac{LE}{P} \quad (10.4)$$

Коэффициент теплообмена нашел применение в исследованиях по мелиорации земель в Украине для обоснования режима орошения.

В.М. Обухов, О.А. Дроздов и А.В. Мещерская [31] оценивают атмосферные засухи по сумме осадков в отдельные годы в процентах от средней многолетней величины, т.е. климатической нормы. Интенсивность

засух в отдельные месяцы или сезоны теплого времени года определяются следующим образом. Очень сильная засуха наблюдается при сумме осадков менее 50% от климатической нормы; сильная засуха определяется при суммах осадков, составляющих 50-70% от климатической нормы; средняя засуха характеризуется суммами осадков порядка 71-80% от средней многолетней величины.

Существенным недостатком многих показателей увлажнения является то., что они характеризуют условия засушливости климата, а не засуху как временное явление. Кроме того, они не связаны с характеристиками урожайности отдельных сельскохозяйственных культур при засухах различной интенсивности.

Р.Э. Давид, А.М. Алпатыев, А.В. Процеров [8, 95] предложили в качестве показателя напряженности засух снижение урожая по сравнению со средней многолетней величиной. Применительно к зерновым культурам при средних засухах урожайность снижается до 25% (ГТК = 0,5-0,6); при сильных – до 50% (ГТК=0,4-0,5); при очень сильных – более, чем на 50% от средней многолетней величины.

А.Н. Руденко [95] осуществил комплексный подход к оценке засух применительно к картофелю и яровой пшенице, возделываемых на ЕЧ территории СНГ. В период клубнеобразования картофеля очень сильная засуха характеризуется величиной ГТК ниже 0,4 и снижением урожая на 50% по сравнению со средней многолетней величиной. Сильная и средняя засуха характеризуются значениями ГТК порядка 0,4-0,6 и снижением урожая клубней картофеля на 25% и более.

В качестве критериев интенсивности засух для яровой пшеницы использованы осадки и величины снижения урожаев. Очень сильная засуха приводит к снижению урожая на 50% (ей соответствует сумма осадков за период всходы – колошение, равная 18 мм). Сильная засуха снижает урожай яровой пшеницы на 25% и более (ей соответствует сумма осадков за тот же период, равная 30-35 мм). Средняя засуха снижает урожай на 20% (ей соответствуют осадки за период всходы-колошение более 35 мм).

Для оценки общих засух (атмосферной и почвенной) ряд исследователей вводят в коэффициенты увлажнения наряду с осадками и температурой, запасы продуктивной влаги в почве весной. Например, Н.В. Бова [77] предложил показатель засушливости (K_3) рассчитывать по формуле

$$\hat{E}_c = \frac{10 (W_{i0} + \Sigma r)}{T_{\tilde{n}} \geq 0^{\circ} \tilde{N}}, \quad (10.5)$$

где W_{i0} – запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см;

Σr – количество осадков, выпавших от начала весны до даты расчета, мм;

ΣT_N – сумма средних суточных температур воздуха от даты перехода T_C через 0°C до даты расчета.

Началом засухи принято считать значение K_3 , равное 1,5, так как при этом показателе начинается повреждение засухой яровых зерновых культур.

Е.С. Уланова [107] для оценки общих засух, применительно к озимой пшенице, предложила показатель увлажнения (K_y), который рассчитывается по формуле:

$$\hat{E}_{\dot{o}} = \frac{W_{\dot{a}} + \sum r_{V-II}}{0,01 \sum \dot{O}_{\dot{o}-\dot{o}^2}}, \quad (10.6)$$

где $W_{\dot{a}}$ – запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы во время перехода T_C весной через 5°C ;

$\sum r_{\dot{o}-\dot{o}^2}$ – сумма осадков за май-июнь, мм;

$\sum \dot{O}_{\dot{o}-\dot{o}^2}$ – сумма среднесуточных температур воздуха за май-июнь.

Далее была установлена зависимость урожайности озимой пшеницы, осредненной по административным областям, от показателя увлажнения K_y в весенне-летний период. Как видно из рис.10.2, зависимость урожая этой культуры (U_{II}) при благоприятных осеннее зимних условиях оказалась тесной. Корреляционное отношение, показывающее тесноту этой связи, высокое и равно 0,91.

Для зерновых районов на Северном Кавказе, юго-востоке Украины и в Поволжье Уланова Е. С. дала оценку интенсивности засух по показателю K_y и уровню урожайности озимой пшеницы. Значения K_y соответствуют:

$K_y < 15$ – очень сильная засуха, $U_{II} \approx 8-10$ ц/га;

$15 \leq K_y < 20$ – сильная засуха, $U_{II} \approx 10-15$ ц/га

$20 \leq K_y < 25$ – средняя засуха, $U_{II} \approx 15-20$ ц/га.

Следует рассмотреть еще один подход к количественной оценке засух, предложенный Д.А. Педем [81]. Его показатель засушливости (S_3) рассчитывается по формуле:

$$S_{\varsigma} = \frac{\Delta \dot{O}}{\sigma_{\dot{O}}} - \frac{\Delta r}{\sigma_r}, \quad (10.7)$$

где ΔT , Δr – отклонения от средних многолетних значений соответственно средней месячной (декадной, сезонной) температуры воздуха, количества осадков, мм;

σ_T , σ_r – их стандартные среднеквадратические отклонения.

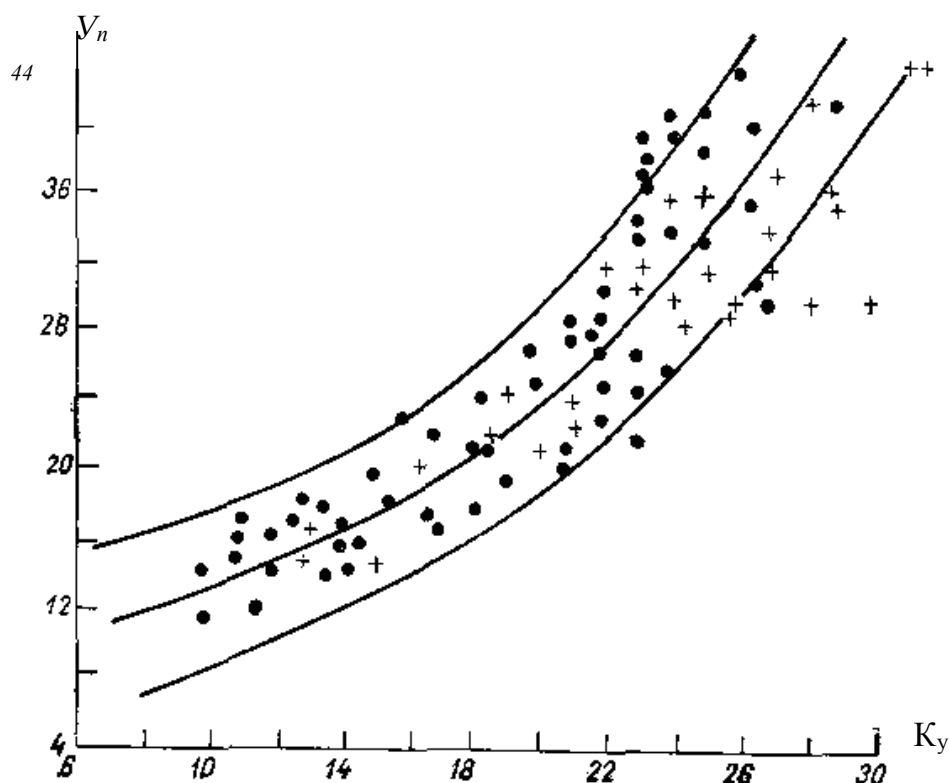


Рис.10.2 - Зависимость урожайности Y_n (ц/га) озимой пшеницы сортов Безостая 1 (1) и Мироновская 808 (2) от показателя K_y при благоприятных осенне-зимних условиях

Предложена классификация параметра S_3 для оценки интенсивности засух и условий увлажнения: норма (от -1 до +1); слабая засуха (от 1 до 2); средняя засуха (от 2 до 3); сильная засуха (≥ 3); слабое увлажнение (от -1 до -2); среднее (от -2 до -3); сильное избыточное увлажнение (> 3). Индекс Педя весьма перспективен для агроклиматической оценки засух различной интенсивности, условий увлажнения на той или иной территории применительно к отдельным сельскохозяйственным культурам с учетом вегетативного и репродуктивного периодов их развития. А также уровня урожайности.

В последнее время большинством исследователей признано, что наиболее надежным показателем засухи является влажность пахотного слоя почвы (0-20 см), поскольку от влажности этого слоя зависит развитие корневой системы растений, возможность использования питательных веществ самой богатой части почвы, деятельность полезных микроорганизмов. Например, по данным М.С. Кулика [77] снижение запасов продуктивной влаги в пахотном слое почвы до 19 мм следует

считать началом засушливого периода, а до 9 мм – началом сухого периода. Поэтому декады, в течение которых запасы продуктивной влаги в пахотном слое оказываются менее 20 мм, относят к засушливым, а декады с запасами влаги менее 10 мм – к сухим.

10.3 Вероятностная оценка засух на территории СНГ

Известно, что средняя многолетняя климатическая величина очень редко наблюдается в отдельный конкретный год и получается в результате того, что половина всех лет имеет величины меньше ее, а вторая половина лет имеет величины больше средней. Поэтому для наиболее полной и точной оценки степени засушливости климата необходимо располагать вероятностными характеристиками того или иного показателя увлажнения

Под вероятностью явления понимается статистическая повторяемость явления за длинный (не менее 25-30 лет) ряд лет, выраженная в процентах от всего количества случаев наблюдений. Поскольку показатели засух отличаются ассиметричным распределением, целесообразно для расчета суммарной вероятности и построения кривой обеспеченности использовать формулу Г.А. Алексеева (см. §2.3 во второй главе).

Если ставится задача определения вероятности засух с помощью гидротермического коэффициента Селянинова, применительно к зерновым культурам, то для этой цели необходимо выполнить следующие этапы работы: 1) для одной или нескольких станций рассчитать среднюю многолетнюю величину ГТК за период май-июнь; 2) определить в какой климатической зоне расположена станция и далее найти агроклиматический показатель засухи; 3) по найденным значениям суммарной вероятности ГТК определяется обеспеченность засухи, т.е. сколько раз из 10 лет она возможна в конкретном районе. Аналогичная последовательность расчетов выполняется также по суммам осадков и другим показателям увлажнения.

На рис. 10.3 представлена карта вероятности засух на территории СНГ, которая дает представление об их опасности в различных районах для сельскохозяйственных культур, вегетации которых в основном проходит с мая по июнь. В центральных районах России и Беларуси вероятность засух не превышает 10-20%, т.е. 1-2 раза в 10 лет. В южных и юго-восточных районах ЕЧ СНГ вероятность засух возрастает до 30-40%. В Казахстане и на юге Средней Азии вероятность засух увеличивается до 60% (т.е. они могут быть 6 раз в 10 лет).

Более детальная вероятностная оценка засух по критериям ГТК выполнена Е.С. Улановой [107]. на основе анализа соответствующих данных за 95 лет. Как видно из таблицы 10.1, вероятность сильных засух

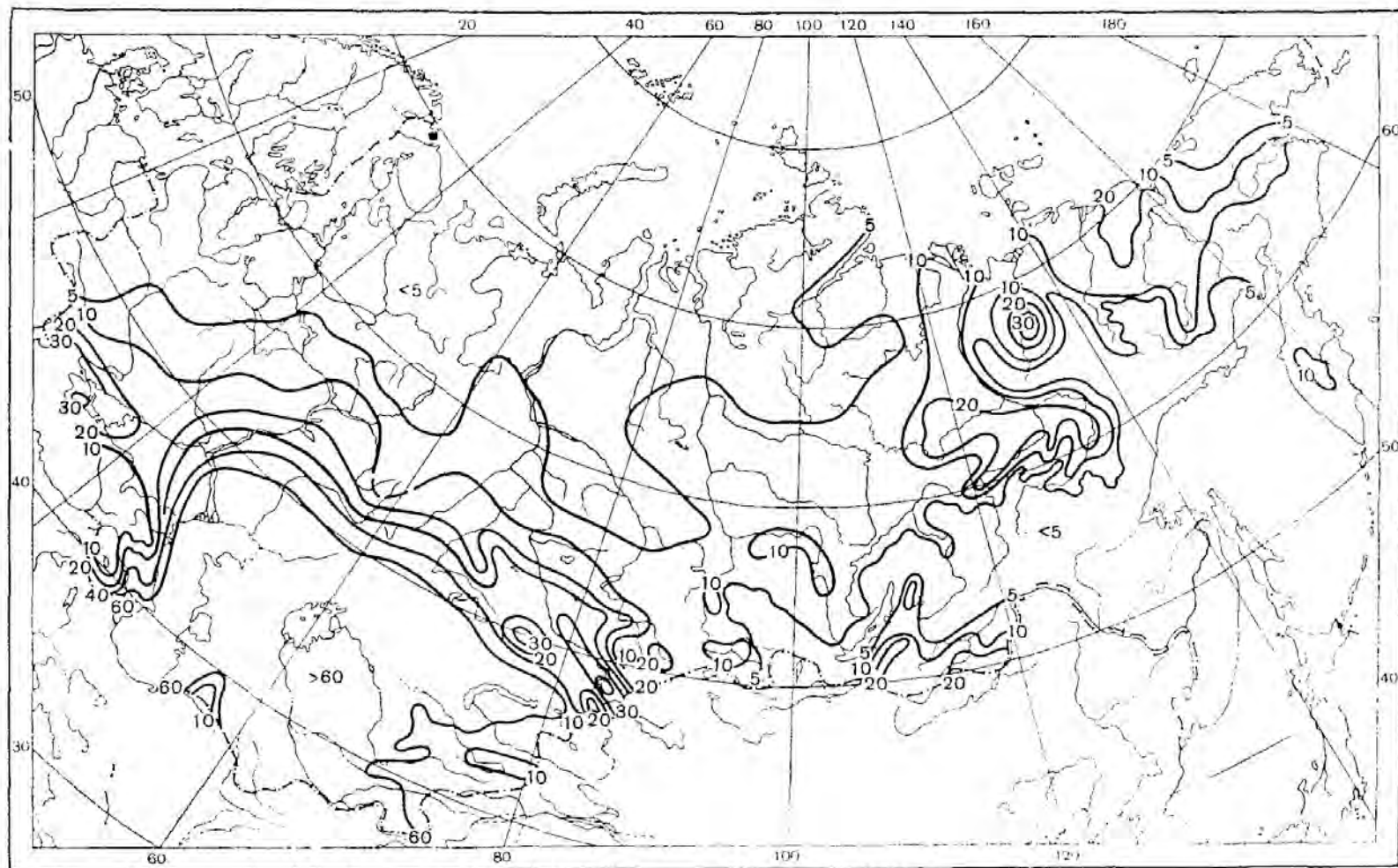


Рис.10.3 - Вероятность засух (%) по ГТК на территории СНГ

колеблется от 8-9% (Средний Урал, степные районы Западной Сибири) до 23% (Нижнее Поволжье, Южный Урал). Вероятность сильных и средних засух изменяется в пределах 20-24% (Средний Урал, лесостепь и степь Украины) до 40-43% (Нижнее Поволжье и северные области Казахстана).

Таблица 10.1 - Вероятность сильных и средних атмосферных засух с 1981 по 1985 годы в различных регионах СНГ

Территория	Количество засух			Вероятность засух, %		
	сильных	средних	всего	сильных	средних	всего
1. Лесостепь Украины	12	10	22	13	10	23
2. Степь Украины	14	8	22	15	8	23
3. Северный Кавказ	14	14	28	15	15	30
4. Нижнее Поволжье	22	16	38	23	17	40
5. Среднее Поволжье	16	18	34	17	19	36
6. Центрально-черноземные области	11	11	22	12	12	24
7. Южный Урал	22	18	40	23	19	42
8. Средний Урал	8	11	19	8	12	20
9. Западная Сибирь (степные районы)	9	16	25	9	17	26
10. Северные области Казахстана	17	24	41	18	25	43

Дальнейшая детализация вероятностных характеристик засух возможна на основе отдельной оценки весенних, летних и осенних засух применительно к конкретному региону. Такой подход осуществил И.Е. Бучинский [16] на примере территории Украины. Для этой цели он предложил плювиотермический коэффициент (ПТК), который представляет собой отношение суммы осадков к сумме средних месячных температур за какой-либо период. Далее была установлена тесная связь между ГТК и ПТК (при этом оказалось, что величины ПТК больше ГТК в 3 раза). Вероятностные характеристики засух определены за период с 1871 по 1959 годы отдельно для весенних, летних и осенних засух.

На рис.10.4 представлена агроклиматическая карта весенних засух (апрель-июнь) в Украине. Наибольшая вероятность весенних засух (51-60%) наблюдается на юге в узкой полосе, примыкающей к Сивашу. На этой территории засухи в среднем за десятилетие могут повторяться 5—6 раз, т.е. через год. Севернее до линии Херсон – Нижние Серогозы-

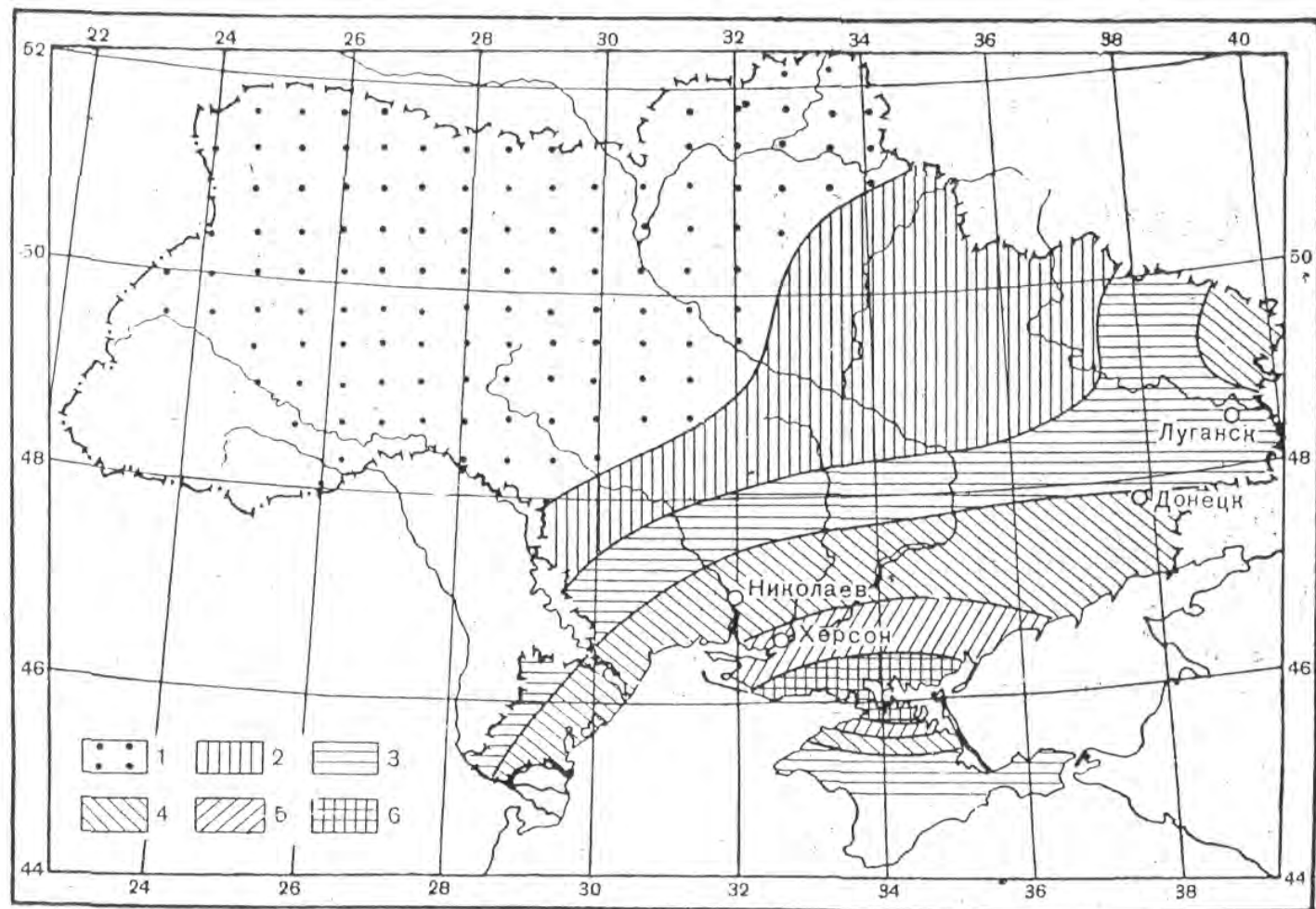


Рис.10.4 - Вероятность весенних засух на Украине.
 1- до 10 %, 2 – 11-20 %, 3 – 21-30 %, 4 – 31-40 %, 5 – 41-50 %, 6 – 51-60 %.

Мелитополь - Бердянск и южнее до Джанкоя вероятность засухи составляет 40%.

Дальше к северу располагается территория, на которой вероятность засух составляет 30%. Граница ее проходит вдоль линии Измаил – Сербка – Баштанка – Запорожье - Донецк. При продвижении на север и запад страны вероятность весенних засух существенно уменьшается. В Полесье вероятность засух не превышает 10%, а в лесостепи колеблется в пределах 11-20% (т.е. могут быть 1-2 раза в 10 лет).

Для раскрытия межгодовой изменчивости показателя увлажнения (M_d) Д.И.Шашко [115] составил расчетную табл.10.2, характеризующую вероятность (%) различно увлажненных месяцев в отдельные годы (от сухого до избыточно влажного) для разных средних многолетних за месяц коэффициентов увлажнения в виде $\Sigma r / \Sigma d$ применительно к территории СНГ. Наглядно видно, что при M_d , равном 0,10, вероятность сухих лет

Таблица 10.2 - Вероятность(%) различно увлажненных месяцев для средних за месяц коэффициентов увлажнения M_d

$\frac{\Sigma r}{\Sigma d}$	Год, M_d различной вероятности, %					
	сухой, <0,15	засушли- вый, 0,15-0,25	полуза- сушливый, 0,25-0,35	полу- влажный, 0,35-0,45	влажный, 0,45-0,60	избыточно влажный >0,60
0.05	98	2	0	0	0	0
0.10	80-	16	4	0	0	0
0.15	63	22	10	3	2	0
0.20	45	28	13	8	4	2
0.25	34	29	14	10	8	5
0.30	27	24	21	8	10	10
0.35	21	21	21	11	12	14
0.40	17	18	19	13	13	20
0.45	15	15	18	15	12	25
0.50	13	13	15	15	19	26
0.55	11	20	16	13	16	34
0.60	10	9	13	13	18	37
0.70	8	9	9	10	17	47
0.80	7	8	7	8	15	55
1.00	5	6	6	7	10	66
1.20	4	4	5	5	8	84

составляет 80%. При M_d , равном 0,45 и характеризующим условия достаточного увлажнения. Вероятность сухих и засушливых лет мала и не превышает 15%, а вероятность избыточно влажных условий не превышает

25% (2-3 раза в 10 лет). В условиях избыточного увлажнения при M_d , равном 1.0-1.20 вероятность сухих, засушливых и полузасушливых лет мала (1 раз в 20 лет), а избыточно-влажных лет велика и составляет 66-84% (7-8 раз) в 10 лет.

10.4 Агроклиматические показатели суховеев и методы их расчетов

Сложность и многообразие явления суховея обусловили большое разнообразие определений и количественных показателей, предложенных как метеорологами, так и агрометеорологами. Например, А.А. Каминский под суховеем понимает «такой ветер, при котором относительная влажность воздуха ни в один из сроков наблюдений не поднимается выше 50% при относительно высокой температуре». Н.К. Софотеров суховейными считает дни с максимальной температурой 30°C и дневным дефицитом влажности воздуха 24 мм. М.С. Кулик [77] считает, что критерием суховея является относительная влажность воздуха в 13 часов менее 30%, температура выше 25°C при скорости ветра 5 м/сек. Для очень засушливых районов Казахстана Е.И. Бучинский и Н.Ф. Самохвалов [16] в этом критерии снижают пределы относительной влажности воздуха до 20%, температуры до $25-30^{\circ}\text{C}$, а скорости ветра в 3-5 м/с.

Г.Т. Селянинов [92] очень удачно выразил то основное, что характерно для суховеев – их «иссушающую силу», т.е. испаряемости и показал, что она может проявляться при различных сочетаниях температуры, влажности воздуха и скорости ветра. Он предложил считать суховейными дни с суточным испарением по испарителю Вильда (испаряемостью) 8 мм и более.

Исходя из вышеизложенного, под суховеем следует понимать горизонтальный поток воздуха с повышенной температурой и низкой относительной влажностью, возникающей на периферии антициклона чаще всего в трансформировавшемся арктическом воздухе. Таким образом, суховеи, как и засухи, развиваются главным образом в воздушных массах, приходящих с севера. Перемещаясь над ЕЧ СНГ в умеренные широты, арктический воздух втягивается в антициклоническую циркуляцию и далее, уже прогретый и сухой, по южной и юго-западной периферии антициклона проникает в степные и лесостепные районы ЕЧ в виде суховея. Поэтому в юго-восточных районах и южной полосе СНГ суховей обычно имеет восточное, юго-восточное или южное направление. В Западной Сибири суховей может иметь юго-западное, а в Средней Азии – северное направление.

При суховеях растения повреждаются из-за нарушения в их организмах водного баланса в сторону превышения расхода влаги через транспирацию над ее приходом через корневую систему. Повреждение

проявляется в увядании, пожелтении и усыхании листьев. Образовании щуплого зерна. Сильнее всего действие суховея на растения проявляется во время их колошения или цветения. Это объясняется тем, что в данный период развития растений при действии суховея верхние молодые листья (по Н.А. Максиму) перехватывают воду и питательные вещества.

Исследования Е.А. Цубербиллер [113] показали, что причиной повреждения от суховея является несоответствие между водоснабжением растений и испаряемостью, которое во время суховея переходит через некоторый допустимый предел. Этот вредный для культурных растений предел непостоянный и меняется в зависимости от ряда факторов. Интенсивность повреждений зависит от степени этого несоответствия.

Е.А. Цубербиллер в качестве показателя повреждения растений использовала «эвапорометрический коэффициент» Скворцова:

$$\hat{E}_y = \frac{\dot{E}_\delta}{\dot{E}_{\delta 0}}, \quad (10.9)$$

где $\dot{E}_\delta$ – испарение с естественной поверхности;

$\dot{E}_{\delta 0}$ – испарение со «стандартной» водной поверхности (испаряемость).
Значение $\dot{E}_{\delta 0}$ рассчитывают по формуле Мейера-Тихомирова:

$$\dot{E}_{\delta 0} = 0,012 D, \quad (10.10)$$

где D – дефицит давления водяного пара, гПа.

При нормальной жизнедеятельности зерновых культур значение K_9 в дневные часы сохраняется в пределах 0,8-1,5.

Она установила агрометеорологические показатели суховея, разделив их по интенсивности на слабые, средние, интенсивные и очень интенсивные и дала оценку степени повреждения растений на примере зерновых культур (табл.10.3). При суховеях слабой интенсивности дневные значения дефицита влажности воздуха не превышают 10-14 мм, запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см оказываются менее 80 мм, а K_9 равен 0,5-0,4. Такие суховеи могут вызывать лишь легкое снижение тургора растений.

При очень интенсивных суховеях дефицит влажности воздуха увеличивается в 2-3 раза, запасы продуктивной влаги в почве уменьшаются до 30 мм и менее, а K_9 понижается до 0,2-0,1. Эти суховеи вызывают сильное повреждение вегетативной массы, захват зерна через 1-2 дня. Большую опасность для растений представляют длительные суховеи, наблюдающиеся несколько дней подряд.

Частота появления суховея, число дней с ними, их длительность и

Таблица 10.3 – Агрометеорологические показатели суховеев различной интенсивности и повреждений зерновых культур

Тип суховеев	Испаряемость, мм/сут (ист)	Дефицит влажности в будке в 13 ч при разной скорости ветра, мм		Запасы продуктивной влаги (мм) по слоям, при которых наблюдаются повреждения			Эвапориметри- ческий коэффициент	Характеристика степени повреждения растений
		<10 м/с	≥10 м/с	0-20 см	0-50 см	0-100 см		
Слабые	3-5	15-24	10-14	≤20	≤50	≤80	0,5-0,4	Легкое снижение тургора
Средней интенсивно- сти	5-6	25-29	≥ 20	≤10	≤30	≤50	0,3	Значительное снижение тургора листьев, их скручивание, пожелтение, подсыхание; у незакаленных растений возможен небольшой захват зерна через 3-5 дней
Интенсивные	6-8	30-39	≥25	≤ 10	–	≤30	0,2-0,1	Сильное увядание и усыхание вегетативной массы, захват зерна через 2-3 дня, у незакаленных растений – через 1-2 дня
Очень интенсивные	>8	≥40	≥35	0	–	≤30	0,2-0,1	Быстрое и сильное повреждение вегетативной массы, захват зерна через 1-2 дня

интенсивность существенно изменяются в географическом разрезе, что является хорошим показателем засушливости климата. В лесной зоне среднее многолетнее количество дней с суховеями за теплый сезон (апрель-октябрь) небольшое – 1-2, в лесостепной зоне оно составляет 15-20, в степной 30-60, а в полупустынной зоне 70-100 дней. В пустыне количество дней с суховеями возрастает до 250.

Важно отметить, что каждой физико-географической зоне свойственен свой тип кривой годового хода числа дней с суховеями. Так, для лесной зоны характерен максимум числа дней с суховеями в мае, а минимум – в летний период. В лесостепной зоне выделяется два максимума суховеистости в теплый сезон: один весной, а второй в середине или конце лета. При этом первый максимум значительно больше второго (рис. 10.5 а)

Два максимума характерны и для степной зоны, но второй обычно равен или несколько больше первого. Минимум суховеистости в летние месяцы приходится на июнь (рис.10.5 б). В полупустыне хотя и наблюдается два максимума, но июньский максимум незначителен. Пустыне свойственен один летний максимум на общем высоком фоне суховеистости за период апрель-октябрь (рис. 10.5 в).

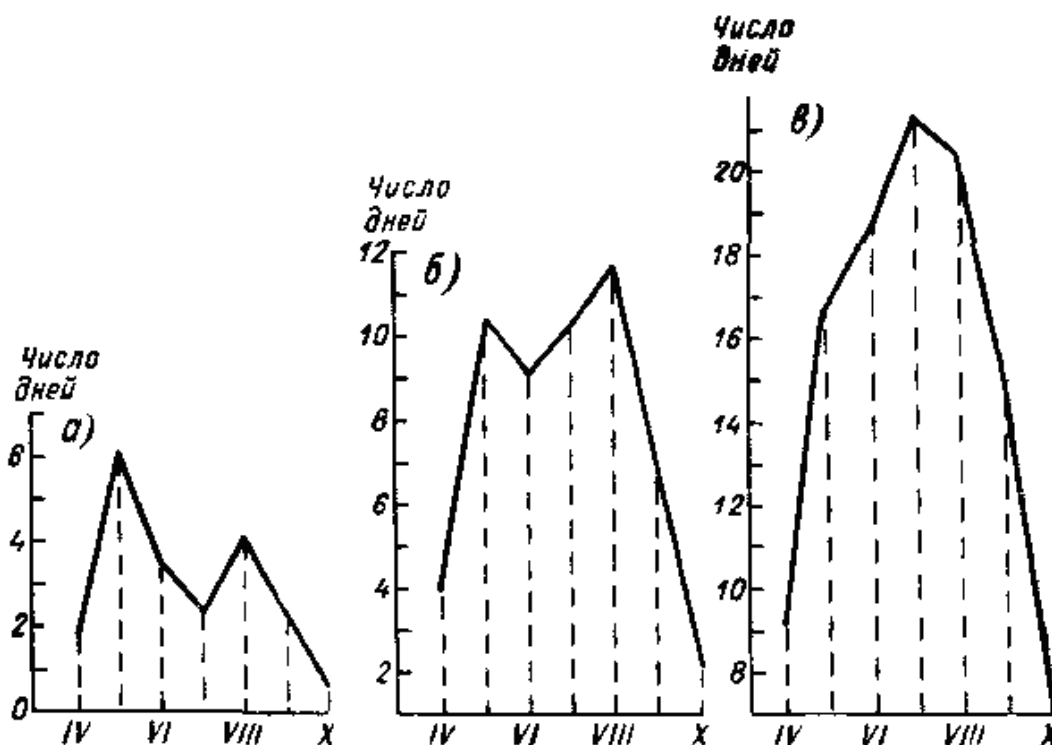


Рис. 10.5 – Годовой ход общего числа суховеев на ЕЧ СНГ:
а) Пенза, б) Ершов, в) Эмба.

Указанные закономерности различных типов годового хода дают возможность наметить ряд мер по борьбе с суховеями. Так, ранней весной, учитывая весенний максимум суховеистости во всех зонах необходимо принимать меры по накоплению и сохранению влаги в почве. В южных степях, полупустынях и пустынях эффективной мерой в борьбе с суховеями должно явиться орошение.

Следует отметить, что в отдельные годы число дней с суховеями и их годовой ход могут существенно отличаться от средних многолетних данных. Для характеристики изменчивости на ЕЧ СНГ числа дней с суховеями в отдельные годы приведем данные об их суммарной вероятности (табл. 10.4). Как следует из таблицы, в лесостепной зоне при среднем количестве суховеев, равном 20 дням, только в 10% лет не бывает суховеев, а в 5% лет бывает 50 дней с суховеями.

Таблица 10.4 – Вероятность числа дней с суховеями в отдельные годы (%) в зависимости от среднего многолетнего числа дней

Среднее количество дней с суховеями	Вероятность числа дней с суховеями (%)						
	0	10	30	50	70	90	100
20	10	75	25	5	0	0	0
30	10	90	50	20	5	0	0
40	5	95	70	35	15	0	0
50	0	100	75	45	35	5	0
60	0	100	80	65	45	20	5
70	0	100	95	70	50	25	10
80	0	100	95	75	60	30	15

В южной части степной зоны, где среднее многолетнее число суховейных дней равно 50, ежегодно бывает не менее 10 дней с суховеями, а в 55 лет число дней с суховеями составляет 90 и более. В полупустынных районах практически ежегодно общая длительность суховеев составляет не менее 30 дней. В отдельные годы суховеи здесь продолжаются не менее 4 месяцев.

Е.А. Цубербиллер на основе учета интенсивности суховеев, их продолжительности и запасов продуктивной влаги в почве в репродуктивный период развития яровой пшеницы, построила агроклиматическую карту вероятности повреждения зерна (рис.10.6). В выделенных на карте районах условия суховеистости и соответствующее им повреждение зерна характеризуется таким образом.

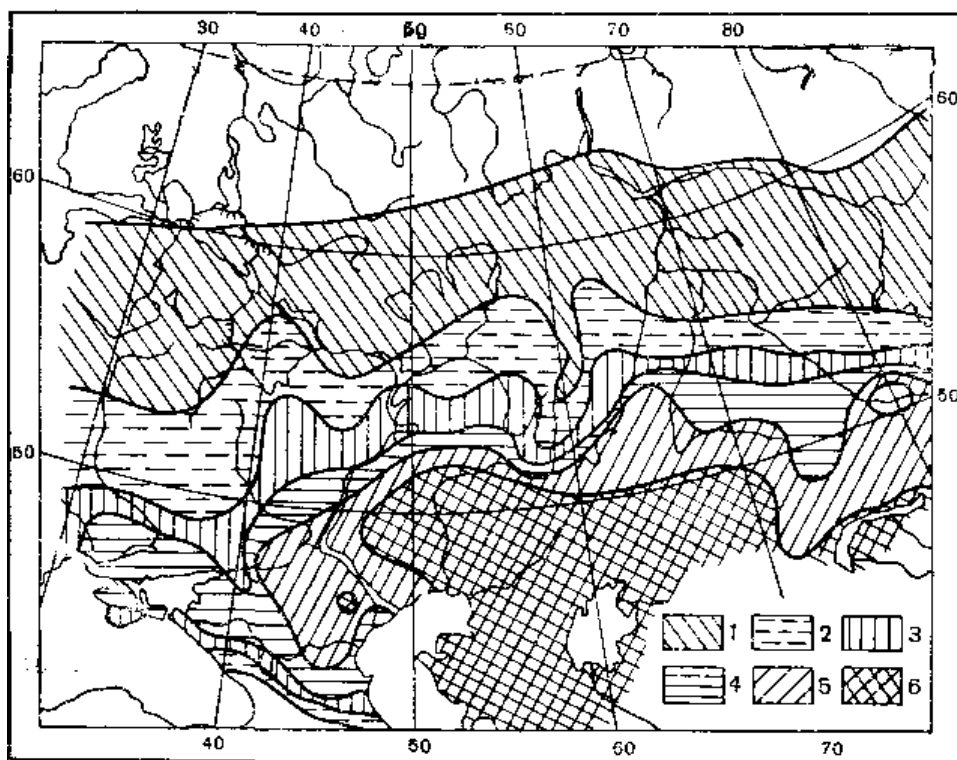


Рис.10.6 – Вероятность повреждения зерна (число лет из 10) суховеями в репродуктивный период яровой пшеницы. Районы: 1) 1 год, 2) 1-2, 3) 2-3, 4) 3-5, 5) 5-6, 6) >7

В лесной зоне повторяемость интенсивных суховеев небольшая, всего один раз в 10-20 лет; сочетание опасных суховеинных условий наблюдается очень редко – один раз в 10-20 лет. Поэтому вероятность повреждения зерна в этой зоне невелика (менее 10% лет).

В лесостепной зоне повторяемость суховеев увеличивается. Суховеи средней интенсивности бывают ежегодно, интенсивные суховеи довольно редки – от двух до пяти раз в 20 лет. Такое сочетание вредных условий приводит к повреждению зерна в этой зоне вероятностью один – два раза в 10 лет.

В степной зоне хотя и резко возрастает повторяемость суховеев, однако, повреждение зерна от захвата наблюдается всего два-три раза в 10 лет. Это объясняется тем, что культивируемая здесь яровая пшеница характеризуется значительной засухоустойчивостью. В зоне засушливой степи по тем же причинам, что и в степной зоне, в 3-5 года из 10 сочетание суховеинных условий может вызвать повреждение зерна.

В полупустынной зоне вредное сочетание большого числа дней с суховеями и низких запасов влаги в почве в период налива зерна бывает очень часто. Поэтому вероятность повреждения зерна здесь велика: пять-семь раз в 10 лет.

Л.Е. Пасечнюк и В.А.Сенников [75] провели исследование влияния числа дней с суховеями на формирование вегетативных и репродуктивных органов яровой пшеницы. Например, установлена криволинейная зависимость между числом дней с суховеями за период 3-й лист-цветение и высотой растений. Уравнения связи имеют следующий вид:

Для степных районов Поволжья

$$\hat{O} = 499,9/x + 26,6 \quad S_y = \pm 13 \text{ см} \quad (10.11)$$

для Кулунды в западной Сибири

$$\hat{O} = 343,3/x + 23,5 \quad S_y = \pm 7 \text{ см} \quad (10.12)$$

где x – число дней с суховеями за период 3-й лист-цветение;

$\hat{O}$ – высота растений в фазу цветения.

Уравнения рассчитаны для числа дней с суховеями от 6 до 28 дней в Поволжье и от 6 до 34 дней в Кулунде.

Авторами установлено, что число дней с суховеями оказывает существенное влияние и на формирование репродуктивных органов яровой пшеницы. Наибольшее снижение числа колосков в колосе происходит при числе дней с суховеями за период 3-й лист-цветение более 16, количестве осадков за этот же период не более 40 мм, запасах продуктивной влаги в пахотном слое почвы в фазу выхода в трубку менее 20 мм.

Число зерен в колосе может варьировать в значительных пределах как под влиянием степени засушливости климата в разных физико-географических зонах на территории СНГ, так и числа дней с суховеями различной интенсивности. При интенсивных суховеях имеет место захват и запал зерна (повреждение от обезвоживания и перегрева). В результате качество зерна ухудшается, оно становится щуплым, что приводит к снижению урожая.

10.5 Методы борьбы с засухой

В настоящее время в результате многочисленных научных исследований и обобщения опыта возделывания сельскохозяйственных культур разработаны четыре направления по борьбе с засухой: селекционно-генетическое, агротехническое, мелиоративное и географическое.

Селекционно-генетическое направление заключается в создании растений с определенными (иногда заданными) свойствами. Для климатических условий ряда стран СНГ актуальной является задача

создания сортов растений, стойких, прежде всего, к воздушной засухе, поскольку орошение преимущественно развивается в южных районах, для которых характерен этот тип засухи. Помимо этого качества, к зерновым культурам предъявляются и другие требования: неполегаемость в условиях оптимального орошения, невосприимчивость к болезням, достаточная зимостойкость (для озимых), высокое содержание белка. Большое значение имеет селекция сортов, устойчивых к неполному водоснабжению в вегетационный период, что не исключено в хозяйственных условиях некоторых регионов СНГ.

Агротехническое направление имеет своей целью проведение полевых работ в оптимальные сроки, посев культур по парам и зяби, использование лучших предшественников, внесение удобрений, сбережение почвенной влаги весной путем соответствующей обработки почвы, сочетание разных по скороспелости сортов. Например, парование полей способствует накоплению влаги и питательных веществ в почве, очищению от сорняков. По данным Ф.Ф. Давитая [7] в сухостепной зоне юго-востока ЕЧ СНГ и в Казахстане ко времени сева под чистым паром запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см больше на 50 мм, чем на полях к моменту уборки яровых хлебов. В степной и лесостепной зонах эта разница составляет 50-100 мм.

Агротехника оказывает существенную помощь в борьбе с засухой. Сельскохозяйственными учреждениями разработаны различные приемы обработки почвы и ухода за посевами в засушливых районах, благодаря которым удастся получать хорошие урожаи. При их применении необходимо строго учитывать погодные условия конкретного года. Например, сроки сева определяются ходом весны, запасами влаги в почве. Вопрос сокращения или увеличения площади озимых посевов решается в соответствии с условиями осеннего периода. Соотношение площадей посевов ранних и поздних яровых культур определяется с учетом весенних условий.

Важное значение имеет применение дифференцированной агротехники в разных почвенно-климатических зонах. В исследованиях А.П. Федосеева [109] рассмотрены агрометеорологические аспекты агротехники возделывания зерновых культур применительно к территории СНГ. К их числу относятся рекомендации по: 1) маневрированию сортами и структурой посевных площадей; 2) методике расчета оптимальных сроков сева; 3) по уходу за посевами (прикатывание почвы, боронование посевов, безотвальная система обработки почвы и т.д.); 4) при уборке зерновых культур (сроки уборки, выбор способов уборки, вычисление потерь зерна и др.) Федосеев также дал оценку эффективности минеральных удобрений в зависимости от климатических условий. Он составил ряд агроклиматических карт средней эффективности удобрений в виде прибавки урожая ($\Delta U_{\text{п}}$, ц/га) под озимую пшеницу и рожь, яровую

пшеницу и ячмень. Общей закономерностью является уменьшение прибавки урожая в направлении с северо - запада ЕЧ СНГ на юго-восток (от 7-12 ц/га до 2 ц/га). Эти оценки даны при возделывании зерновых культур на богарных землях.

Мелиоративное направление предполагает оросительные и осушительные мероприятия, полезащитное лесоразведение и снежные мелиорации. Полезащитное лесоразведение – важное средство борьбы с засухой и суховеями. Лесные полосы влияют на комплекс метеорологических условий межполосных полей. Они уменьшают скорость ветра и, благодаря их ветрозащитному действию, испарение на межполосных полях намного сокращается. Испаряемость на этих полях на 20-30% меньше, чем в открытой степи. В результате заметно повышается увлажнение пахотного слоя почвы. Правильное размещение лесных полос совершенной конструкции является эффективным приемом, обеспечивающим снегозадержание и задержание талых вод.

Полезащитное лесоразведение в сочетании с агротехническими мерами дает повышение влагозапасов в почве от 20 мм на юге в очень сухой зоне и до 60 мм на северо-востоке засушливой зоны. По данным А.Р. Константинова [43]. Среди лесных полос (по сравнению с открытой степью) одно и то же количество влаги обеспечивает увеличение количества сухого вещества в среднем на 30% и более. Таким образом, при прочих равных условиях на межполосных полях урожай зерновых и технических культур может быть значительно выше, чем в открытой степи.

Снегозадержание дополнительно увлажняет поля, является хорошей защитой озимых посевов от вымерзания. На полях в лесостепных и степных районах СНГ благодаря этому приему удастся накопить за зиму снежный покров высотой 20-30 см. Увеличение высоты снежного покрова уменьшает глубину промерзания почвы, что способствует более полному поглощению талых снеговых вод. Поэтому весной почва получает больше влаги и даже при небольшом количестве осадков летом растения в целом лучше обеспечены запасами продуктивной влаги. По данным А.М. Шульгина [120] снегозадержание способствует увеличению весенних запасов влаги в почве в зоне южной степи на 20-30 мм, а в остальной части степной зоны на 30-50 мм. Как следствие, это приводит к увеличению урожая зерновых и технических культур. Например, в Поволжье по данным Саратовской опытной станции снегозадержание и задержание талых вод весной позволяют повысить урожай яровой пшеницы на 8-10 ц/га.

Орошение наиболее эффективный метод борьбы с засухой. При орошении создаются благоприятные условия для жизни растений и получения высоких урожаев. В засушливых районах оросительные мелиорации способствуют устойчивости сельскохозяйственного

производства и наряду с другими мероприятиями (химизация, техническое перевооружение и пр.) обеспечивают неуклонный рост урожая орошаемых культур. Практика показывает высокую экономическую эффективность оросительных мелиораций для многих культур и природных зон СНГ. Однако, орошение, как мера борьбы с засухой, в соответствии с почвенно-климатическими дает должный эффект лишь при правильном режиме орошения (определение оптимальных сроков и норм полива, количество поливов за вегетационный период), в соответствии с почвенно-климатическими условиями и видами выращиваемых культур

Под оросительной нормой понимают количество воды, которое необходимо дать за вегетацию 1 га орошаемых земель дополнительно к естественным ресурсам влаги, чтобы получить заданный урожай. Следовательно, оросительная норма, есть сумма поливных норм за период вегетации конкретной культуры.

Величину оросительной нормы можно определить как разность между оптимальным водопотреблением и естественными ресурсами влаги. В этом случае используется формула

$$M = E_0 - P - \Delta W - \Gamma \quad (10.13)$$

где M – оросительная норма (нетто) ($\text{м}^3/\text{га}$);

E_0 – суммарное оптимальное водопотребление (потребность в воде), ($\text{м}^3/\text{га}$) за вегетацию;

P – осадки ($\text{м}^3/\text{га}$) за вегетацию;

ΔW – использованные за период вегетации запасы почвенной влаги ($\text{м}^3/\text{га}$);

Γ – количество использованной растениями воды за счет грунтовых вод ($\text{м}^3/\text{га}$).

Орошение как эффективный метод повышения урожайности применяется в тех районах и для тех культур, где оно дает достаточный экономический эффект. В последние годы показана достаточная эффективность орошения ряда культур (картофеля, овощей, трав) не только в умеренной полосе ЕЧ СНГ, но и в условиях Северо-запада России. Данное обстоятельство объясняется тем фактом, что, если в целом за год на Северо-западе создаются условия избыточного (постоянного или временного) увлажнения, то в период летней вегетации здесь часто возникают засушливые условия, резко сказывающиеся на урожайности культур. Необходимость орошения и осушения одновременно одной и той же площади выдвигает на Северо-западе задачу совмещения элементов оросительной и осушительной сети, что экономически достаточно выгодно.

Однако, наибольший экономический эффект орошение должно давать в районах с засушливым и сухим климатом. Прежде всего это объясняется тем, что в условиях сухого и засушливого климата большое количество

тепла и света при низкой относительной влажности воздуха и значительной величине суточных колебаний температуры создает весьма благоприятные условия для ассимиляционной деятельности подавляющего большинства растений, препятствуя в то же время распространению многих вредителей и болезней. Поэтому, регулируя режим влаги в почве, можно создавать условия, оптимальные для роста и развития растений. В засушливых и сухих условиях почвы являются более плодородными, а эффект орошения проявляется ежегодно, что существенно повышает уровень рентабельности оросительных систем.

Географическое направление предусматривает размещение культур и сортов в разных географических районах, что позволяет компенсировать недобор урожая в одних районах сборами в других, а также более полно использовать природные условия для возделывания разных сортов. Исследования показали, что в соседних районах, где засуха отсутствует, часто наблюдаются хорошие условия увлажнения и поэтому здесь получают большой урожай. Используя эту географическую особенность, можно в определенной мере компенсировать недобор урожая за счет районов, не подверженных засухе. Следовательно, географическая разобоченность посевов является важным средством борьбы с засухой

Другой важный географический фактор – неравномерность развития культур по территории. Часто на пораженных засухой площадях одни и те же растения находятся в разных фазах развития, и поэтому действие засухи проявляется на этих растениях по-разному: одни почти не поражаются ею, а другие испытывают ее влияние.

Существенное значение имеет и третий географический фактор – экологически наиболее целесообразное распределение посевов. Например, ведущим хлебным злаком на Украине и Северном Кавказе должна быть озимая пшеница, в лесостепи Среднего Поволжья – озимая рожь, в Нижнем Поволжье, Приуралье и Западной Сибири – яровая пшеница. Таким образом, идея Ф.Ф. Давитая [95] о неодинаковом соотношении урожайности различных растений по природным зонам и о наиболее выгодном их районировании по-прежнему является актуальной и перспективной.

РАЗДЕЛ 4 МЕТОДЫ ОЦЕНКИ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМУ ПРОИЗВОДСТВУ

Глава 11 ОЦЕНКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО БОНИТЕТА КЛИМАТА И БИОКЛИМАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕРРИТОРИИ

11.1 Общие сведения

В сельскохозяйственном производстве при решении многих практических вопросов большое значение имеет сравнительная агроклиматическая оценка земель. Как известно продуктивность сельского хозяйства в значительной степени зависит от природных ресурсов, среди которых климату принадлежит ведущая роль. Под агроклиматическими ресурсами следует понимать количество вещества и энергии элементов климата, которые утилизируются растительными организмами при создании биомассы (солнечная радиация, тепло, влага, ветер, условия перезимовки) в конкретном районе.

Значительная часть природных ресурсов, в том числе агроклиматических, в настоящее время используются недостаточно. Это связано, прежде всего, с недостаточной изученностью климата и местного климата на региональном уровне с точки зрения использования его в сельском хозяйстве. До последнего времени при дифференциации «цены гектара» в пределах отдельных хозяйств, административных районах и областей на территории СНГ применяются показатели бонитета почвы. Поэтому бонитировка климата на территории конкретной страны и даже в пределах административной области принадлежит к числу весьма актуальных вопросов, связанных с биологической продуктивностью земель.

Интегральная информация о климате представляет особый практический интерес при сравнительной оценке территорий, потенциальные возможности которых лимитируются разными климатическими условиями. Именно такая ситуация возникает при оценке природных ресурсов территории СНГ и стран Восточной Европы. Так, на севере России, Германии и Польши основным фактором, ограничивающим продуктивность сельскохозяйственного производства на современном агротехническом уровне, является недостаток тепла, а на юге СНГ, части земледельческих районов Болгарии, Румынии и Венгрии – недостаток влаги. Поэтому необходимо иметь единый климатический критерий для сравнительной характеристики земельных угодий в зональном разрезе.

Сельскохозяйственная оценка продуктивности климата необходимо при решении многих важных производственных задач: оптимизации размещения культурных растений, обоснования капиталовложений в мелиорацию земель, определения соотношения площади чистых и занятых паров в различных климатических зонах и т.д. Ее обычно выполняют в относительных единицах или в баллах и называют по-разному – «бонитет климата», «бонитировка климата», «сельскохозяйственный бонитет климата», хотя сущность их почти одинаковая [42, 89, 115, 116]. Слово «бонитет» происходит от латинского «Bonitas», что означает доброкачественность.

Применительно к территории бывшего СССР для сравнительной оценки продуктивности климата предложены два основных метода: С.А. Сапожниковой и Д.И. Шашко. В любом из указанных методов лежат количественные зависимости, связывающие урожай растений с ресурсами тепла и влаги.

Например, С.А. Сапожникова [3, 90] в 50-ые, 70-ые годы разработала метод расчета сельскохозяйственного бонитета климата (СБК) с последующим районированием его на территории СНГ и стран Восточной Европы. В 60-ые годы П.И. Колосков [36] предложил для сравнительной оценки земель метод расчета биоклиматического потенциала (БКП). Однако этот метод не получил широкое признание в силу его сложности и отсутствия связи БКП с урожайностью культурных растений. Позднее в 60-ые – 80-ые годы Д.И. Шашко предложил усовершенствованный метод расчета биоклиматического потенциала для сравнительной оценки продуктивности климата применительно к зерновым и техническим культурам на территории бывшего СССР.

Физико-статистическая модель, разработанная Д.И. Шашко, была принята за основу А.Д. Эйюбовым [123] для оценки БКП на территории Азербайджана, Э.Л. Хершкович [4] – на территории Болгарии. Позднее З.А. Мищенко и Н.В. Кирнасовская [69] выполнили региональную оценку и районирование показателей биоклиматического потенциала земель на территории Украины при естественном и оптимальном увлажнении с охватом горных районов. Ими также дана сравнительная оценка использования БКП кукурузой, подсолнечником и виноградом.

Иной подход к оценке сельскохозяйственного бонитета климата осуществили Е.К. Зоидзе и Л.И. Овчаренко [37]. Они предложили математическую модель оценки сельскохозяйственного потенциала климата (СПК) на основе использования алгоритмов распознавания образов. В нее, помимо показателей агроклиматических ресурсов, введен блок неблагоприятных явлений (засуха, заморозки). Составлен ряд схематических карт, в том числе распределения СПК на территории России в баллах, и проведено ранжирование сельскохозяйственных культур по степени использования ими агроклиматических ресурсов. К

недостаткам этого метода следует отнести громоздкость модели для практического использования в пределах конкретного субъекта РФ, т.е. административной области или края.

11.2 Методы оценки сельскохозяйственного бонитета климата и его географическая изменчивость

Значительный вклад в методику оценки сельскохозяйственного бонитета климата внесла С.А. Сапожникова [90]. В качестве показателей ресурсов тепла использована сумма среднесуточных активных температур воздуха выше 10°C и ГТК по Селянинову. Так как длина вегетационного периода, определяемая ΣT_c , оказывает значительное влияние на урожай, автор предложила рассчитывать урожай (Y_n) на единицу суммы тепла. В качестве последней использована ΣT_c выше 10°C , уменьшенная в 100 раз. Тогда показатели продуктивности климата данного района P_k определяется по следующей формуле:

$$\dot{I}_{\hat{e}} = \frac{\dot{O}_{\hat{i}}}{\Sigma \dot{O}_{\hat{n}} > 10^0 \tilde{N} : 100}, \quad (11.1)$$

где $\dot{O}_{\hat{i}}$ - урожай культуры (ц/га);

$\Sigma \dot{O}_{\hat{n}} > 10^0 \tilde{N}$ – сумма активных температур воздуха выше 10°C .

Например, урожай пшеницы в данном районе составляет 24 ц/га, а сумма активных температур равна 1700. Показатель продуктивности климата в этом районе будет равен

$$P_k = \frac{24}{1700 : 100} = 1,24$$

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

$$\dot{O}_{\hat{i}} = \dot{I}_{\hat{e}} (\Sigma \dot{O}_{\hat{n}} > 10^0 \tilde{N} \div 100) \quad (11.2)$$

В результате расчетов P_k и использования ряда других данных Сапожникова составили карту распределения сельскохозяйственного бонитета климата на территории бывшего СССР, применительно к зерновым культурам. По сути дела эта карта потенциальной урожайности зерновых (ц/га) при естественном увлажнении во влажной и засушливой зонах и оптимальном увлажнении (орошение) в сухой зоне. Выявлено, что районами наибольшей продуктивности климата, оцениваемые в 9-10 баллов, являются Закавказье, предгорные и западные части Северного Кавказа,

лесостепные и северные степные районы Украины, южная часть Дальнего Востока. Наиболее высокая продуктивность климата (в условиях оптимального орошения) характерна для юга Средней Азии.

Однако при сопоставлении расчетных данных потенциальной продуктивности и фактических величин урожайности оказалось, что они значительно различаются между собой. Это объясняется рядом причин: разным уровнем агротехники массовых хозяйств и госсортоиспытательных участков, по которым оценивалась потенциальная продуктивность, недостаточной водообеспеченностью многих хозяйств и пр. Поэтому в 1979 году С.А. Сапожникова и А.Д. Бринкен [3, 4] предложили уточненный метод расчета бонитета климата (БК) и реализовали его применительно к территории ЕЧ СНГ и ряда стран Восточной Европы.

Они предложили характеристику бонитета климата при естественном увлажнении рассчитывать по формуле

$$\hat{A}_{\varepsilon} = \varepsilon \Sigma \dot{O}_{\tilde{n}} > 10^0 \tilde{N}, \quad (11.3)$$

где B_k – бонитировочный балл климата, количественно равный условному урожаю зерновых культур при данном сочетании тепла и влаги;

ε – бонитировочный балл увлажнения, равный осредненной урожайности тех же культур (ц/га), приходящейся к единице тепла ($\Sigma T_c = 100^\circ\text{C}$) при данном увлажнении;

$\Sigma \dot{O}_{\tilde{n}} > 10^0 \tilde{N}$ – сумма температур в сотнях градусов за период со средней суточной температурой воздуха выше 10°C .

Формула 11.3 позволяет привлечь к расчету B_k урожайность различных по продолжительности вегетации таких культур как кукуруза и ранние зерновые (пшеница, овес, ячмень).

Основной показатель увлажнения K рассчитывается по формуле

$$\hat{E}_{\tilde{n}} = \frac{0,5D_{\delta} + D_{\delta}}{0,18 \cdot \Sigma \dot{O}_{\tilde{n}} > 10^0 C}, \quad (11.4)$$

где P_x – сумма осадков (мм) за холодный период, (октябрь – сентябрь);

P_m – то же за теплый период (апрель-сентябрь);

0,5 – коэффициент, характеризующий удельный вес осадков за холодный период в формировании урожая;

$0,18 \cdot \Sigma T_c > 10^0 C$ – испаряемость за год по Будыко.

Проведенный корреляционный и регрессионный анализ показал, что зависимость ε от K_{ε} (в пределах K_{ε} от 0,4 до 1,6) может быть приближенно аппроксимировано параболой

$$\varepsilon = -1,7 K_{\varepsilon}^2 + 3,7 K_{\varepsilon} - 0,28 \quad (11.5)$$

Корреляционное отношение $\eta = 0,72$; ошибка уравнения $\sigma_{\varepsilon} = \pm 0,21$. Из табл.11.1 видно как значительно изменяются значения K_{ε} и ε по степени увлажнения. Например, в сухой зоне K_{ε} и ε не превышают соответственно 0,4 и 0,92, а в зоне избыточного увлажнения их значение увеличиваются до 1,4 - 1,6 и 1,57 - 2,26. По вышеуказанной методике были выполнены расчеты K_{ε} и B_k и получены массовые данные для последующего картографирования этих показателей климата на территории ЕЧ СНГ и стран Восточной Европы. Обе карты построены в рабочем масштабе 1:2500000 на гипсометрической основе. Учитывая сложность рельефа, выполнены были специальные разработки по оценке изменения коэффициента увлажнения K_{ε} и бонитета климата B_k с высотой места в различных горных регионах. Общей закономерностью является увеличение более чем в два раза значений K_{ε} по мере продвижения в горы до абсолютных высот в 1000-1200 м. Сельскохозяйственный бонитет климата B_k с высотой места понижается, что обусловлено существенным уменьшением при продвижении в горы ΣT_c выше 10°C и продолжительности теплого периода.

Таблица 11.1 - Дифференциация увлажнения территории соответственно значениям коэффициента увлажнения K_{ε}

Степень увлажнения	K_{ε}	ε
Сухо	<0,4	<0,92
Очень засушливо	0,4-0,6	0,92-1,33
Засушливо	0,6-0,8	1,33-1,59
Слабо засушливо	0,8-1,0	1,59-1,72
Оптимально увлажнено	1,0-1,2	1,73
Обильно увлажнено	1,2-1,4	1,71-1,75
Избыточно увлажнено	1,4-1,6	1,57-2,26
Переувлажнено	>1,6	>2,26

Карта бонитета климата предназначена для сравнительной характеристики «цены гектара» территорий с различными климатическими условиями применительно к яровым зерновым культурам. Из её анализа следует, что на рассматриваемой обширной территории B_k изменяется от 25 баллов до 70 баллов. Почти вся западная треть территории стран Восточной Европы имеет B_k больше 40 баллов, а в горных районах бонитет климата оказывается меньше 30 баллов. В южной и центральной частях этой территории (Болгария, Венгрия, Румыния, Чехословакия)

значительные площади имеют B_k больше 50-55 баллов. На остальной части территории почти полностью относящейся к ЕЧ СНГ B_k изменяется в еще больших пределах. Наименьшие значения B_k порядка 25-30 баллов характерны для севера (Санкт-Петербургская, Вологодская, Кировская области России) и в юго-восточных районах Прикаспийской низменности. Наибольший сельскохозяйственный бонитет климата в пределах 50-60 баллов наблюдается в Краснодарском крае России, а в узкой прибрежной полосе от Туапсе до Сочи B_k достигает 70 баллов.

В табл. 11.2 представлено ранжирование ряда стран по преобладающим значениям B_k в баллах и в процентах относительно бонитета климата на территории ЕЧ СНГ.

Таблица 11.2 - Страны Восточной Европы, ранжированные по возрастанию преобладающего бонитета климата B_k

Страны	B_k	
	баллы	%
ЕЧ СНГ (к югу от $\varphi = 60^0$)	30-45	100
Польша	35-45	105
Германия	40-45	113
Чехословакия	40-50	118
Румыния	40-55	126
Венгрия	50-55	139
Болгария	50-60	145

Из неё видно, что B_k , а, следовательно, и «цена гектара», оказываются наименьшими на территории ЕЧ СНГ и не превышают 30-45 баллов и 100 %. В Германии и Чехословакии B_k колеблется в пределах 40-50 баллов, что в процентном отношении составляет 113-118 %. Наибольшие значения B_k порядка 50-60 баллов имеют место в Венгрии и Болгарии на равнинных землях. В этих странах бонитет климата составляет 139-145 % относительно территории ЕЧ СНГ.

11.3 Сравнительная оценка земель по биоклиматическому потенциалу на территории СНГ и континентах Мира

Метод оценки сельскохозяйственного бонитета климата, предложенный Д.И. Шашко [115] основан на несколько иных положениях. Величина бонитета климата оценивается им в баллах нормальной фактической и потенциальной продуктивности. Под нормальной фактической продуктивностью он понимает урожайность при среднем для страны уровне агротехники. Потенциальная урожайность определяется

рассчитанной величиной урожая при условии обычного увлажнения и полного использования растениями термических ресурсов данного района.

Для этой цели Шашко предложил физико-статистическую модель расчета биоклиматического потенциала (БКП), который определяется в относительных значениях или баллах. Биоклиматический потенциал характеризуется комплексом климатических факторов, определяющим возможности сельскохозяйственного производства. В более узком понятии БКП характеризуется комплексом климатических показателей, определяющим биологическую продуктивность земель на данной территории. К их числу относятся показатели тепло и влагообеспеченности, совместное влияние которых на продуктивность растений выражается формулой для определения БКП применительно к крупной территории СНГ в виде

$$A\hat{E}\tilde{I} = \hat{E}_{\delta} \cdot \frac{\sum \dot{O}_{\tilde{n}} > 10^0 \tilde{N}}{\sum \dot{O}_{\tilde{n}(\acute{a}\grave{a}\grave{c})}} \quad (11.6)$$

где BKP – относительное значение биоклиматического потенциала;

K_p – коэффициент роста по годовому показателю атмосферного увлажнения (Md);

$\sum T_c > 10^0 C$ – сумма активных среднесуточных температур воздуха за период активной вегетации;

$\sum T_{c(баз)}$ – базисная сумма температур.

В качестве базисных могут быть взяты суммы температур воздуха: $1000^0 C$ для сравнения с продуктивностью климата на северной границе массового полевого земледелия; $1900^0 C$ для сравнения со средней по стране продуктивностью климата; $3100^0 C$ для сравнения с продуктивностью в оптимальных условиях роста в умеренном поясе, характерной для предгорных районов Краснодарского края России.

В приведенной формуле 11.6 коэффициент роста K_p представляет собой отношение урожайности культуры в данных условиях влагообеспеченности к максимальной урожайности в условиях оптимального увлажнения. Его значения выделяются по формуле

$$K_p = 1,5 \lg (20 Md) - 0,24 + 0,63Md - Md^2, \quad (11.7)$$

где Md – показатель атмосферного увлажнения, который рассчитывается по формуле

$$\dot{I}_d = \frac{\sum D}{\sum (\acute{A} - \grave{a})}, \quad (11.8)$$

где ΣP – количество осадков за год (мм);

$\Sigma(E-e)$ – сумма дефицитов влажности воздуха за год. При значении $Md = 0,50$ создаются оптимальные условия для влагообеспеченности растений. Относительно этих условий K_p – принимает значение единицы. В сухих условиях южных степей, где Md – не превышает 0,10-0,20, коэффициент роста K_p снижается до 0,19-0,37 при возделывании культур на богарных землях, т.е. без орошения.

За 100 баллов продуктивности климата автор принял средневзвешенный по всем сортоучасткам в СНГ урожай зерновых культур, равный 20 ц/га. Величина (в баллах) фактической продуктивности климата рассчитывались по комплексному графику связи урожая со значениями показателя увлажнения при разных суммах температур воздуха (рис.11.1). Из этого рисунка видно, что бонитет климата и урожайность увеличиваются с повышением ΣT_c выше 10 °С и улучшением условий увлажнения, т.е. с возрастанием Md до величин равных 0,50-0,55. Аналогичные графики позднее были построены для различных экологических типов сельскохозяйственных культур – зерновых колосовых, кукурузы, сахарной свеклы, подсолнечника, люцерны [116].

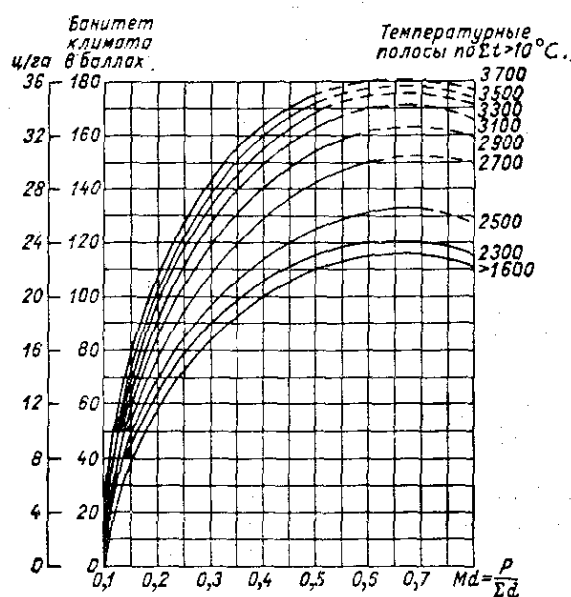


Рис.11.1 - Связь величины урожая зерновых культур (средневзвешенного) в центнерах с гектара и в относительных единицах (баллах) со значениями показателя увлажнения

В табл. 11.3 представлены данные по урожайности ряда культур, снятые с графиков связи её значений со значениями коэффициента увлажнения Md с привязкой к зонам увлажнения на территории СНГ: $З$ – засушливая, $П_з$ – полусухая, $П_в$ – полувлажная, $В$ – влажная. В скобках приведены соответствующие коэффициенты атмосферного увлажнения Md . Относительные величины характеризуют отношение урожайности в каждой зоне увлажнения к урожайности во влажной зоне с $Md = 0,50$. Наглядно видно, что урожайность культур существенно возрастает с увеличением ресурсов тепла по ΣT_c выше 10°C .

Далее были определены эмпирические коэффициенты роста $K_{p(э)}$ по данным табл. 11.3 и рассчитаны с помощью формулы 11.7. На рис. 11.2 представлена связь K_p со значениями коэффициента увлажнения Md . Близкое сходство эмпирических и вычисленных значений коэффициентов роста указывают на надежность использования логарифмической и особенно сложной функции для определения относительной биологической продуктивности растений в разных природно-климатических условиях. Для повышения точности расчетов БКП и B_k был определен и совокупный коэффициент роста $K_{p(c)}$ как произведение коэффициента роста по влагообеспеченности на коэффициент роста по теплообеспеченности.

Таблица 11.3 - Урожайность сельскохозяйственных культур в абсолютных (т/га) и относительных величинах

ΣT_c > 10°C	Абсолютные величины				Относительные величины			
	З(0,20)	П(0,30)	П(0,40)	В(0,50)	З(0,20)	П(0,30)	П(0,40)	В(0,50)
Озимая пшеница								
2000	1,3	1,9	2,4	2,65	0,50	0,73	0,93	1,0
2800	1,9	2,7	3,3	3,5	0,54	0,77	0,94	1,0
Кукуруза								
2000	2,7	3,6	4,5	4,8	0,56	0,81	0,92	1,0
3600	3,7	4,7	5,4	5,7	0,65	0,82	0,90	1,0
Сахарная свекла								
2400	20,0	28,4	33,5	36,0	0,55	0,78	0,93	1,0
2800	26,0	34,0	38,0	40,0	0,65	0,85	0,95	1,0
Подсолнечник								
2400	1,0	1,4	1,8	1,9	0,53	0,73	0,95	1,0
3200	1,3	1,9	2,2	2,4	0,54	0,78	0,94	1,0
Люцерна								
2400	2,4	3,6	4,4	4,7	0,51	0,78	0,94	1,0
3200	3,2	5,0	5,7	6,0	0,53	0,83	0,95	1,0

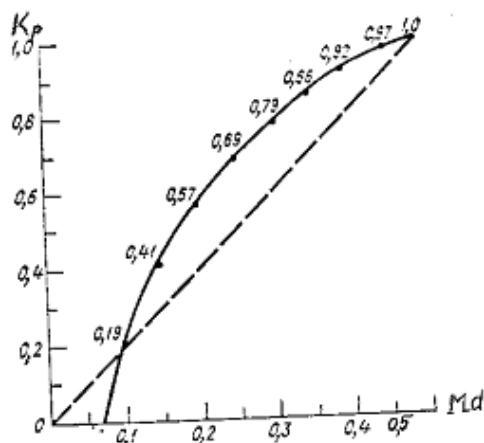


Рис.11.2 - Связь коэффициентов роста $K_{p(э)}$, K_p со значениями условного показателя увлажнения Md

Формулы для сравнительной оценки (в баллах биологической продуктивности климата (B_k) относительно средней для страны продуктивности и продуктивности в оптимальных условиях роста растений ($B_{k(on)}$) имеют следующий вид:

$$A_{\hat{e}} = \hat{E}_{\delta} \frac{\Sigma \dot{O}_{\tilde{n}} \cdot 100}{1000^0 \tilde{N}} = 55 \hat{A}_{\hat{e} \tilde{I}}, \quad (11.9)$$

$$A_{\hat{e}(\tilde{n})} = \hat{E}_{\delta} \frac{\Sigma \dot{O}_{\tilde{n}} \cdot 100}{3100^0 \tilde{N}} = 0,6 \hat{A}_{\hat{e}}, \quad (11.10)$$

где 1900°C , 3100°C – базисные суммы температур для равнения со средней по стране продуктивностью климата, для сравнения с продуктивностью в оптимальных условиях роста, характерной для предгорных лесостепных районов Краснодарского края.

В СНГ средняя продуктивность культур широкого ареала (зерновых) соответствует значениям БКП $\approx 1,9$, которое автор принял за эталон (100 баллов). Поэтому переход от БКП к баллам осуществляется умножением того или иного значения биоклиматического потенциала БКП на коэффициент пропорциональности 55, рассчитанный по соотношению базовых сумм температур 1000 и 1900°C и выраженный в процентах. Расчеты B_k удобно проводить по формуле

$$A_{\hat{e}} = 55 \cdot \hat{E}_{\hat{o}} \frac{\sum \hat{O}_{\hat{n}} > 10^0 C}{1000^0 \tilde{N}} = 55 \hat{A} \hat{E} \hat{I} , \quad (11.11)$$

Д.И. Шашко выполнил расчеты БКП и B_k для получения массовых данных по этим показателям с учетом урожайности зерновых культур. В результате этой работы построена мелкомасштабная карта ареалов биологической продуктивности по климатическим индексам БКП и B_k на территории СНГ и стран Балтии при естественном увлажнении (рис.11.3). К карте прилагается легенда в виде табл. 11.4. На территории выделено семь макрорайонов с подрайонами. При этом учтены изменения тепловых ресурсов по ΣT_c выше $10^0 C$ зональном разрезе. По этому признаку выделены следующие термические полосы: малообеспеченные теплом (менее $1200^0 C$); недостаточно обеспеченные ($1200-1400^0 C$); обеспеченные ниже среднего ($1600-2200^0 C$); среднеобеспеченные ($2200-2800^0 C$); обеспеченные выше среднего ($2800-3400^0 C$); повышено обеспеченные теплом (более $3400^0 C$).

Центральная часть земледельческой территории СНГ приходится на ось с относительно повышенной биологической продуктивностью климата. К северу от этой оси биологическая продуктивность снижается из-за недостатка тепла, к югу – из-за недостатка влаги. Ареал очень низкой биологической продуктивности ($БКП = 0,8$; $B_k < 40$ баллов) приходится на арктическую и типичную тундру, пустыни и полупустыни Казахстана и Средней Азии. К ареалу низкой биологической продуктивности ($БКП \approx 0,8-1,2$; $B \approx 40-60$ баллов) относится северная тайга, очень засушливая зона степи Северного Казахстана и засушливые провинции холодного умеренного подпояса (Забайкалье, Центральная Якутия, Тува). К ареалу пониженной биологической продуктивности ($БКП \approx 1,2-1,6$; $B_k \approx 60-85$ баллов) относится достаточно влажная среднетаежная зона, слабо-засушливые места холодно-умеренного подпояса (Предбайкалье), засушливые места степи на юго-востоке ЕЧ СНГ и Северного Казахстана. К ареалу средней биологической продуктивности земель ($БКП \approx 1,6-2,2$; $B_k \approx 85-120$) относится достаточно влажная южная зона, полувлажная лесостепная зона (кроме западной части Украины), а также степные районы ЕЧ СНГ (рис.11.3, табл. 11.4).

Ареал повышенной биологической продуктивности климата характеризуется значениями $БКП \approx 2,2-2,8$; $B_k \approx 120-155$ баллов. К ареалу относятся: среднеобеспеченная теплом западная часть южнотаежно-лесной зоны, лесостепь Украины, предгорные слабо-засушливые районы Северного Кавказа, муссонные районы Дальнего Востока. Ареал высокой биологической продуктивности характеризуется значениями $БКП \approx 2,8-3,4$; $B_k \approx 155-190$ баллов. К нему относится слабо засушливые наиболее обеспеченные теплом районы Северного Кавказа. Тип хозяйства зерново-

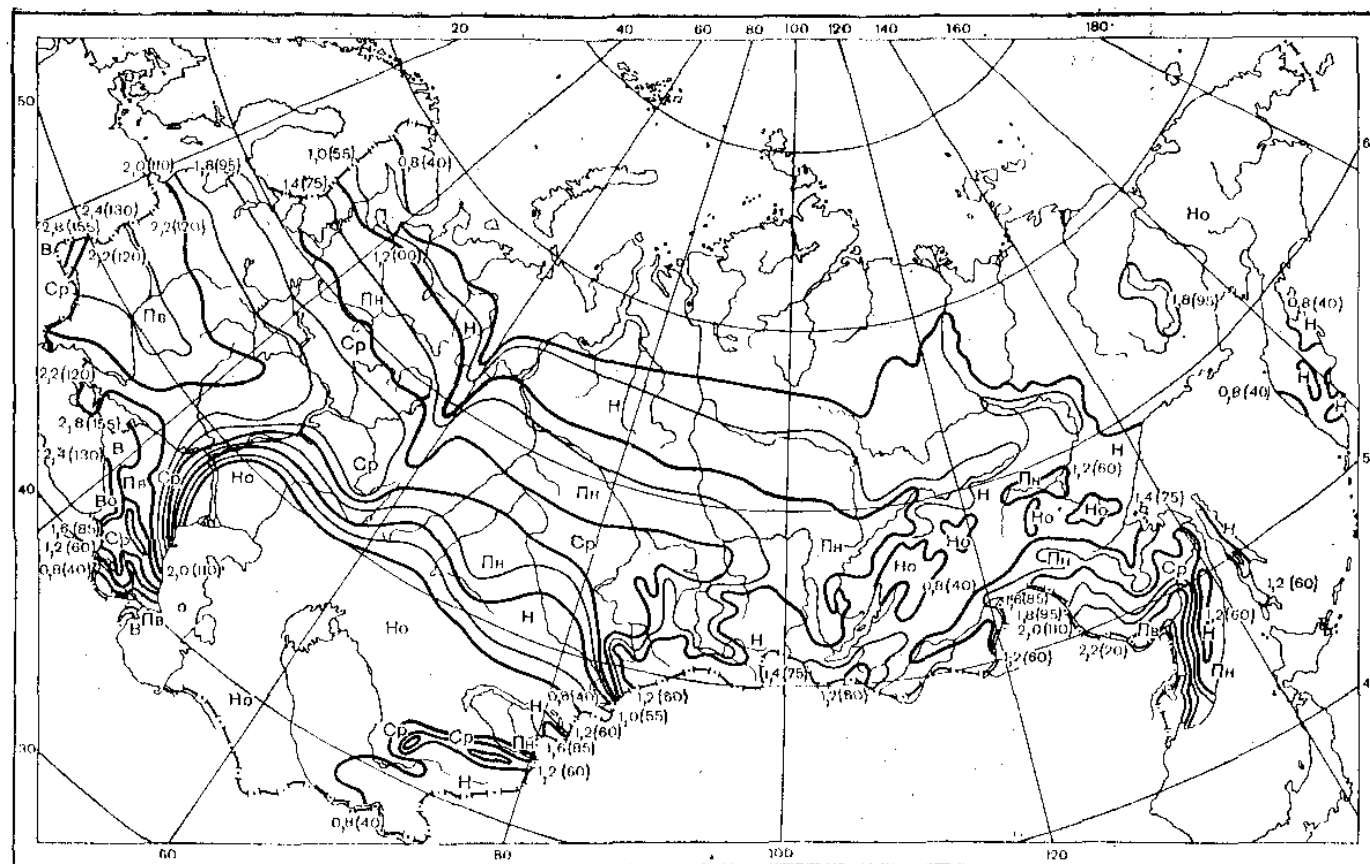


Таблица 11.4 - Шкала биологической продуктивности климата на территории СНГ и стран Балтии при естественном увлажнении

Биологическая продуктивность	Макрорайон, Подрайон	БКП	B_k , баллы	Урожай зерновых
Очень низкая	I	<0,8	<40	<0,9
Низкая	IIa	0,8-1,0	40-50	0,9-1,1
	IIб	1,0-1,2	51-60	1,1-1,4
Пониженная	IIIa	1,2-1,4	61-70	1,4-1,6
	IIIб	1,4-1,6	71-85	1,6-1,9
Средняя	IVa	1,6-1,8	86-95	1,9-2,2
	IVб	1,8-2,0	96-105	2,2-2,4
	Ivв	2,0-2,2	106-120	2,4-2,8
Повышенная	Va	2,2-2,4	121-130	2,8-3,0
	Vб	2,4-2,6	131-140	3,0-3,2
	Vв	2,6-2,8	141-155	3,2-3,6
Высокая	VIa	2,8-3,0	156-165	3,6-3,8
	VIб	3,0-3,2	166-175	3,8-4,0
	Viв	3,2-3,4	176-190	4,0-4,4
Очень высокая	VIIa	>3,4	191-200	4,4-4,6
	VIIб	>3,4	201-210	4,6-4,8
	VIIв	>3,4	>210	>4,8

свекловично-подсолнечный с возделыванием озимой пшеницы, кукурузы, риса, южной конопли. Развита также плодоводство и виноградарство. К ареалу с очень высокой биологической продуктивностью климата (БКП>3,4; $B_k \approx 190 - 210$ баллов) относятся районы влажных субтропиков – Черноморское побережье Краснодарского края, Западная Грузия, Ленкоранская низменность Азербайджана. Районы характеризуются развитием субтропического и южного плодоводства, круглогодичной выгонкой овощей.

Анализ карты биологической продуктивности климата и табл. 11.4 показывает, что на рассматриваемой территории B_k изменяется в 5 раз (от 40 баллов до 210). Соответственно и урожай зерновых культур изменяется более чем в 4 раза (в макрорайоне I он не превышает 0,9 т/га, а в макрорайоне VIIб урожай возрастает до 4,6-4,8 т/га). Опыт сравнительной оценки биологической продуктивности климата Д.И. Шашко распространил на континенты и зарубежные страны. Им составлена карта распределения БПК и B_k на континентах Мира с оценкой продуктивности в переводе на зерно (рис.11.4). На ней выделено шесть ареалов с десятью подрайонами, существенно различающиеся по биологической

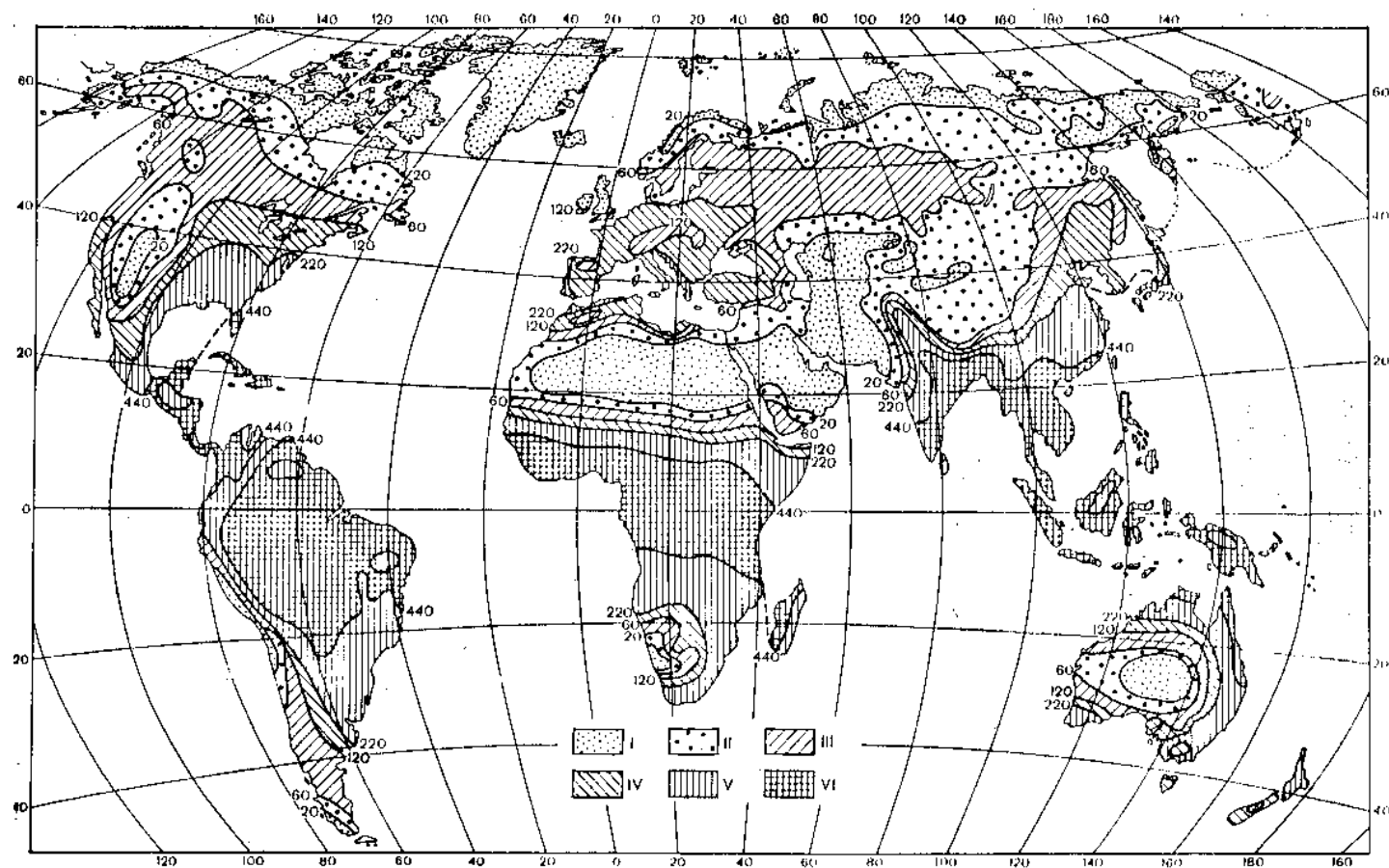


Рис.11.4 - Ареалы общей биологической продуктивности суши.

I – очень низкая, II – низкая, III – пониженная, IV – средняя, V – повышенная, VI – высокая.

Цифры у изолиний – баллы биологической продуктивности.

Таблица 11.5 - Естественная общепланетарная шкала оценки биологической продуктивности климата

Биологическая продуктивность	Ареалы	БКП	Б _к , баллы	Урожай зерна (т/га)
Очень низкая	I	0,4	<20	<0,5
Низкая	IIa	0,4-0,8	20-40	0,5-1,0
	IIб	0,8-1,2	40-60	1,0-1,5
Пониженная	IIIa	1,2-1,6	60-85	1,5-2,1
	IIIб	1,6-2,2	85-120	2,1-3,0
Средняя	IVa	2,2-2,8	120-155	3,0-3,9
	IVб	2,8-3,4	155-190	3,9-4,7
	IVв	3,4-4,0	190-220	4,7-5,5
Повышенная	Va	4,0-5,2	220-285	5,5-7,1
	Vб	5,2-6,6	285-340	7,1-9,0
	Vв	6,6-8,0	340-440	9,0-11,0
Высокая	VI	>8,0	>440	>11,0

Примечание. Урожайность зерновых дана при цене одного балла 0,025 т/га.

продуктивности климата (табл.11.5). Например, ареал пониженной биологической продуктивности ($B_k = 60 \dots 120$ баллов) включает территорию умеренного пояса с $\Sigma T_c = 1600 \dots 2200$ °C. К ареалу относится большая часть земледельческой зоны СНГ, территория Канады и другие регионы Мира, преимущественно мало обеспеченные влагой.

Ареал средней биологической продуктивности ($B_k = 120 \dots 220$ баллов) включает территорию умеренного пояса и территорию южных широт менее обеспеченных влагой с $\Sigma T_c = 2200 \dots 6000$ °C. К этому ареалу относятся большинство стран Западной Европы, северо-восточная часть Китая и другие регионы Мира. Ареал высокой биологической продуктивности (B_k , более 440 баллов) характеризуется наибольшей теплообеспеченностью (ΣT_c более 8000 °C) при достаточном годовом увлажнении (M_d более 0,45). К ареалу относятся страны, прилегающие к экватору: центральные районы Африки, Юго-Восточная Азия, зоны тропических и экваториальных лесов Центральной и Южной Америки.

Почти все страны Западной Европы превосходят СНГ по биологической продуктивности климата и относятся к ареалу средней продуктивности (IVa, IVб, IVв). США, Китай, Португалия превосходят Россию, Украину и другие страны СНГ по биологической продуктивности среднего гектара более чем в два раза, Австралия – в три, Индия, Бразилия, Заир – более чем в четыре раза. Биологическая продуктивность среднего гектара Норвегии, Голландии, Канады ниже чем в СНГ. Однако реальные

урожаи зерновых культур в этих странах оказываются значительно выше, чем в ряде стран СНГ за счет высокой культуры земледелия, мелиорации земель и введения продуктивных сортов.

Несмотря на научную и практическую ценность полученных материалов по БКП и B_k они весьма схематично характеризуют биологическую продуктивность климата в пределах отдельной страны или административной области. Поэтому дальнейшие исследования должны быть направлены на регионализацию расчетной схемы оценки биоклиматического потенциала с учетом влияния неоднородностей деятельной поверхности в конкретной местности (высота места, форма рельефа, экспозиция и крутизна склонов, плодородие почв разного механического состава). Кроме того, для интегральной оценки биологической продуктивности сельского хозяйства необходимо выполнить расчеты БКП и B_k применительно не только к зерновым, но и к техническим и плодовым культурам, включая виноград.

11.4 Региональная оценка биоклиматического потенциала на территории Украины

Представляют научный и практический интерес исследования З.А. Мищенко и Н.В. Кирнасовской [69] по региональной оценке и районированию показателей биоклиматического потенциала на примере Украины, где за основу принята физико-статическая модель расчета БКП и B_k Д.И. Шашко [115] с последующим усовершенствованием её для региональной оценки биоклиматического потенциала на ограниченных территориях в условиях сложного рельефа, а также на равнинных землях с большой пятнистостью почв.

Авторы предложили модификационные формулы расчета биоклиматического потенциала с учетом этих абиотических факторов. Для территорий с холмистым и низко-горным рельефом расчеты биоклиматического потенциала выполнялись по следующим формулам:

$$\hat{A}_{\hat{E}\hat{I}}_{\hat{n}} = \hat{E}_{\hat{\delta}} \cdot \frac{\sum \hat{O}_{\hat{n}} > 10^0}{1000^0} \cdot \bar{E}_Q \quad (11.11)$$

$$\hat{A}_{\hat{e}\hat{n}} = 55 \cdot \hat{A}_{\hat{E}\hat{I}}_{\hat{n}} \cdot \bar{E}_Q \quad (11.12)$$

BKP_c и B_{kc} – биоклиматический потенциал в относительных значениях и в баллах на склоне конкретной экспозиции и крутизны;

$\bar{K}_Q$ - переходные коэффициенты для расчета суммарной солнечной радиации на северных, южных, западных и восточных склонах крутизной $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$ относительно горизонтальной поверхности (открытое ровное место).

Переходные коэффициенты, разработанные Т.А. Голубевой и З.А. Мищенко [59, 63] представляют собой отношение прихода суммарной радиации за теплый период с T_c выше 10°C на неполный склон заданной крутизны (ΣQ_c) к приходу суммарной радиации на горизонтальную поверхность (ΣQ), т.е. $\bar{E}_Q = \frac{\Sigma Q_{\tilde{n}}}{\Sigma Q}$. Тогда ΣQ_c можно рассчитать по формуле $\Sigma Q_c = \Sigma Q \cdot K_Q$.

Для территорий с большой пятнистостью почв, различающихся по механическому составу, расчеты биоклиматического потенциала выполнялись по следующим формулам:

$$\hat{A}\hat{E}\tilde{I}_{\tilde{i}} = \hat{E}_{\delta} \cdot \frac{\Sigma \dot{O}_{\tilde{n}} > 10^0}{1000^0} \cdot \hat{E}_{\tilde{ii}} \quad (11.13)$$

$$\hat{A}_{e\tilde{i}} = \hat{E}_{\delta} \cdot \hat{A}\hat{E}\tilde{I}_{\tilde{i}} \cdot \hat{E}_{\tilde{ii}} \quad (11.14)$$

где BKP_n и B_{kn} – значения биоклиматического потенциала в относительных единицах и в баллах на почвах разного механического состава;

K_{nm} – переходные коэффициенты для расчета BKP_n и B_{kn} на песчаных, супесчаных, тяжелосуглинистых и глинистых почвах относительно среднесуглинистой почвы.

Переходные коэффициенты, разработанные З.А. Мищенко и Н.В. Кирнасовской для Украины [68] определяются по следующим формулам:

$$\hat{E}_{\tilde{i}i} = \frac{\Sigma \dot{O}_{\tilde{ii}}}{\Sigma \dot{O}_{i\tilde{n}}}; \quad \hat{E}_{\tilde{i}i} = \frac{\Sigma \dot{O}_{\tilde{iii}}}{\Sigma \dot{O}_{i\tilde{n}}}; \quad \hat{E}_{\tilde{i}i} = \frac{\Sigma \dot{O}_{o\tilde{n}}}{\Sigma \dot{O}_{i\tilde{n}}}; \quad (11.15)$$

где $\Sigma \dot{O}_{i\tilde{n}}$ – сумма температуры почвы на глубине 10 см (средний суглинок, принятый за нормальное местоположение) за теплый период с $\Sigma \dot{O}_{i\tilde{n}}$ выше 10°C ; $\Sigma \dot{O}_{\tilde{ii}}$, $\Sigma \dot{O}_{\tilde{iii}}$, $\Sigma \dot{O}_{o\tilde{n}}$, – те же суммы температур на глубине 10 см соответственно на песчаных, супесчаных, тяжелосуглинистых и глинистых почвах.

По данным «Справочника по климату СССР» [98] выполнены расчеты BKP , K_p , Md и B_k для 240 метеорологических станций на территории Украины. В качестве картографической основы использована

физико-географическая карта, приближенная к среднему масштабу (1: 1500000). Карта составлена для условий открытого ровного места по основному показателю – биоклиматическому потенциалу, выраженному в баллах (B_k) при естественном увлажнении. Далее для каждого макрорайона, выделенного на этой карте были определены значения ΣT_c выше 10°C , Σr , Md , K_p и BKP с применением методики уплотнения климатической информации [63, 69].

Как видно из рис.11.5 и табл.11.6 на комплексной карте выделено восемь макрорайонов, существенно различающихся по биологической продуктивности климата. Высокая продуктивность климата с B_k и BKP в 150-160 баллов и 2,70-2,88 имеет место в западных регионах страны, относящихся к лесостепной зоне (макрорайон 7). Самые большие значения B_k и BKP порядка 160-170 баллов и 2,88-3,10 наблюдается в Закарпатье с особым местным климатом (макрорайон 8). Значительная часть северных и центральных регионов, относящихся к лесостепи и частично к северной степи имеют среднюю и повышенную биологическую продуктивность климата (макрорайоны 4,5). В степной зоне на востоке и на юге выделены территории с пониженной продуктивностью климата, где B_k и BKP не превышают 110-120 баллов и 1,98-2,18 (макрорайон 3). Далее к югу за счет значительного увеличения ресурсов тепла биологическая продуктивность климата возрастает и B_k , BKP составляют 140-150 баллов и 2,54-2,70 (макрорайон 6Б).

Авторами сделана попытка количественно оценить изменение биоклиматического потенциала в горных районах в зависимости от абсолютной высоты над уровнем моря. Установлено, что при продвижении в горы биологическая продуктивность климата понижается за счет существенного уменьшения с высотой места ресурсов тепла. Однако интенсивность понижения B_k и BKP различна в Карпатах и Крымских горах. Высотный градиент B_k (т.е. изменение его на 100 м высоты) на северо-восточном склоне Карпат составляет 6 баллов, а на юго-восточном склоне – 10 баллов. Поэтому в Карпатах B_k на высотах 800-900 м и 1000-1100 м составляют 100-110 баллов, а на высотах 1400-1500 м биоклиматический потенциал уменьшается до 90-80 баллов (макрорайоны 2). В крымских горах высотный градиент B_k не превышает 4-5 баллов. Здесь биоклиматический потенциал также снижается и составляет на высотах 600-700 м 130 баллов, на высотах 900-1000 м 120 баллов, а на высоте 1200 м менее 115 баллов (макрорайоны 4, 3).

Авторы построили также карту биоклиматического потенциала (BKP' , B'_k) для условий оптимального увлажнения, на которой выделено 12 макрорайонов. При расчете взято значение коэффициента увлажнения Md за год равное 0,50, при котором коэффициент роста (K_p) близок к 1,0. Как видно из рис.11.6 и табл.11.7 биологическая продуктивность климата при введении мелиоративных мероприятий, направленных на улучшение

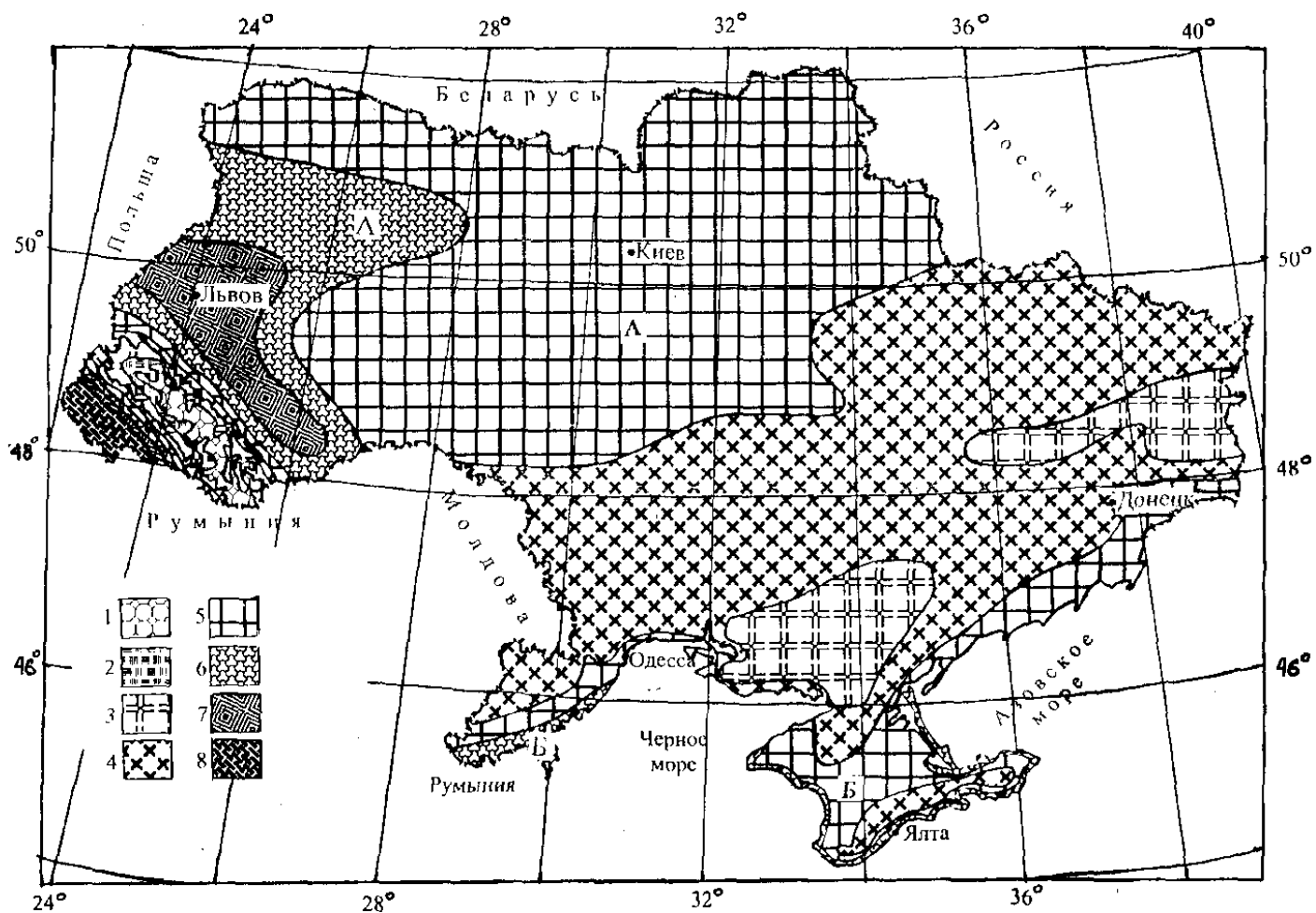


Рис. 11.5 - Комплексное районирование биоклиматического потенциала и его показателей на территории Украины при естественном увлажнении. Макрорайоны 1-8 (см. табл. 11.6)

Таблица 11.6 - Региональная оценка общей биологической продуктивности климата при естественном увлажнении в Украине

Макрорайоны	B_k , баллы	BKP	$\Sigma T_c > 10^\circ C$	Md	K_p	Σr
Очень низкая	≤ 100	$\leq 1,80$	1000 - 1600	0,9 – 1,4	0,75 - 0.30	1000 - 1400
Низкая	100 – 110	1,80 – 2,00	1500 - 1900	0,8 – 1,0	0,82 - 0.62	850 - 1100
Пониженная	110 – 120	1,98 – 2,18	2000 - 3400	0,21 – 0,75	0,58 - 0.82	450 - 850
Средняя	120 – 130	2,18 – 2,35	2700 - 3350	0,24 – 0,38	0,70 - 0.85	450 - 570
Повышенная	130 – 140	2,35 – 2,54	А) 2400 – 3000 Б) 3250 – 3450	0,35 – 0,45	0,83 - 0.95	А) 550 – 700 Б) 350 – 650
Умеренно-высокая	140 – 150	2,54 – 2,70	А) 2420 – 2600 Б) 3400 – 3900	0,50 – 0,60	0,98 - 1.0	А) 600 – 750 Б) 300 – 600
Высокая	150 – 160	2,72 – 2,90	2400 - 2550	0,52 – 0,73	1,0 - 0.85	680 - 850
Очень высокая	≥ 160	$\geq 2,90$	3000 - 3300	0,60 – 0,85	1,0 – 0,80	800 - 1000

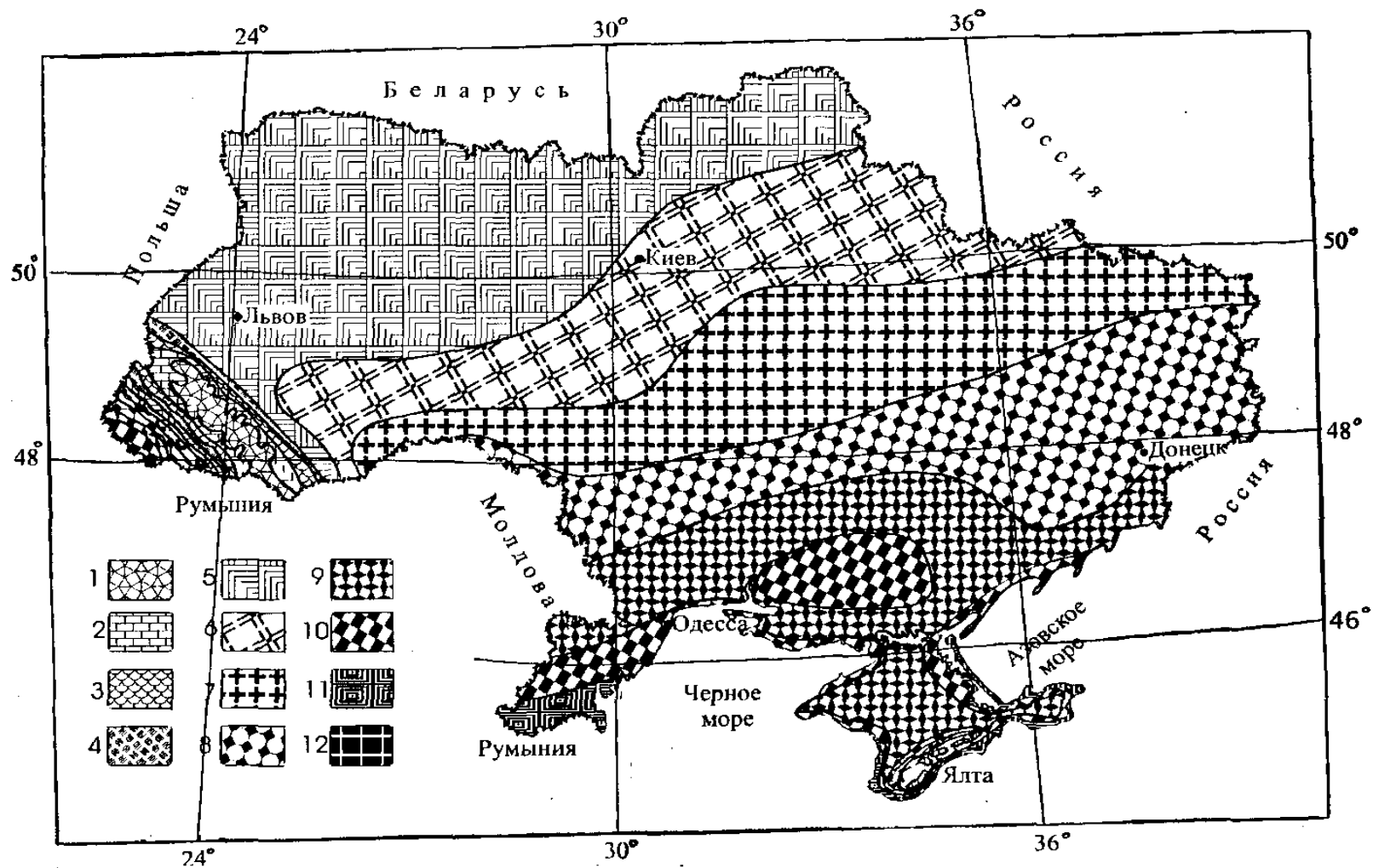


Рис.11.6 - Распределение биоклиматического потенциала на территории Украины в условиях оптимального увлажнения (макрорайоны см. в табл.11.7)

Таблица 11.7 – Региональная оценка биологической продуктивности климата в условиях оптимального увлажнения в Украине

Макрорайоны	B_k	B_{KII}	$(B_k - B'_k)$	Виды мелиорации
1. Очень низкая	80 - 100	1,44 – 1,8	40 - 30	Сброс воды, осушение
2. Низкая	100 - 110	1,8 – 1,98	33 - 23	Сброс воды, осушение
3. Относительно низкая	110 - 120	1,98 – 2,16	26 – 16	Периодическое осушение
4. Умеренно-низкая	120 - 130	2,16 – 2,34	19 – 10	Периодическое осушение
5. Пониженная	130 - 140	2,34 – 2,52	11 – 2	Не требуется
6. Относительно пониженная	140 - 150	2,52 – 2,7	4 - -6	Не требуется
7. Средняя	150 - 160	2,7 – 2,88	-3 - -13	Поливы в критический период
8. Повышенная	160 - 170	2,88 – 3,06	-10 - -20	Периодическое орошение
9. Относительно высокая	170 - 180	3,06 – 3,24	-17 - -27	Периодическое орошение
10. Умеренно-высокая	180 - 190	3,24 – 3,42	-25 - -35	Систематическое орошение
11. Высокая	190 - 200	3,42 – 3,6	-32 - -42	Систематическое орошение
12. Очень высокая	200 - 210	3,6 – 3,78	-40 - -50	Систематическое орошение

климатических условий для сельскохозяйственного производства, возрастает в направлении с севера и северо-востока на юг и юго-восток. В этом же направлении увеличиваются тепловые ресурсы и, как следствие, возможность выращивания большого набора однолетних и многолетних культур.

Очень низкая продуктивность климата характерна для горных районов Карпат, где B'_k колеблется в пределах 80-100 и 100-110 баллов (макрорайоны 1, 2). Здесь для развития сельского хозяйства необходимы мелиоративные мероприятия, направленные на осушение сельскохозяйственных полей. На юге страны (макрорайоны 11, 12). Биологическая продуктивность климата возрастает до 190-210 баллов. Для получения стабильных урожаев здесь необходимо систематическое орошение сельскохозяйственных полей.

Региональный подход к оценке биологической продуктивности климата, на примере Украины, позволил существенно детализировать карто-схему распределения B'_k и BKP на территории СНГ, составленную Д.И. Шашко (рис.11.3). Согласно этой карте вся территория Украины вошла в два макрорайона, отнесенных к средней и повышенной продуктивности климата. А на рис.11.5 и 11.6 в пределах Украины выделено соответственно 8 и 12 макрорайонов. Впервые выполнена количественная оценка и районирование биоклиматического потенциала для условий оптимального увлажнения и даны рекомендации по проведению дифференцированных мероприятий в различных макрорайонах. Возможна дальнейшая детализация B'_k и BKP на ограниченных территориях (административная область, район) с применением формул 11.11 - 11.14, в которых учитывается влияние микроклимата.

Глава 12 АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ ОДНОЛЕТНИХ И МНОГОЛЕТНИХ КУЛЬТУР

12.1 Урожайность как важный агроклиматический показатель условий произрастания растений

В современных условиях при решении задачи рационального размещения культур уже недостаточно определение лишь ареалов возможного их возделывания. Необходима на основе информации о климате оценка экономической целесообразности возделывания той или иной культуры. Нужно вполне обосновано отдавать предпочтение одним культурам за счет сокращения посевных площадей под другими в конкретном регионе. Успешное решение этих и других прикладных задач тесно связано с необходимостью разработки новых агроклиматических показателей и совершенствования методов агроклиматического районирования сельскохозяйственных культур.

Многими исследованиями признается, что лучшим интегральным показателем степени благоприятствования почвенно-климатических условий той или иной территории для возделывания культурных растений является их урожайность [38, 42, 76, 104]. Впервые П. И. Колосков [38] предложил использовать урожайность полевых культур как важнейший агроклиматический показатель. Им совместно с В.А. Смирновой и А.Т. Никифоровой было выполнено агроклиматическое районирование территории бывшего СССР по урожайности одиннадцати зерновых культур. Для этой цели были использованы данные госсортоучастков и агрометеорологических станций за 50 – 60^{ые} годы.

Географические особенности в распределении урожаев полевых культур были рассмотрены в тесной взаимосвязи с зональной изменчивостью показателей тепла (суммы среднесуточных температур воздуха выше 5, 10 °С) и влаги (сумма осадков и коэффициент увлажнения). Было установлено, что продуктивность культурных растений уменьшается в направлении с северо-запада на юг и юго-восток по мере возрастания сухости климата.

Например, урожайность мягкой яровой пшеницы в ареале её возделывания достигает наибольших значений порядка 20-24 ц/га севернее линии Минск – Москва – Свердловск – Красноярск. А наименьшие значения урожайности в пределах 8-11 ц/га характерны для юга Украины, Нижнего Поволжья России и Казахстана (рис.12.1). Урожай ярового ячменя также уменьшается с северо-запада на юг и юго-восток, составляя в Беларуси и Центрально-черноземных районах России 28-32 ц/га, а в Нижнем Поволжье и Казахстане только 11-14 ц/га (рис.12.2). Урожай проса выше 26 ц/га характерен для северных районов Украины и Молдовы, а также для Кубани и

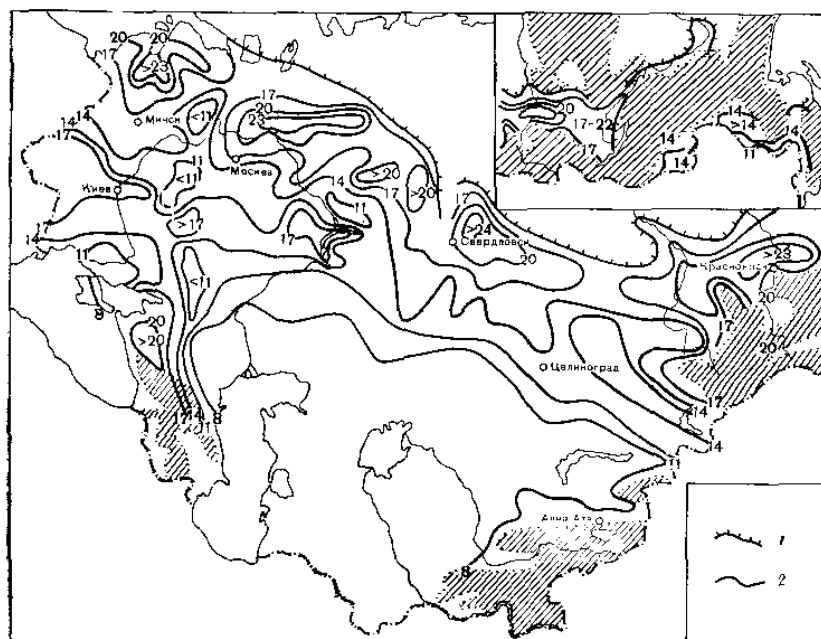


Рис.12.1 - Урожайность мягкой яровой пшеницы.
 1 – северная граница возможного возделывания
 раннеспелых сортов,
 2 – урожайность, ц/га. Здесь и далее районирование по
 продуктивности в горных районах не дается (горные районы
 заштрихованы).

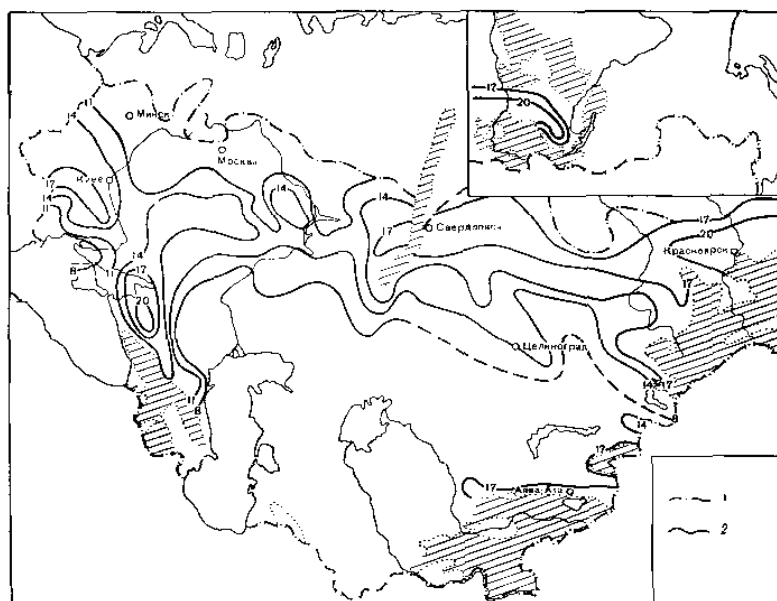


Рис.12.2 - Урожайность твердой яровой пшеницы.
 1 – северная граница возможного возделывания
 раннеспелых сортов, 2 – урожайность, ц/га.

предгорий Северного Кавказа. К востоку и юго-востоку урожай проса снижается и не превышает 8-11 ц/га в нижнем Поволжье и Казахстане.

Аналогичной является географическая изменчивость урожайности кукурузы в зависимости от гидрометеорологических условий (прямая от сумм осадков, обратная от сумм температур воздуха). Наибольший урожай кукурузы на зерно порядка 40-50 ц/га имеет место на значительной территории Украины и в Краснодарском крае России. Наименьший урожай в 15-20 ц/га характерен для степных районов Крыма и в Нижнем Поволжье. Урожайность озимой ржи и пшеницы в ареале их возделывания также уменьшается в направлении с северо-запада на юго-восток и изменяется в пределах от 32-35 ц/га до 14 ц/га.

Для зернобобовых культур характерна меньшая географическая изменчивость урожайности. На рассматриваемой территории урожай чечевицы изменяется от 17-20 ц/га до 8-11 ц/га. Урожай фасоли выше 16 ц/га имеет место в центральных районах Украины, в Краснодарском и Ставропольском краях России, а ниже 6-8 ц/га – на юге Украины и в Нижнем Поволжье России.

Признавая полезность и информативность интегрального показателя степени благоприятствования климата в виде урожайности, необходимо отметить следующее. На абсолютной величине урожайности той или иной культуры сказывается влияние не только климатических условий. Определяющим фактором является и культура земледелия, зависящая в свою очередь от уровня селекционной работы, энерговооруженности сельского хозяйства, технологии возделывания, включая обеспеченность удобрениями, мелиорации земель.

Поэтому для выявления влияния погоды и климата на урожайность последнюю выражают в отклонениях от тренда, т.е. от линии осредненной во времени урожайности. В основу такой оценки положена идея В.М. Обухова [82] о возможности разложения временного ряда урожайности любой культуры на две составляющие: стационарную и случайную. В такой постановке временной ряд урожайности ($Y_i = 1, 2, \dots, n$) можно представить общей статистической моделью следующего вида:

$$Y_i = f(t) + U_i, \quad (12.1)$$

где $f(t)$ – стационарная составляющая;

U_i – случайная составляющая временного ряда.

Стационарная составляющая определяет общую тенденцию изменения урожайности в рассматриваемом периоде. Она представляется плавной линией в результате сглаживания ряда и называется трендом. Случайная составляющая обуславливается погодными условиями отдельных лет и представляется отклонениями от линии тренда. Для агроклиматической оценки динамики урожайности культурных растений или прогнозирования

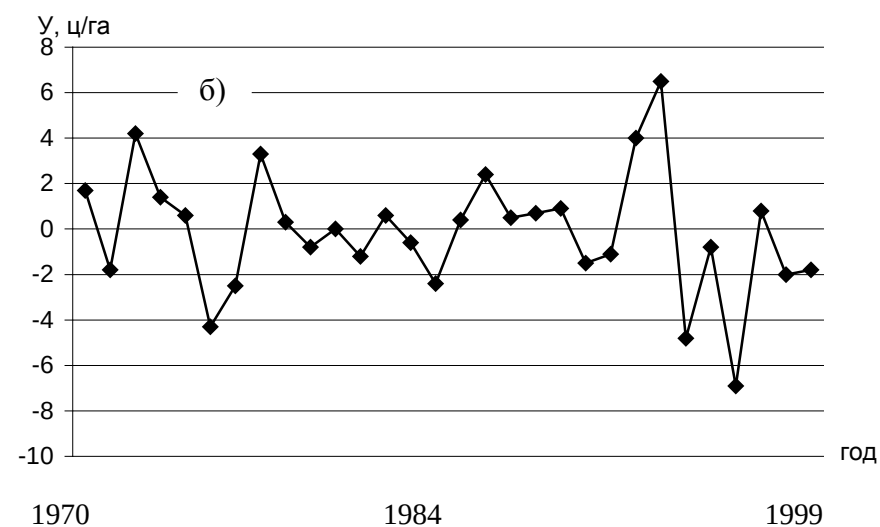
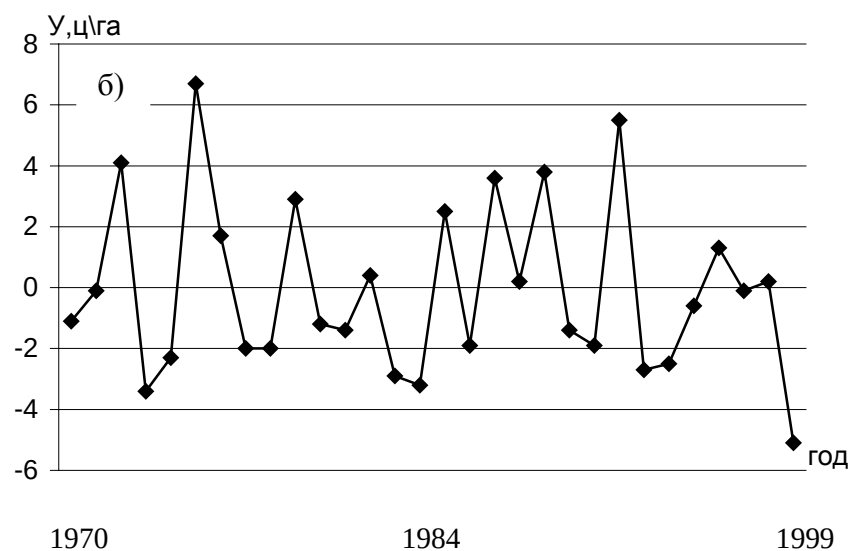
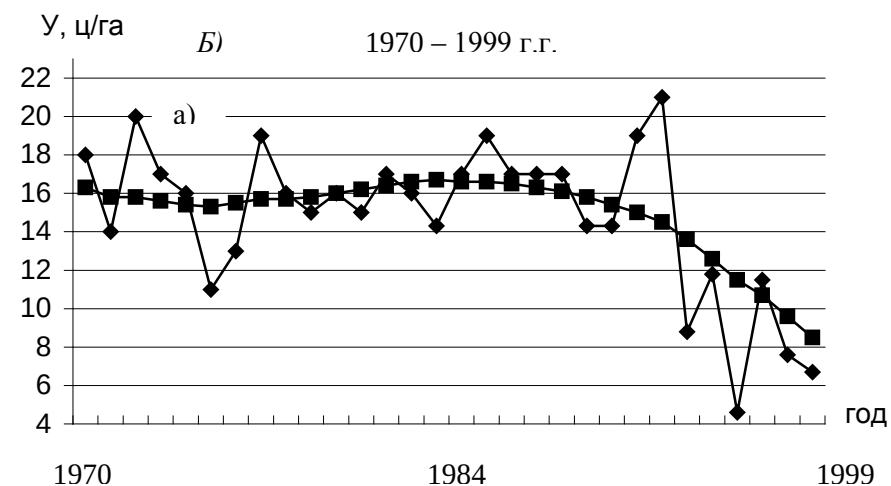
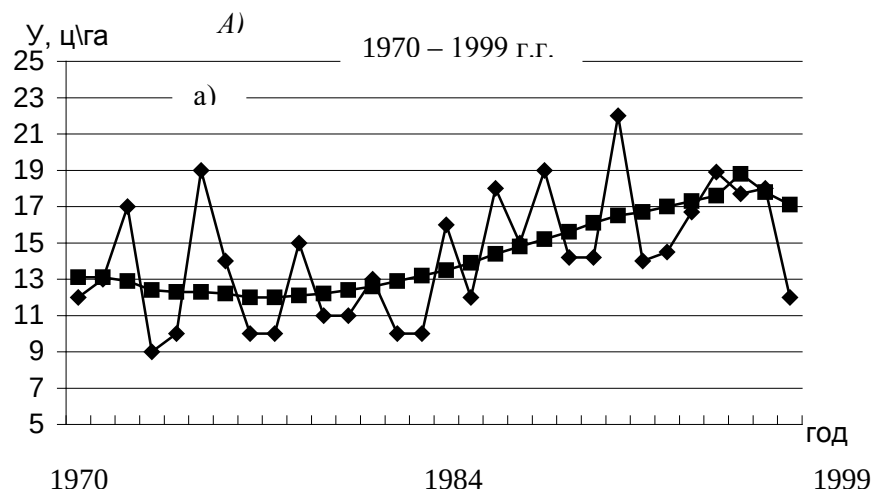


Рис.12.3 - Динамика урожайности подсолнечника А) в Сумской области, Б) в Херсонской области.
 Абсолютные значения урожайности (а): 1 – линии трендов, 2 – ежегодный урожай;
 отклонения урожаев (ΔY) от точек тренда (б).

тенденции урожайности в ближайшие годы применяют два метода – наименьших квадратов (МНК) и гармонических весов (МГВ).

МНК предполагает, что все наблюдения статистического ряда имеют одинаковый вес. Если в рассматриваемом периоде лет наблюдается равномерное изменение урожайности, линия тренда может быть представлена уравнением прямой

$$Y = a_0 + a_1 \cdot t \quad (12.2)$$

В случае неравномерного изменения урожайности культуры линию тренда следует представлять в виде параболы второго порядка

$$Y = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2, \quad (12.3)$$

где Y – урожайность (ц/га, т/га);

a_0 – выровненный уровень урожайности, обусловленный культурой земледелия;

a_1 – среднегодовой прирост урожайности, обусловленный культурой земледелия;

a_2 – ускорение прироста урожайности (тенденция изменения среднегодового прироста);

t – порядковый номер года в статистическом ряду урожайности.

В 70-80-ые годы А.И. Манелля и Н.Н. Френкель [55], Ю.Л. Раунер [83], В.М. Пасов [82] провели глубокие исследования по динамике урожайности зерновых и технических культур на территории России по методу наименьших квадратов с получением соответствующих уравнений трендов. По их оценке выявила большая изменчивость трендов урожайности в различных регионах, которые не всегда показывали тенденцию к росту урожайности за рассматриваемый период (25-30 лет).

Метод гармонических весов впервые был предложен З. Хельвигом. Позднее этот метод получил дальнейшее развитие в агрометеорологических исследованиях А.Н. Полевого [38, 77] и других авторов. МГВ имеет то преимущество, что позволяет отказаться от предположений относительно вида тренда урожайности. Основная идея метода заключается в том, что в результате взвешивания определенным образом отдельных наблюдений временного ряда более поздним наблюдениям придаются большие веса.

Несмотря на сложность расчетов, метод гармонических весов нашел широкое применение для оценки динамики урожайности многих культур в географическом разрезе. В качестве примера на рис.12.3 представлена динамика урожайности подсолнечника за период 1970-1999 гг., рассчитанная по МГВ для Сумской области Украины (ст. Лебедин) и Херсонской (ст. В.Александровка). Наглядно видно, что типы трендов урожайности различны, а отклонения урожаев под влиянием агрометеорологических условий отдельных лет от точек трендов значительны. Это указывает на то, что показатель урожайности отличается

чувствительностью как к особенностям почвенно-климатических условий, так и к уровню культуры земледелия.

12.2. Статистические связи урожайности культурных растений с климатическими факторами

Без привлечения информации об условиях окружающей среды и в первую очередь о тепло и влагообеспеченности культур невозможно дать конкретные рекомендации по рациональному использованию агроклиматических ресурсов в том или ином регионе с целью получения стабильных урожаев высокого качества. В этой связи заслуживают внимания подходы к количественной оценке влияния агроклиматических факторов на продуктивность сельскохозяйственных культур. По методическим приемам можно выделить два таких подхода: 1) эмпирико-статистический; 2) имитационно-модельный.

12.2.1. Эмпирико-статистический подход

Эмпирико-статистический подход основывается на статистических связях урожая сельскохозяйственных культур с метеорологическими показателями. Среди методов определения урожая по тому или иному климатическому критерию имеются относительно простые или более сложные приемы, однозначные или многозначные соотношения. Но какой бы характер не носили эмпирические формулы, их структура неизменно предполагает вычисление конечного урожая культуры через тот или иной погодный фактор или комбинацию таких факторов. Если количественное выражение урожая есть величина Y , а элементы климата, характеризующие состояние приземного слоя воздуха и почвы суть $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ то статистический метод имеет в виду раскрытие, анализ и использование функции вида:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (12.4)$$

Выражение 12.4 устанавливается на основе длительных наблюдений, анализа многолетних данных и последующей их статистической обработки. Функция f может носить линейный, показательный, экспоненциальный или другой характер в зависимости от места наблюдений, климатической зоны, а также от вида растения. В реальной полевой обстановке на урожай влияет ряд метеорологических элементов и формула выражающая эти связи приобретает более сложный вид. Существенной проблемой является умение выразить видом функции f реальные зависимости между урожаем и комбинацией метеорологических параметров, влияющие на изменение величины Y . Наиболее часто для этих целей применяются методы регрессионного и информационного анализа.

При изучении статистической связи продуктивности сельскохозяйственных культур с метеорологическими параметрами встречается ряд трудностей. Среди них самым серьезным можно считать недостаточный учет влияния погодных условий предшествующего периода на формирование урожая. Для выяснения характера реакции растений на факторы среды перед регрессионным анализом желательно провести информационный анализ, который позволяет обнаружить направление связи.

К настоящему времени имеются обширные опубликованные материалы по установлению статистических связей продуктивности основных сельскохозяйственных культур с элементами климата как в различных регионах СНГ, так и в дальнем Зарубежье. В качестве примера рассмотрим некоторые из них. Детальные исследования многофакторных связей урожайности озимой пшеницы с агрометеорологическими условиями и состоянием растений в вегетационный период были проведены Е.С.Улановой [107]. Для территории Украины Северного Кавказа ею установлена прямолинейная зависимость урожая озимой пшеницы (Y , ц/га) от запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы (x , мм) весной при переходе средней декадной температуры воздуха через 5°C . При числе стеблей 1000-2000 на 1 м^2 . Формула имеет вид

$$Y = 0,24x - 10,22; \quad r = 0,86 \quad (12.5)$$

Для периода после возобновления вегетации и весеннего обследования озимых предложено уравнение множественной регрессии вида:

$$Y = 0,059x_1 + 0,024x_2 - 2,97; \quad r = 0,82 \quad (12.6)$$

где x_1 – запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы весной (мм);

x_2 – число стеблей на 1 м^2 ;

r – коэффициент множественной корреляции. В фазу выхода в трубку уравнение связи имеет следующий вид:

$$Y = -12,8 + 0,29x_1 - 10^3 \cdot x_1^2 + 0,04x_2 - 10^5 \cdot x_2^2 - 0,72x_3 + 0,03x_3^3; \\ R_k = 0,84 \quad (12.7)$$

где x_1 – средние запасы продуктивной влаги за период возобновление вегетации – выход в трубку (мм);

x_2 – число стеблей на 1 м^2 в фазу выхода в трубку;

x_3 – средняя температура воздуха за этот период;

r_k – корреляционное отношение.

Ю.И. Чирковым [114] установлена связь хозяйственного урожая кукурузы с запасами влаги в слое почвы 0-50 см при разной площади листовой поверхности. Формула имеет следующий вид:

$$Y = 0,360x + 8,90; \quad r = 0,81 \quad (12.8)$$

при $S_c \approx 9-16$ тыс.м²/га;

$$Y = 0,448x + 12,07; \quad r = 0,80 \quad (12.9)$$

при $S_c \approx 17-24$ тыс.м²/га,

где x – запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-50 см;
 S_c – площадь листовой поверхности.

Позднее им установлена нелинейность этой связи. Например, для посевов с площадью листьев 20 тыс.м²/га в фазу выметывания метелки уравнение связи имеет вид

$$Y = 0,006x^2 + 1,1x - 4,2; \quad r_k = 0,82 \quad (12.10)$$

Имеется серия формул, в которых урожай связывается с несколькими климатическими показателями, характеризующими режимы тепла, влаги, солнечной радиации. Например, Л.Р. Шарифуллина для условий Татарстана предложила следующую формулу для расчета возможного урожая яровой пшеницы (Y , ц/га):

$$\hat{O} = \frac{10}{\hat{E}_{\hat{a}}} \{[(\hat{I}_{\hat{c}\hat{a}} \cdot \hat{E}_{\hat{e}}) + (\hat{I}_{\hat{ia}} \cdot 0,7)] - \hat{a}T_{\hat{n}} \cdot N_{\hat{i}}\}, \quad (12.11)$$

где $M_{зв}$ – запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы к моменту сева (мм);

$M_{ос}$ – средние многолетние осадки за вегетационный период (мм);

K_u – коэффициент использования запасов продуктивной влаги в почве;

0,7 – переводной множитель;

a – средний суточный расход влаги на 1 °С в весенний период (мм);

T_c – средняя суточная температура воздуха за период вегетации;

N_n – продолжительность периода от посева до массового появления всходов (дни);

K_{ε} – коэффициент водопотребления на 1 ц основной продукции с учетом побочно (в м³).

12.3. Физико-статистические модели «Климат – урожай» различной сложности

Противоположным эмпирико-статистическому подходу является имитационно-модельный. В этом случае на выводы из среднестатистической обработки, а физические соображения, вытекающие из существа

рассматриваемого явления, кладутся в основу анализа и оценки урожайности культурных растений. При этом, прежде всего, требуется выработать модель какой-либо стороны вегетационного периода, описать ее математически и проанализировать полученное решение. А затем перейти к тем же манипуляциям при рассмотрении других сторон процесса выращивания урожая. Излагаемый подход нельзя выдержать в едином физико-математическом ключе. В силу огромной сложности полученные формулы содержат много параметров приземного слоя воздуха, почвы и самого растения, знание которых недостоверно. Для их оценки прибегают к многофакторным экспериментам и к анализу опытных материалов по литературным источникам с последующей статистической обработкой тех и других. Все это делает методы не чисто теоретическими, а полуэмпирическими.

К настоящему времени учеными СНГ и стран дальнего зарубежья разработаны многочисленные модели различной сложности для описания продуктивности сельскохозяйственных культур [17, 34, 38, 76, 99, 105]. Эти модели условно можно разделить на два класса: 1) физико-статистические; 2) динамико-статистические. Рассмотрим те из них, которые перспективны или уже применяются для агроклиматической оценки урожайности.

Заметным шагом вперед в разработке физико-статистических моделей для оценки агроклиматических ресурсов явились методы оценки сельскохозяйственного бонитета климата (они описаны в главе 11), предложенные П.И. Колосковым [42] и С.А. Сапожниковой [90], . Позднее Д.И. Шашко [116] предложил метод оценки земли по показателям потенциальной биологической продуктивности – биоклиматическому потенциалу (БКП). Для программирования урожаев культурных растений формула имеет вид:

$$\acute{O}_{\acute{a}} = \eta_{\delta} \frac{\ddot{I}_{\acute{i}}}{\ddot{I}_{\acute{i}}} \left(\frac{\sum \acute{O}_{\tilde{n}} \succ 10^0 \tilde{N}}{1000^0 \tilde{N}} \right) = \eta_{\delta} \cdot \acute{E}_{\delta} \cdot \beta \quad (12.12)$$

где $\acute{O}_{\acute{a}}$ – возможный ожидаемый урожай;

η_{δ} – коэффициент использования ФАР, выраженный в долях единицы;

$\ddot{I}_{\acute{i}}, \ddot{I}_{\acute{i}}$ – максимальная продуктивность в условиях достаточного увлажнения, продуктивность при недостатке влаги;

$\acute{E}_{\delta}$ – коэффициент биологической активности или роста;

β – отношение сумм средних суточных температур воздуха выше 10 °С к базисной сумме температур (1000 °С).

Итак, зная β и задаваясь значениями $\ddot{I}_{\acute{i}}$ и $\ddot{I}_{\acute{i}}$, а также их соотношением, которое на территории СНГ меняется от 1,0 (лесная зона) до

0,2 (пустынная) в зависимости от показателя увлажнения, находят $BKP = \hat{E}_{\delta} \cdot \beta$, а затем рассчитывают урожай по формуле вида

$$\dot{O}_{\beta} = \dot{A}\hat{E}\ddot{I} \cdot \eta_{\delta} \quad (12.13)$$

Для облегчения расчетов Д.И. Шашко предлагает использовать специально составленную таблицу для перехода от БКП к урожайности ряда зерновых и технических культур. Применительно к конкретной культуре биоклиматический потенциал рассчитывается по ΣT_c за её вегетационный период.

Из зарубежных физико-статистических моделей более приемлемыми являются модели продукционного процесса агробиоценозов. Простейшая из них предложена де Витом [38] для районов с лимитированной влагой и достаточным количеством тепла. Модель имеет вид

$$D_{\tilde{n}} = \frac{f \cdot T_r}{E_{\hat{a}\delta}}, \quad (12.14)$$

где P_c – надземная сухая масса вещества;

$\dot{O}_r$ – фактическая транспирация посева, являющаяся показателем влагообеспеченности;

E_{ep} – потенциальная эвалотранспирация (потенциальное суммарное испарение, свойственное данному растительному сообществу для конкретных условий;

f – эмпирический коэффициент, характеризующий биологические особенности культуры.

Более широкое применение получила модель де Вита в модификации Хенкса [38] в виде

$$\frac{\dot{O}}{\dot{O}_{\delta}} = \frac{\dot{O}_r}{T_{rp}}, \quad (12.15)$$

где U – рассматриваемый урожай культуры;

$\dot{O}_{\delta}$ – потенциальный урожай;

$\dot{O}_{rp}$ – потенциальная транспирация.

Дальнейшее усовершенствование модели шло по пути дифференцированного учета фактической и потенциальной транспирации в различные этапы развития конкретной культуры с привлечением информации об изменении запасов влаги в почве. Некоторые методические приемы решения этих частных задач рассмотрены в работе К. Хабарда и Р.Хенкса [38]. Признавая, что различия в температуре воздуха на уровне будки и растительного покрова весьма существенны, они предложили

эмпирическую формулу для расчета поправки к наблюдаемой в метеобудке температуре воздуха ($\Delta\theta$). Найденная затем температура растительного покрова (θ) определяется по формуле

$$\theta = \theta_{dir} + \Delta\theta, \quad (12.16)$$

где θ_{dir} – температура воздуха в метеобудке, используется для оценки роста или темпов развития культуры.

Заслуживает внимания физико-статистическая модель, предложенная J.T. Хенксом [32], с помощью которой представляется возможным оценивать агроклиматические ресурсы территории. Модель базируется на связи между урожаем и суммарным испарением, но по своей конструкции отличается от описанной выше и имеет вид

$$1 - \frac{YA}{YM} = K \cdot \left(1 - \frac{\dot{O} \dot{O}_a}{\dot{A} \dot{O}_m}\right)$$

Откуда

$$YA = YM - YM \cdot K \cdot \left(1 - \frac{\dot{A} \dot{O}_a}{\dot{A} \dot{O}_m}\right) \quad (12.17)$$

где YA – действительный урожай культуры (кг/га);

YM – потенциально возможный урожай при достигнутом уровне культуры земледелия в условиях достаточной тепло и влагообеспеченности (кг/га);

K – множитель, зависящий от данной культуры и фазы развития;

ET_a, ET_m – соответственно фактическое суммарное испарение и максимальное суммарное испарение растительного покрова.

Сложность расчета показателя K затрудняет практическое использование данной модели при комплексной оценке агроклиматических ресурсов территории применительно к возделыванию сельскохозяйственных культур.

Из физико-статистических моделей агроклиматических ресурсов территории СНГ особого внимания заслуживают комплексные модели А.Р. Константинова [44] и В.П. Дмитренко [32]. В общем виде модель А.Р. Константинова имеет вид

$$\dot{O}_{\delta \tilde{n}} = \dot{O}_1^{\tilde{a}} + \sum_{i=2}^n \cdot \Delta \dot{O}_i^{\tilde{a}}, \quad (12.18)$$

где U_{pac} – относительное значение расчетной урожайности (в долях средней урожайности, достаточной при существующем уровне культуры земледелия на конкретную дату);

$\acute{O}_1^{\tilde{a}}$ – графическое значение относительной урожайности, обусловленное влиянием первого фактора;

$\Delta \acute{O}_i^{\tilde{a}}$ – добавочное влияние на урожайность других факторов, определяемое с помощью графических регрессий.

В качестве основных факторов, влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур, автор выбрал биологические особенности культуры, гидрометеорологические элементы, плодородия почвы и агротехнику. Таким образом, модель имеет четыре блока: биологический, метеорологический, плодородия почвы и агротехники. Влияние метеорологических факторов сводится к учету температуры и абсолютной влажности воздуха в летний период, а также температуры воздуха и высоты снежного покрова в зимний период. Влияние всех факторов предложено оценивать в относительных единицах урожайности, что позволяет наглядно судить об их значимости.

С учетом сказанного модель принимает следующий вид:

$$\acute{O}_{\delta\tilde{a}\tilde{n}} = \acute{O}_{\delta,\tilde{a}}^{\tilde{a}} + \acute{O}_{\delta,h}^{\tilde{a}} + \acute{O}_{w,Q}^{\tilde{a}} + \acute{O}_{A,\tilde{I}}^{\tilde{a}} + \acute{O}_{A,\delta\tilde{a}}^{\tilde{a}} + \acute{O}_{A,\tilde{N}}^{\tilde{a}} - 5 \quad (12.19)$$

где $\acute{O}_{\delta,\tilde{a}}^{\tilde{a}}$ – урожайность, обусловленная влиянием температур и влажности воздуха теплого периода;

$\acute{O}_{\delta,h}^{\tilde{a}}$ – урожайность, обусловленная влиянием условий перезимовки;

$\acute{O}_{w,Q}^{\tilde{a}}$ – урожайность, обусловленная почвенным плодородием;

$\acute{O}_{A,\tilde{I}}^{\tilde{a}}$ – урожайность, обусловленная влиянием предшественника;

$\acute{O}_{A,\tilde{N}}^{\tilde{a}}$ – урожайность, обусловленная сортом культуры;

$\acute{O}_{A,\delta\tilde{a}}^{\tilde{a}}$ – урожайность, обусловленная удобрениями.

С помощью этой модели А.Р. Константинов, Е.К. Зоидзе и С.И. Смирнова [45] выполнили оценку влияния почвенно-климатических ресурсов на урожайность озимой пшеницы, озимой ржи, яровой пшеницы, ярового ячменя, овса и кукурузы. Составлен ряд схематических карт распределения потенциальной урожайности этих культур в относительных единицах на территории СНГ в ареале их возделывания. Достоинством данной модели является полнота учета факторов, влияющих на урожайность.

Однако методология учета влияющих факторов с помощью графических регрессий далеко не бесспорна. Кроме того, основным недостатком модели является слишком упрощенная оценка влияния метеорологических условий (температура и влажность воздуха) на урожайность культур. Это ограничивает использование для решения модели агроклиматических задач.

Модель В.П. Дмитренко [26], так же как описанная выше, учитывает влияние на урожайность различных факторов в динамике по периодам вегетации. Для оценки ресурсов урожайности озимой пшеницы эта модель, являющаяся наиболее полной имеет вид:

$$\dot{O} = Y_{\max}(1 - a)f(K)S(T, W, P)_{III-VII} \varphi(\lambda) + \Delta, \quad (12.20)$$

где $Y_{\max}$ – ежегодный статистический максимум урожайности;

a – изреженность посевов;

$f(K)$ – функция кустистости;

$S(T, W, P)_{III-VII}$ – показатель продуктивности гидрометеорологических условий в период март-июль,

$\varphi(\lambda)$ – показатель уровня урожайности при различных соотношениях площадей уборки и посева;

Δ – ошибка расчета за счет неучтенных факторов.

Из гидрометеорологических факторов в модели учитываются температура воздуха, осадки в весенне-летний период и запасы влаги в почве на весну.

Модель универсальная и в настоящее время автором на основании её построены схемы расчета урожайности (озимая пшеница, озимая рожь, яровой ячмень, кукуруза, картофель, сахарная свекла и подсолнечник), реализованные применительно к Украине в прогностических целях. Недостатком модели является то, что она содержит большое количество эмпирических коэффициентов, которые необходимо рассчитывать для каждой природно-климатической зоны. Кроме того, в ней не учитывается влияние местного климата и микроклимата на вариабельность урожайности в пределах административной области, что затрудняет использование модели для агроклиматической оценки продуктивности сельскохозяйственных культур.

Основываясь на концепции максимальной продуктивности посевов Х.Г. Тооминг предложил метод эталонных урожаев [94, 95]. Суть его заключается в определении и сравнении разных категорий урожаев: потенциальный урожай (Y_{nm}), действительно-возможный урожай ($Y_{\partial\partial}$) и урожай в производстве (Y_n). Первый из них (Y_{nm}) – это урожай сорта в идеальных метеорологических условиях; он определяется приходом ФАР и биологическими свойствами культур и сортов. Второй урожай ($Y_{\partial\partial}$) – это максимально возможный урожай культуры в существующих метеорологических и почвенных условиях.

Разность ($Y_{nm} - Y_{\partial\partial}$) – характеризует недобор урожая, вызванный тем, что погодные условия не идеальны. Отношение $\hat{E}_{\dot{a}} = \frac{\dot{O}_{\ddot{a}\dot{a}}}{\dot{O}_{\ddot{o}\dot{o}}}$ – это коэффициент благоприятности погоды или климата. Для сравнительной оценки рассматривается и разность ($Y_{\partial\partial} - Y_n$), т.е. недобор урожая из-за

неполного использования агроклиматических ресурсов в конкретном районе. Отношение $\hat{E}_y = \frac{\dot{O}_i}{\dot{O}_{\hat{a}\hat{a}}}$ - это коэффициент эффективности использования погодных или климатических ресурсов. Значения $(Y_{\partial\partial} - Y_n)$ и K_3 позволяют оценить уровень и культуру растениеводства.

Для агроклиматической оценки продуктивности сельскохозяйственных культур Х.Г. Тооминг разработал физико-статистическую модель, позволяющую расчетным путем определять потенциальную и действительно-возможную урожайность той или иной культуры. Потенциальный урожай общей сухой биомассы рассчитывается по формуле

$$\dot{O}_{ic} = \int_0^{\tau_i} \frac{\eta_i(t) \cdot Q_{\partial}(t) \cdot dt}{q(t)}, \quad (12.21)$$

где $\dot{O}_{i\hat{n}}$ – потенциальный урожай общей сухой биомассы в кг/м²;

$Q_{\phi}(t)$ – функция дневных сумм фотосинтетически активной радиации (ФАР) в МДж/м²;

$\eta_n(t)$ – функция (ход) потенциального КПД посева в течении вегетационного периода в %;

q – удельная теплота сгорания (калорийность растений в МДж/кг);

t – продолжительность вегетационного периода в днях.

Приближенно $\dot{O}_{i\hat{n}}$ общей сухой биомассы можно рассчитать по формуле

$$\dot{O}_{i\hat{n}} = \frac{\eta_i \cdot \Sigma Q_{\partial}}{q}, \quad (12.22)$$

где η_n – средний за вегетационный период потенциальный КПД посева;

ΣQ_{ϕ} – сумма ФАР за вегетационный период культуры.

При этом потенциальный КПД использования ФАР растениями (η_n) рассчитывается по формуле

$$\eta_i = \frac{q \cdot \dot{O}_{\hat{a}} \cdot 100}{\Sigma Q_{\partial}}, \quad (12.23)$$

где η_n – КПД в %;

$\dot{O}_{\hat{a}}$ – максимальный биологический урожай сухой биомассы в кг/м²;

100 – вводится для перевода числовых значений в проценты;

ΣQ_{∂} – сумма ФАР за вегетационный период в МДж/м².

Потенциальный урожай хозяйственно ценных органов (зерна, клубней и др.) в виде $\dot{O}_{i\partial}$ рассчитывается по формуле

$$\dot{O}_{i\delta} = \frac{\eta_i \cdot \sum Q_{\delta} \cdot \hat{E}_{\delta i \zeta}}{q}, \quad (12.24)$$

где $K_{хоз}$ – коэффициент, характеризующий долю хозяйственно полезной части урожая, т.е. отношение основной продукции к общей биомассе культуры.

Входящие в формулу 12.24 величины η_i , q и $\hat{E}_{\delta i \zeta}$ определяются экспериментально или на основе анализа литературных источников. Потенциальный КПД зависит от множества факторов и его средние за вегетационный период значения для разных культур варьируют в пределах 1-4 %. Средняя удельная теплота сгорания различных фитоценозов изменяется в пределах 16,7-20,5 КДж/г (или 16700-20500 КДж/кг). Величина q меняется в онтогенезе и различна по органам конкретных культурных растений [105]. Коэффициент $\hat{E}_{\delta i \zeta}$ для зерновых культур варьирует в пределах 0,35-0,60 (озимая рожь, яровая пшеница), а для технических культур – в пределах 0,50-0,75 (картофель, сахарная свекла).

Действительно возможная урожайность ($\dot{O}_{\ddot{a}\hat{a}}$) отличается от $\dot{O}_{i\delta}$ тем больше, чем значительные почвенно-климатические факторы отличаются от оптимальных. Его можно определить по формуле

$$\dot{O}_{\ddot{a}\hat{a}} = \dot{O}_{i\delta} \cdot f_1(x_1) f_2(x_2) \dots f_n(x_n), \quad (12.25)$$

где $f_1(x_1)$ – характеризует зависимость урожая от условий увлажнения; $f_2(x_2) \dots f_n(x_n)$ – от других лимитирующих факторов климата (заморозкоопасности, морозоопасности зимой, степени оптимальности термических ресурсов и др.).

В умеренном поясе, за исключением зоны избыточного увлажнения, при расчете действительно возможного урожая наиболее часто ограничиваются учетом первого фактора – влагообеспеченности растений и тогда используется формула вида

$$\dot{O}_{\ddot{a}\hat{a}} = \dot{O}_{i\delta} \cdot \frac{\hat{A}}{\hat{A}_i}, \quad (12.26)$$

где E – суммарное испарение или фактическое водопотребление культуры;

$\hat{A}_0$ – испаряемость или оптимальное водопотребление;

$\frac{\hat{A}}{\hat{A}_0}$ – индекс сухости климата или влагообеспеченность культуры.

Испаряемость можно определить по формуле, предложенной А.М. Алпатьевым [8], вида

$$A_0 = \hat{E}_a \cdot \Sigma d, \quad (12.27)$$

где $\hat{E}_a$ - биологический коэффициент испарения, принятый в среднем равным 0,65;

Σd - сумма дефицитов влажности воздуха, рассчитанная за вегетационный период культуры. Испаряемость можно рассчитать и по формуле, предложенной М.И. Будыко и Л.И. Зубенок [17, 36], вида

$$E_0 = 0,70 \Sigma \left(\frac{R - B}{L} \right) \quad (12.28)$$

где R – радиационный баланс подстилающей поверхности;

B – поток тепла в почву;

L – скрытая теплота испарения.

Суммарное испарение (E) рассчитывается с помощью уравнения водного баланса вида

$$E = \Sigma r + (W_n - W_k) - f, \quad (12.29)$$

где Σr – сумма осадков за вегетационный период;

$W_n - W_k$ – соответственно запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на начало и конец вегетации культуры;

f - поверхностный сток.

12.4. Агроклиматическая оценка урожаев разного вида на основе моделирования

Метод эталонных урожаев, предложенный Х.Г. Тоомингом [104], и его физико-статистическая модель нашли широкое признание в развитии в последующих исследованиях А.Н. Полевого и А.Н. Витченко [38], З.А. Мищенко [66, 67], Т.И. Турманидзе [106] и др. применительно к различным регионам СНГ. Достоинством рассмотренной модели в §12.3 является её лаконичность с ограниченным использованием эмпирических параметров. А входящие в неё агроклиматические показатели ΣQ_ϕ , E , E_o и E/E_o отличаются чувствительностью к микроклимату. Поэтому модель перспективна для агроклиматической оценки продуктивности однолетних и многолетних культур, как в зональном разрезе, так и в пределах ограниченных территорий со сложным рельефом или с большой пестротой почв.

Рассмотрим некоторые примеры агроклиматической оценки урожаев разного вида на основе моделирования с географически подходом.

Ориентируясь на значение КПД использования ФАР посевами в 2%, Х.Т. Тооминг и П.Х. Каринг [105] рассчитали потенциальный урожай (U_{nm}) и действительно возможный урожай (U_{dv}) многолетних трав, а также недоборы урожая, обусловленные дефицитом влаги, для территории Эстонии. Они также выполняли ЭВМ-картирование U_{nm} , U_{dv} и ($U_{nm} - U_{dv}$). На рис. 12.4 представлена одна из карт, характеризующая недобор урожая многолетних трав. На карте-схеме выделено восемь мезорайонов, которые по разности ($U_{nm} - U_{dv}$) различаются от 0-1 т/га до 6-7 т/га.

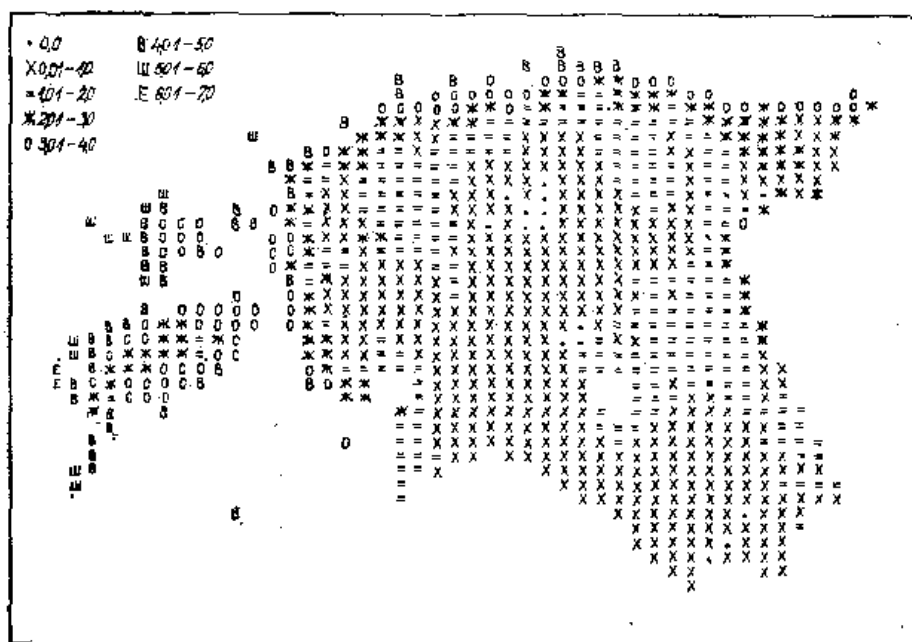


Рис.12.4 – Недобор урожая многолетних трав (т/га), обусловленный дефицитом влаги на территории Эстонии за период май-сентябрь

В рамках метода эталонных урожаев Х.Г. Тооминг и Ю.В. Сепп выполнили агроклиматическую оценку потенциального (ПУ) и действительно возможного (ДВУ) урожаев картофеля и определили их обеспеченность на почвах с высоким агрофоном в Эстонии. Как видно из табл.12.1 средние многолетние суммы суммарной радиации (ΣQ) в зависимости от продолжительности вегетационного периода картофеля меняются от 1430 до 1830 МДж/м², а ПУ и ДВУ сырой биомассы изменяются в пределах 58-75 т/га и 40-52 т/га. В условиях орошения КПД использования ФАР растениями оказался весьма высоким (в пределах 3-4 %). Вероятностные характеристики расчетных урожаев существенно изменяются в пределах 10 % и 90 % обеспеченности (1 и 9 раз в 10 лет).

Принимая за теоретическую основу сформулированную Х.Г. Тоомингом концепцию максимальной продуктивности растений, А.Н. Полевой [38, 76] разработал динамико-статистическую модель для агроклиматической оценки потенциального (U_{nm}) и действительно

Таблица 12.1 – Обеспеченность (%) сумм суммарной радиации (МДж/м²), ПУ и ДВУ сырой массы клубней картофеля (т/га) при разной продолжительности периода вегетации от всходов до отмирания ботвы в Эстонии

Вегетационный период	Показатель	Обеспеченность, %							
		10	20	30	40	50	60	70	80
1.VI – 20.IX	ΣQ	2070	2010	1920	1880	1830	1800	1780	1750
	ПУ	84,9	82,7	79,1	77,4	75,6	74,3	73,4	72,0
	ДВУ	59,5	58	55,0	54,0	52,0	51,5	51,0	50,5
11.VI – 20.IX	ΣQ	1860	17800	1700	1660	1620	1600	1580	1540
	ПУ	76,9	73,8	70,3	68,1	67,2	65,9	65,0	63,6
	ДВУ	53,0	51,5	49,0	48,0	46,5	45,5	45,0	44,0
21.VI – 20.IX	ΣQ	1640	1580	1520	1470	1430	1390	1360	1320
	ПУ	67,2	65,0	62,8	60,6	58,8	57,5	56,1	54,4
	ДВУ	46,5	45,5	43,0	41,5	40,5	39,0	38,5	38,0

Примечание: Сорт «Сулев», возделываемый на высоком агрофоне в условиях дождевания.

возможного ($Y_{\partial\delta}$) урожаев с введением модификационных формул. Шаг модели – месяц и за вегетационный период. Потенциальный КПД использования ФАР растениями (η_n) рассчитывается по модификационной формуле 12.25 в виде

$$\eta_i = \frac{q \cdot \acute{O}_{i\grave{a}\acute{e}} \cdot 100 \cdot \acute{A} \cdot R}{\sum Q_{\grave{n}\grave{o}.\grave{i}\grave{e}\grave{i}}}, \quad (12.30)$$

где $\acute{O}_{i\grave{a}\acute{e}}$ – максимальная урожайность сельскохозяйственных культур, получаемых на уровне агротехники Госсортосети;

$\sum Q_{\grave{n}\grave{o}.\grave{i}\grave{e}\grave{i}}$ – сумма ФАР за наиболее короткий период вегетации культуры (МДж/м²);

B – коэффициент, характеризующий уровень плодородия пашни ключевого района, безразмерный

Коэффициент B рассчитывается по формуле

$$\acute{A} = \frac{\acute{A}_{i\grave{o}}}{\acute{A}_{i\grave{a}}}, \quad (12.31)$$

где $\acute{A}_{i\grave{o}}$ – бонитет пашни, баллы (без учета климатической поправки), исследуемой территории;

$\acute{A}_{i\grave{a}}$ – бонитет пашни госсортоучастка с максимальным урожаем культуры, баллы. Коэффициент R рассчитывается по формуле

$$R = 0,001 F (1-H), \quad (12.32)$$

где F – содержание сухого вещества в хозяйственно ценной части урожая сельскохозяйственных культур (%);

H – переводной коэффициент, отражающий соотношение хозяйственно ценной части урожая к общей сухой биомассе, безразмерный.

Потенциальный урожай биомассы расчетного месяца вегетационного периода ($\acute{O}_{i\grave{o}}^i, \grave{o} / \grave{a}\grave{a}$) рассчитывается по формуле

$$\acute{O}_{i\grave{o}}^i = \frac{\sum Q_{\grave{o}}^i \cdot \eta_i}{q \cdot R} \quad (12.33)$$

Действительно возможный урожай ($Y_{\partial\delta}$) рассчитывается с учетом влияния лимитирующих факторов климата по формуле

$$\acute{O}_{\grave{a}\grave{a}}^i = \acute{O}_{i\grave{o}}^i \cdot \psi^i \cdot \lambda^i \cdot \alpha, \quad (12.34)$$

где ψ^i - функция воздействия температуры на продуктивность посевов;
 λ^i - функция воздействия влажности полуметрового слоя почвы;
 α - функция воздействия условий перезимовки на продуктивность озимых культур.

С помощью вышеуказанной модели А.Н. Полевой и А.И. Витченко [38] выполнили оценку агроэкологического потенциала ландшафтов Беларуси на примере озимой ржи, озимой пшеницы, ярового ячменя, картофеля и льна-долгунца. В табл.12.2 представлена осредненная по шести ландшафтным провинциям, характеристика Y_{ny} , Y_{dv} в сравнении с производственными урожаями этих культур (Y_n). Наглядно видны значительные различия в недоборе урожаев разной категории в виде разностей $(Y_{ny} - Y_{dv})$ и $(Y_{dv} - Y_n)$. Однако из-за разных значений η_n затруднительна сравнительная оценка продуктивности рассмотренных культур.

Авторы также составили ряд карто-схем распределения потенциальных и действительно возможных урожаев сельскохозяйственных культур по административным районам Беларуси. В качестве примера на рис.12.5 дано распределение Y_{ny} и Y_{dv} озимой ржи на рассматриваемой территории, которое носит азональный характер.

Таблица 12.2 – Основные показатели агроэкологического потенциала ландшафтных провинций Беларуси

Культура	ΣQ_{ϕ} , МДж/м ²	η_n , %	Y_{ny} , ц/га	Y_{dv} , ц/га	Y_n , ц/га
Озимая рожь	898	3,42	73,7	61	32
Озимая пшеница	995	2,90	69	54	26
Яровой ячмень	774	3,90	100	84	30
Картофель	802	1,61	684	616	133
Лен-долгунец	782	2,31	32	26	5

Потенциальный урожай варьирует в пределах 5,5 – 6,5 т/га, а действительно возможный урожай оказывается значительно ниже и изменяется по территории от 3,5 т/га до 5,0 т/га.

Позднее А.Н. Полевой разработал более сложную структуру динамико-статистической модели продуктивности культурных растений с декадным шагом. Она содержит много эмпирических параметров, которые следует получать экспериментальным путем или из литературных источников. При этом он дал иное истолкование действительного возможного урожая, обозначив его метеорологически возможный урожай (МВУ), а действительно возможный урожай (ДВУ) предложил рассчитывать с учетом уровня плодородия почвы.

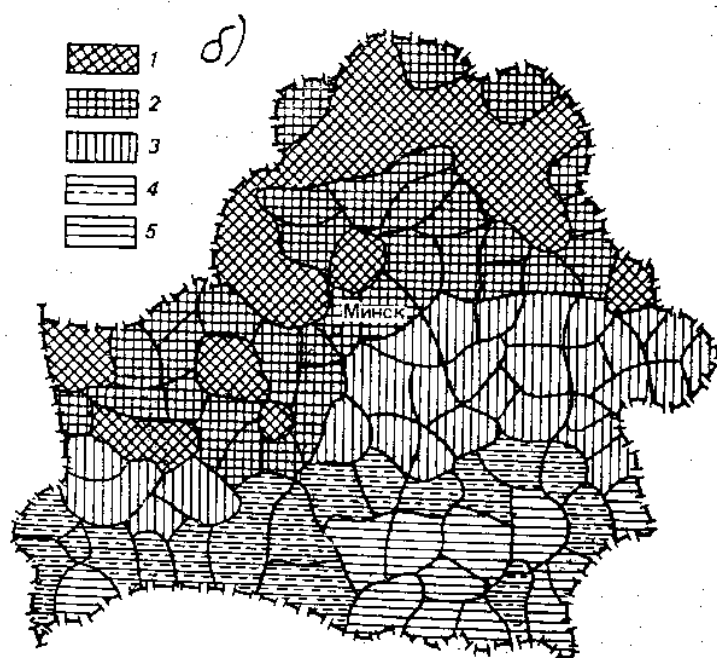
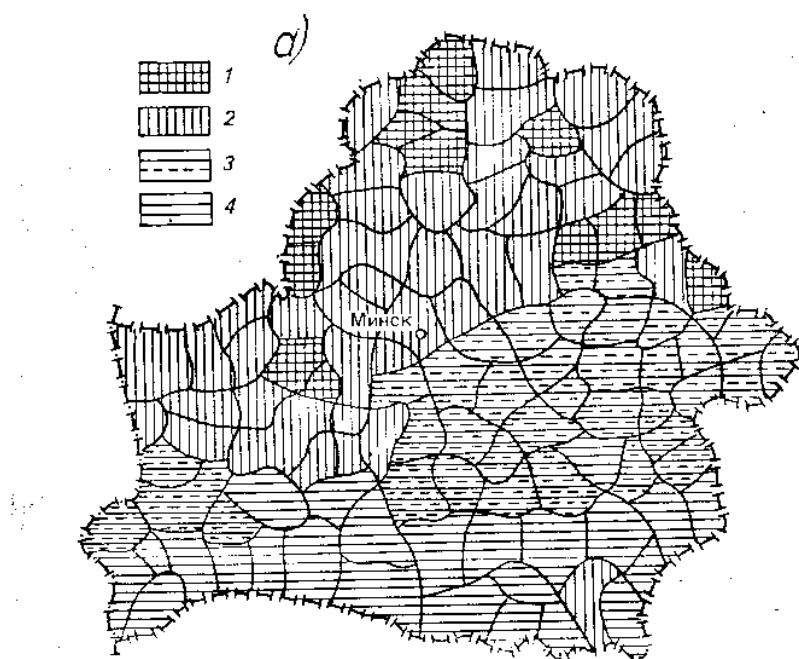


Рис. 12.5 – Распределение расчетных урожаев озимой пшеницы по административным районам Беларуси

А) $U_{пу}$: 1) более: 6,0 т/га; 2) 6,5 – 6,1; 3) 6,0 – 5,6 т/га; 4) менее 5,5 т/га;

Б) $U_{дв}$: 1) более: 6,0 т/га; 2) 6,5 – 6,1; 3) 6,0 – 5,6 т/га; 4) менее 5,5 т/га;

З.А. Мищенко [66] осуществила иной подход для выявления географической изменчивости расчетных урожаев сельскохозяйственных культур в зависимости от агроклиматических показателей. На первом этапе она выполнила агроклиматическое районирование радиационно-световых и тепловых ресурсов в среднем масштабе. (1:400000) на территории Молдовы и Одесской области. На втором этапе приняв за основу физико-статистическую модель Х.Г. Тооминга «Климат – урожай» и введя ряд модификационных формул, автор определила для каждого макрорайона, выделенного на соответствующих картах, потенциальные и действительно возможные урожаи ($U_{\partial\partial}$) ряда культур с учетом географической изменчивости показателя влагообеспеченности в виде относительного испарения – E/E_o . Расчеты U_n и $U_{\partial\partial}$ выполнялись по заданным значениям КПД использования ФАР растениями (η) в 1, 2, 3 %.

Например, для равнинных земель потенциальный урожай сырых гроздей винограда ($\dot{O}_{i\tilde{n}}$) рассчитывался по формуле

$$\dot{O}_{i\tilde{n}} = \frac{100 \cdot \dot{O}_{i\partial} \cdot \hat{E}_{\partial i\zeta}}{\hat{A}_{\tilde{n}}}, \quad (12.35)$$

где $\dot{O}_{i\partial}$ – потенциальный урожай сухой биомассы винограда в кг/м²;

$\hat{E}_{\partial i\zeta}$ – коэффициент, характеризующий хозяйственно целую часть урожая;

$\hat{A}_{\tilde{n}}$ – содержание сухого вещества в гомогенате ягод винограда в %.

Действительно возможный урожай сырых гроздей винограда ($\dot{O}_{\tilde{n}\tilde{n}}$) рассчитывался по формуле

$$\dot{O}_{\tilde{n}\tilde{n}} = \frac{100 \cdot \dot{O}_{i\partial} \cdot \hat{E}_{\partial i\zeta} \cdot \hat{A}}{\hat{A}_{\tilde{n}} \cdot \hat{A}_i}, \quad (12.36)$$

где E – фактическое водопотребление винограда за вегетационный период;
 E_o – оптимальное водопотребление.

На рис.12.6 представлено агроклиматическое районирование радиационно-тепловых ресурсов на территории Одесской области для оценки продуктивности теплолюбивой группы однолетних и многолетних культур. К карте прилагается легенда в виде табл. 12.3 с количественной оценкой распределения сумм суммарной радиации ($\Sigma \bar{Q}$) за теплый период с T_c выше 10 °С, биологических сумм ФАР за вегетационный период конкретной культуры ($\Sigma \bar{Q}_{\partial\acute{a}}$) и расчетных урожаев винограда, кукурузы, подсолнечника разного вида и уровня.

В пределах области $\Sigma \bar{Q}$ возрастают с севера на юг от 3100 – 3150 МДж/м² до 3450 – 3500 МДж/м² и более, а показатель

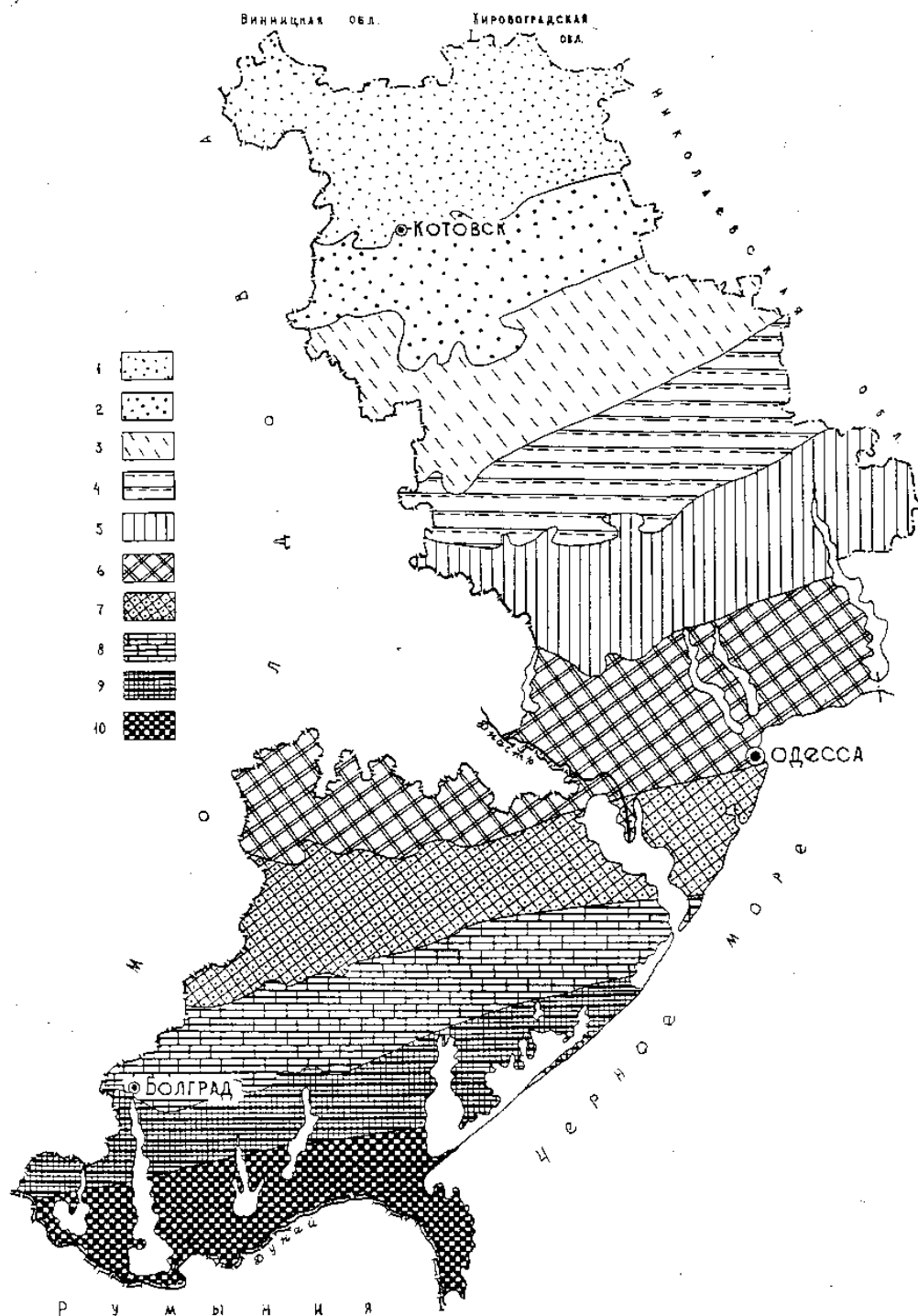


Рис. 12.6 – Агроклиматическое районирование радиационно-тепловых ресурсов на территории Одесской области для оценки продуктивности культурных растений

Таблица 12.3 – Агроклиматическая оценка потенциальных и действительно возможных урожаев винограда, кукурузы, подсолнечника (ц/га) на территории Одесской области

Мезо- район	$\Sigma \bar{Q}$, МДж/м ²	$\Sigma \bar{Q}_{\delta \acute{a}}$, МДж/м ²	Y_{nm} при η , %			E/E_o	$Y_{\delta \acute{e}}$ при η , %		
			1	2	3		1	2	3
а) Сырые гроздья винограда									
1, 2	3100-3150	1345	126	252	378	0,55	70	140	210
3, 4	3150-3250	1400	137	274	4109	0,48	64	128	205
5, 6	3250-3350	1455	139	278	417	0,45	63	126	202
7, 8	3350-3450	1500	143	288	432	0,44	63	126	189
9, 10	3450-3550	1540	147	294	441	0,42	62	124	186
б) Кукуруза									
1, 2	3100-3150	1400	76	152	228	0,49	37	74	112
3, 4	3150-3250	1450	78	156	234	0,45	35	70	105
5, 6	3250-3350	1500	81	162	243	0,43	34	68	102
7, 8	3350-3450	1550	83	166	250	0,41	33	66	100
9, 10	3450-3550	1585	86	172	258	0,38	32	64	96
в) Подсолнечник									
1, 2	3100-3150	1257	45	90	135	0,54	25	49	74
3, 4	3150-3250	1278	45	91	136	0,51	23	47	70
5, 6	3250-3350	1300	46	93	139	0,48	22	44	66
7, 8	3350-3450	1323	47	95	142	0,45	21	43	64
9, 10	3450-3550	1354	49	99	148	0,41	20	40	61

влагообеспеченности (E/E_o) уменьшается в этом же направлении с увеличением сухости климата. Это обуславливает значительную зональную изменчивость потенциальных и действительно возможных урожаев рассмотренных культур. Например, при η равном 2% $\dot{O}_{i\partial}$ винограда и кукурузы возрастает с севера на юг от 252 ц/га до 294 ц/га и от 152 ц/га до 172 ц/га, а $\dot{O}_{\ddot{a}\hat{a}}$ - уменьшаются в этом же направлении от 140 до 124 ц/га и от 74 ц/га до 64 ц/га.

Оценена степень благоприятности климата для выращивания винограда, кукурузы и подсолнечника и эффективность использования агроклиматических ресурсов в различных районах. Проведена также сравнительная оценка U_{nt} , $U_{\partial\epsilon}$ с урожаями, полученными в хозяйствах (U_{Π}). Установлено, что в настоящее время производственные урожаи находятся на уровне 0,7-1,2 % использования ФАР посевами кукурузы и подсолнечника, а также виноградниками.

Позднее З.А. Мищенко, С.В. Ляхова, Н.В. Кирнасовская [65, 73] с аналогичным подходом выполнили региональную оценку и районирование агроклиматических ресурсов на территории Украины применительно к продуктивности винограда и подсолнечника. Потенциальные и действительно возможные урожаи определены при разных значениях КПД использования ФАР с помощью модели "Климат – урожай", адаптированной к этим культурам. Поскольку в пределах страны более 60 % сельскохозяйственных угодий расположены в условиях холмистого и низкогорного рельефа и повсеместно наблюдается большая пестрота почв авторы предложили ряд модификационных формул для оценки U_{nt} и $U_{\partial\epsilon}$ на ограниченных территориях с учетом микроклимата. Выявлена значительная вариабельность потенциальных урожаев винограда, кукурузы и подсолнечника на северных и южных склонах различной крутизны.

Глава 13. АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА УРОЖАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

13.1. Климат и химизм растений

Согласно многочисленным исследованиям между климатическими факторами и химической деятельностью растений существует прямая причинная связь. Химический состав культурных растений существенно изменяется под влиянием климатических условий, из которых определяющими являются свет, тепло и влага. Еще в 1865 году Н.О. Ляковский [61] обратил внимание на изменение химического состава растений в связи с континентальностью климата.

В настоящее время хорошо известна общая закономерность изменения химического состава многих культурных растений, а следовательно и качества их урожая, при переходе от более влажных климатов к сухим и континентальным климатам, с хорошо выраженным суточным ходом температуры воздуха. Степень континентальности климата определяется такими показателями как годовая амплитуда температуры воздуха, суточная амплитуда температуры воздуха, относительные показатели увлажнения (ГТК, Md, индекс сухости и др.).

Как правило, в более континентальном климате при достаточном количестве тепла улучшается качество продукции культурных растений. Лишь для крахмальной и пивоваренной промышленности имеет преимущество сырье, полученное в морском климате. Известно, что в континентальном климате повышается сахаристость фруктов и корнеплодов. Например, в Средней Азии произрастают наиболее богатые сахаром плоды (виноград, персик, яблоки, дыня, арбуз и др.) по сравнению с Молдовой и Украиной. В сухих высокогорьях с суровым континентальным климатом и большими суточными амплитудами температуры воздуха, например, на Памире в вегетативных частях ячменя накапливается до 18-40 % сахара, а в нормальных условиях его содержится всего 1-2 %.

Химический состав зерновых культур резко изменяется в географическом разрезе под влиянием климатических условий, из которых определяющими являются тепло и влага. По данным К.А. Фляксбергера (он составил мировую карту распределения белкового вещества в зернах яровой пшеницы) наименьшее содержание белка в зернах яровой пшеницы во всем мире имеет место в Марокко и составляет 5,4 %, а наибольшее в США (штат Канзас) – 26,5 %. Согласно исследованиям Е.Д. Дорганевской и М.И. Княшничева [61] содержание белка в зерне яровой пшеницы возрастает на территории бывшего СССР с северо-запада и запада на юг и юго-восток от 8-10 % до 18-20 %, а в отдельные годы – до 20-26 %. Аналогично изменяется процентное содержание белка в зернах яровой ржи (от 10-12 % до 18-20 %), овса (от 12 до 22 %) и ячменя (от 9 до 15 %).

Существенно изменяется под влиянием климата химический состав технических культур. По данным Г.Ф. Генералова наибольшее накопление белка в семенах зрелого гороха наблюдается в юго-восточных районах ЕЧ России и в северном Казахстане. Например, в умеренном климате Смоленской области процент белка в горохе не превышает 20 %, а в более континентальном климате Целиноградской области содержание белка возрастает до 30-32 %. Заметно изменяется в географическом разрезе сахаристость клубней сахарной свеклы даже в пределах Украины. По данным Д.Н.Пузикова в Одесской области накапливается в клубнях свеклы 20-22 % сахара, а в Киевской области – только 17-18 %.

13.2. Оценка влияния климата на качество урожая зерновых культур

Рядом исследователей делались многочисленные попытки установить количественные связи между химическим составом культурных растений и показателями климата. Наиболее часто для этих целей использовались: средняя суточная температура воздуха и её сумма, количество осадков, гидротермический коэффициент. Заслуживают внимания работы Е.А. Дороганевской, исследовавшей зависимость белковости яровой пшеницы, выращиваемой в России от различных показателей климата. Вычисленные ею коэффициенты парной корреляции процентного содержания белка в зерне яровой пшеницы с температурой воздуха, количеством осадков, относительной влажностью воздуха оказались невысокими (в пределах 0,42-0,60), а коэффициент множественной корреляции был равен 0,64.

Позднее М.И.Мель [95] установила количественные связи между белковостью яровой пшеницы, выращиваемой на территории ЕЧ России, и такими показателями климата как суммы средних суточных температур выше 5 °С за три месяца вегетационного периода и суммы осадков за тот же период. Ею были получены соответствующие уравнения регрессии и рассчитаны коэффициенты корреляции, характеризующие тесноту связи между белковостью яровой пшеницы ($B_{\text{я}}$ %) и $\Sigma T > 5^{\circ}\text{C}$ ($r = 0,61$), между $B_{\text{я}}$ и количеством осадков ($r = 0,66$).

Таким образом, связь белковости яровой пшеницы с вышеуказанными климатическими показателями оказалась невысокой. Причина кроется в том, что ни средняя суточная температура воздуха и ее суммы, ни количество осадков, а тем более относительная влажность воздуха не могут выразить с достаточной точностью сложную зависимость между содержанием белка в зернах яровой пшеницы и климатическими условиями. Причина кроется в том, что вышеуказанные показатели нечувствительны к степени континентальности климата.

З.А. Мищенко [61, 63] предложила использовать для этой цели нетрадиционные показатели климата – дневную и ночную температуру воздуха, их суммы, а также суточную амплитуду температуры воздуха ($A_{\text{т}}$).

Ею была установлена количественная зависимость между географической изменчивостью процентного содержания белка ($B_{\text{п}}$) в зернах яровой пшеницы от размаха суточных колебаний температуры воздуха ($\vec{A}_0$) в среднем за май-август в ареале распространения данной культуры на территории стран СНГ.

Ни рис. 13.1 представлена прямолинейная зависимость между $B_{\text{я}}$ и $\vec{A}_0$ °С для ЕЧ территории СНГ, а также Казахстана, Западной и Восточной Сибири. При продвижении с севера на юг и с запада на восток с увеличением степени континентальности климата возрастает суточная амплитуда температуры воздуха, отражая как увеличение общего теплового напряжения, так и ухудшение гидротермических условий, а также повышение плодородия почв. В этом же направлении возрастает и содержание белка в зернах ярой пшеницы.

Аналитическое выражение для полученной зависимости на богарных землях имеет вид

$$B_{\text{я}} = 1,29 \vec{A}_0 + 2,1 \quad (13.1)$$

Коэффициент корреляции достаточно высок и составляет $r = 0,85$. Следует заметить, что для установления вышеуказанной зависимости были использованы средние многолетние характеристики $B_{\text{я}}$ и $\vec{A}_0$ для более 150 пунктов и метеорологических станций, равномерно освещающих рассматриваемую территорию.

Если использовать климатические карты распределения $A_{\text{т}}$, построенные автором, то можно по формуле 13.1 или с помощью рис. 13.1 (линия I), определить географическое изменение $B_{\text{я}}$ в разных регионах территории СНГ для открытого ровного места. В северо-западных и западных районах России при $\vec{A}_0$ равной 6-8°С в зернах яровой пшеницы может накапливаться не более 9-12 % белка. Высококачественную пшеницу можно выращивать в степных районах Крыма Украины, в Нижнем Поволжье и в Казахстане. В этих условиях при $\vec{A}_0$ равных 12-14°С содержание белка в зернах яровой пшеницы может достигать 18-20 % и более.

В южных и юго-восточных районах Средней Азии, где яровая пшеница возделывается на орошаемых землях и отчасти в горах, зависимость между $B_{\text{я}}$ и $\vec{A}_0$ резко нарушается, т.е. с ростом суточной амплитуды температуры воздуха наблюдается более медленное возрастание содержания белка в яровой пшенице (рис.13.1, линия II). В этих условиях, несмотря на большие суточные амплитуды температуры воздуха, высокие дневные температуры воздуха в летний период замедляют скорость биохимических процессов, определяющих рост, развитие и химический состав растений. Не меньшее значение имеет орошение в сочетании с обедненными азотом каштановыми

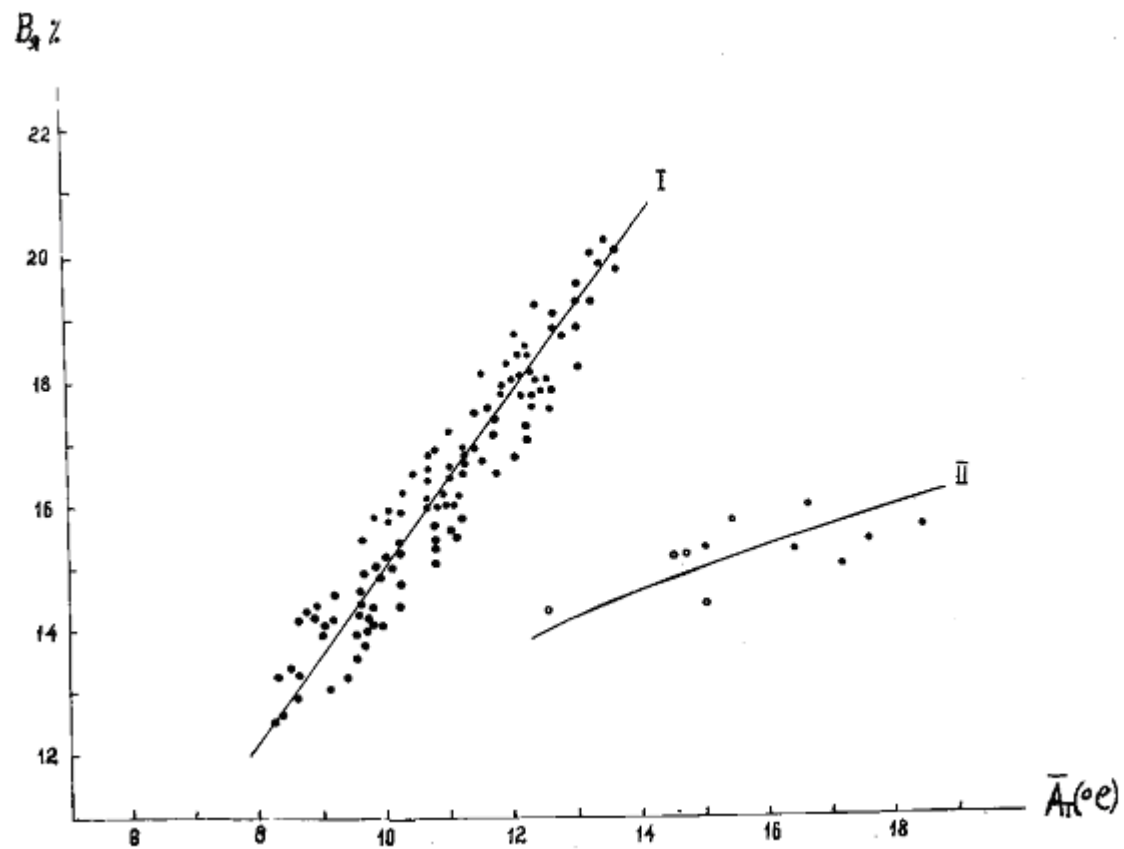


Рис.13.1 – Зависимость содержания белка (B , %) в зернах яровой пшеницы от суточной амплитуды температуры воздуха (A_T) за вегетационный период (май-август).
 1 – Россия, Украина, Беларусь, Молдова, Казахстан; 2 – южные районы Средней Азии (орошаемое земледелие)

почвами, которые не способствуют повышению содержания белка в яровой пшенице.

Позднее агроклиматические показатели в виде T_d , T_n , A_t нашли признание и стали широко использоваться для установления количественных связей и биоклиматического обоснования изменчивости, химического состава культурных растений как в географическом так и во временном разрезе. В настоящее время они входят составной частью в различные формулы для определения качества сельскохозяйственной продукции.

Например, В.П. Тотылева [61] получила три уравнения, выражающих связь содержания белка в зерне яровой пшеницы с суммой суточных амплитуд температуры воздуха (ΣA_t) и гидротермическим коэффициентом (ГТК) применительно к ЕЧ территории СНГ. Одно из них для трех месяцев активной вегетации культуры имеет вид:

$$B_{\text{я}} = 0,006 \Sigma \vec{A}_0 - 3,3 \text{ ГТК} + 14,0 \quad (13.2)$$

В.Н. Страшный получил ряд уравнений, характеризующих зависимость процентного содержания белка, клейковины, силы муки и объемного выхода хлеба у озимой пшеницы, возделываемой в Центрально-Черноземной зоне России от климатических параметров, в том числе от A_t . Прогностическое уравнение зависимости содержания белка в зерне озимой пшеницы (B_o %) от ряда климатических показателей имеет вид

$$\hat{A}_i = \dot{a}_i + \dot{a}_1 \cdot \vec{A}_0 - \dot{a}_2 \cdot W + \dot{a}_3 \cdot \bar{d} - \dot{a}_4 \cdot N + \dot{a}_5 \cdot \dot{O}_{\tilde{n}}, \quad (13.3)$$

где $\vec{A}_0$ - суточная амплитуда температуры воздуха за период от возобновления вегетации до устойчивого перехода температуры воздуха через 10^0C ;

W – запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на начало вегетации весной;

$\bar{d}$ - средний дефицит влажности воздуха;

N – количество колосonoсных стеблей;

T_c – средняя суточная температура воздуха за период от колошения до восковой спелости;

$a_o, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ – коэффициент множественной регрессии.

Исходя, из рассмотренных материалов можно сделать следующее заключение. При высокой температуре, значительной сухости воздуха и почвы в растениях создаются условия для образования белковых веществ высокого качества. О содержании белка и азота в зерне пшеницы в различных странах Западной Европы и в регионах СНГ можно судить по данным табл.13.1. Высокое содержание белка в различных регионах СНГ в пределах 17-19 % объясняется, прежде всего, особенностями климата со значительной степенью континентальности. Уместно заметить, что зерно ряда регионов СНГ не имеет себе равных на Европейском рынке.

Таблица 13.1 – Содержание белка и азота в зерне пшеницы в разных странах и регионах СНГ

Страна	Содержание, %	
	белка	азота
Шотландия	12,19	1,95
Англия	12,09	2,03
Германия	13,94	2,28
ЕЧ СНГ	17,87	2,86
Западная Сибирь	18,88	3,0
Восточная Сибирь	18,50	2,9
Дальний Восток	16,90	2,7
Восточный Казахстан	19,17	3,6

13.3. Оценка влияния климата на качество урожая технических культур

Высокое качество продукции, получаемой от возделывания технических и овощных культур, также определяется оптимальным сочетанием света, тепла и влаги в различных географических регионах.

Многими исследователя показана тесная связь климатических условий с накоплением крахмала в клубнях картофеля и его качеством. По данным А.Г. Лорха, процентное содержание крахмала в картофеле зависит от количества осадков в июне. В.Д. Ерохин показал, что крахмалистость картофеля увеличивается на Европейской территории СНГ с повышением температуры в период клубнеобразования:

Средняя температура воздуха (°С)	14	16	18	20
Средняя крахмалистость картофеля (%) . . .	13,4	15,5	17,6	19,6

М.Д. Злотников пришел к выводу, что если в период клубнеобразования картофеля наблюдается прохладная с обильными дождями погода, то количество крахмала может снизиться до 10 %.

Интересные исследования были проведены А.Н. Полевым [77], который установил зависимость содержания крахмала в клубнях картофеля для различных сортов, возделываемых в Забайкалье России от ряда агрометеорологических показателей. Предложенное им уравнение множественной регрессии имеет следующий общий вид

$$\tilde{N}_{\hat{e}} = \dot{a}_{\hat{t}} + \dot{a}_1 \cdot \vec{A}_0 + \dot{a}_2 \cdot N_{\hat{a}} + \dot{a}_3 \cdot \vec{O}_{\hat{t}} + \dot{a}_4 \cdot N_{\hat{e}}, \quad (13.4)$$

где C_k – содержание крахмала в клубнях картофеля (в %);
 $\vec{A}_0$ – суточная амплитуда температуры воздуха за период «всходы-бутонизация»; N_b – продолжительность периода бутонизации;
 $\overline{T}_n$ – средняя ночная температура за период «цветение-конец вегетации»;
 N_k – продолжительность этого периода;
 a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 – коэффициенты множественной регрессии.

Подсолнечник является основной масличной культурой, возделываемой на территории СНГ. Поэтому помимо количественной оценки урожая важное значение имеет определение содержания масла в семенах (%) и сбора масла с единицы площади (кг/га). За последние 50 лет содержание масла в семенах существенно увеличилось от 35 % в 1956-1960 гг. до 45 % и более в 1975-1985 гг. Подсолнечник на протяжении всего вегетационного периода нуждается в достаточном количестве тепла и влаги. Поэтому высокая масличность семян в равной степени определяется оптимальным сочетанием этих агрометеорологических факторов.

Наиболее значительные исследования по оценке влияния климата на масличность семян были выполнены Ю.С. Мельником [57]. Для этой цели были использованы данные наблюдений на 88-ми госсортоучастках за период 1958-1968 гг. Он установил зависимость между масличностью семян подсолнечника (M_n) и показателем увлажнения (K_n). Уравнение имеет вид

$$M_n = 45,838 - 0,039K_n, \quad (13.5)$$

Показатель увлажнения определялся по формуле, предложенной автором в виде

$$\hat{E}_i = \frac{0,6 \cdot \Sigma r_1 + \Sigma r_2}{\Sigma \hat{O}_{\hat{n}} : 10}, \quad (13.6)$$

где Σr_1 – сумма осадков за вневегетационный период (от даты перехода осенью T_c через 5 °С до даты перехода её через 10 °С весной следующего года с коэффициентом 0,6;

Σr_2 – тоже за вегетационный период;

ΣT_c – сумма средних суточных температур воздуха от даты перехода T_c весной через 10 °С до даты созревания подсолнечника.

Но оказалось, что связь M_n с K_n надежно выполняется в степной зоне ЕЧ СНГ с засушливым климатом. Только разбивка вегетационного периода подсолнечника на ряд подпериодов с характеристикой их по условиям тепло и влагообеспеченности позволили получить уравнение множественной регрессии вида

$$M_n = 7,2044 - 0,0008 \cdot \Sigma T_1 + 0,0151 \Sigma T_2 + 0,0396 \Sigma T_3, \quad (13.7)$$

где ΣT_1 – сумма температуры воздуха за период от 1-ой декады мая до всходов;

ΣT_2 – тоже от всходов до образования соцветий;

ΣT_3 – тоже от образования соцветий до цветения. Коэффициент множественной корреляции (r_m) оказался равным 0,75.

Ю.С. Мельник построил комплексный график связи выхода подсолнечного масла (кг/га) с ΣT_c и K_n применительно к территории ЕЧ СНГ, который представлял на рис.13.2. На северной границе лесостепной зоны при ΣT_c равной 2000-2200 °С и K_n порядка 1,8-2,1 выход масла не превышает 600 кг/га. На юге и юго-востоке степной зоны при возрастании ΣT_c до 3000 °С при тех же значениях K_n , что типично для предгорий Краснодарского края России, выход подсолнечного масла увеличивается до 1300 кг/га.

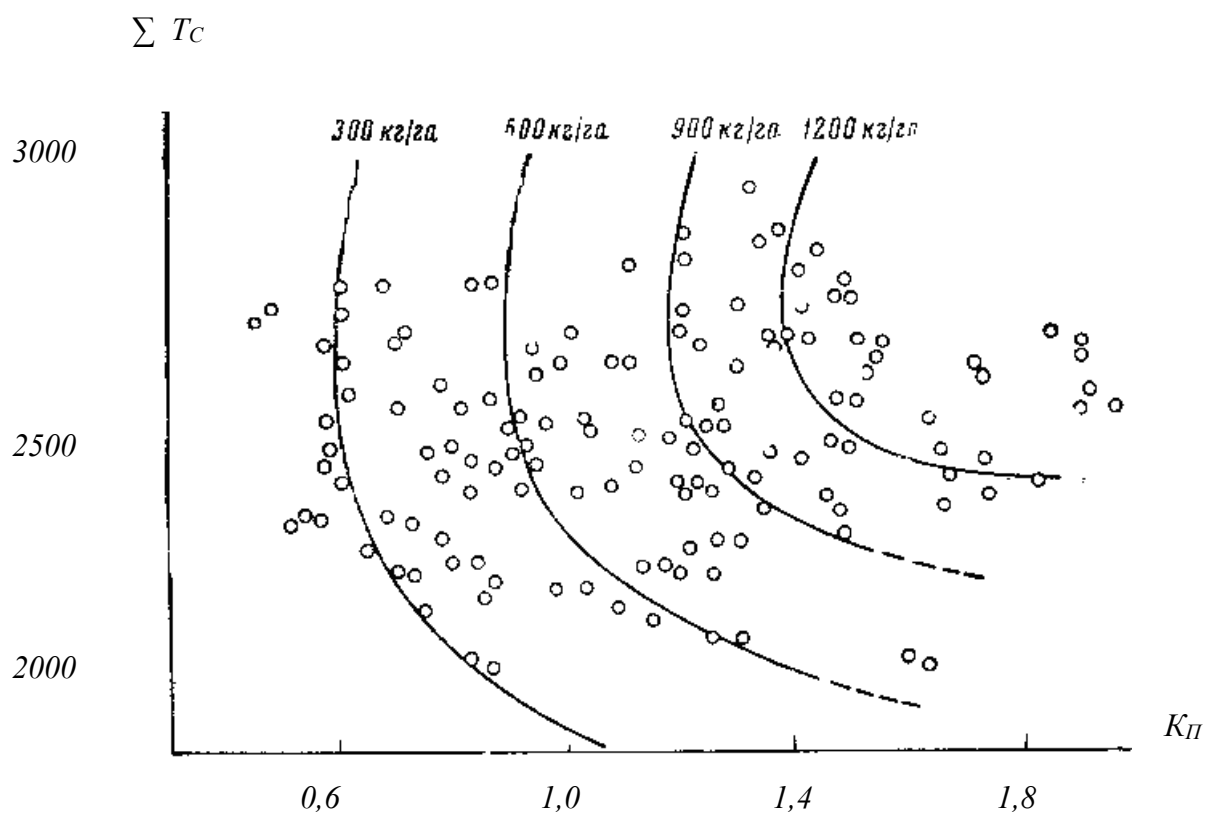


Рис.13.2 - Связь выхода подсолнечного масла (кг/га) с суммой температур воздуха за вегетационный период (ΣT_c) и показателем увлажнения (K_n) на ЕЧ СНГ

Позднее З.А. Мищенко и Н.В. Кирнасовская [73] на основе данных наблюдений на 50-ти Госортоучастках выполнили количественную оценку связи масличности семян подсолнечника и выхода масла с единицы площади (кг/га) с агроклиматическими показателями применительно к территории Украины. Было установлено, что выход подсолнечного масла (B_n) находится в тесной зависимости не только от сумм температур воздуха выше 10 °С (ΣT_c) и показателя увлажнения (K_n), но и от сумм суммарной солнечной радиации (ΣQ) и сумм ФАР (ΣQ_ϕ).

Таблица 13.2 – Количественная оценка выхода подсолнечного масла (B_n , кг/га) в зависимости от (ΣQ) (ΣT_c)

ΣQ , МДж/м ²	ΣT_c , °C	Показатель увлажнения, K_n				
		0,6	1,0	1,4	1,8	2,2
2453	2250	250	600	800	1050	900
2675	2500	300	700	1150	1300	1100
2898	2750	280	700	1200	1350	1200
3120	3000	250	650	1150	1500	1300
3343	3250	200	550	1000	1400	1200
3565	3505	100	450	800	1250	1000

Например, при ΣQ и ΣT_c равных 2625 МДж/м² и 2500 °C выход подсолнечного масла увеличивается с улучшением условий увлажнения и составляет при K_n равных: 0,6; 1,0; 1,4; 1,8 соответственно 300 кг/га, 700, 1150, 1300 кг/га (табл.13.2). При ΣQ и ΣT_c равных 3120 МДж/м² и 3000 °C. B_n возрастает также с улучшением условий увлажнения и составляет при K_n равных: 0,6; 1,0; 1,4; 1,8 соответственно 250 кг/га, 650, 1150, 1500 кг/га. Прослеживается четкая тенденция к снижению выхода подсолнечного масла на богарных землях в условиях очень теплого и сухого климата южных степей. Здесь при ΣT_c выше 3300 °C B_n уменьшается и при K_n равных: 0,6; 1,0; 1,4; 1,8 составляет соответственно 150 кг/га, 560, 800, 1250 кг/га. На орошаемых землях здесь при K_n в пределах 2,1-2,2 выход масла из семян подсолнечника понижается на 150-250 кг/га.

13.4. Оценка влияния климата на качество урожая винограда и ряда субтропических культур

Виноград является весьма ценной культурой, продукция которой широко используется населением непосредственно в виде ягод, а также соков и различных вин, включая коньяки. Показателем качества продукции является сбалансированное сочетание сахаристости и кислотности в ягодах винограда. На накопление сахара в ягодах оказывают влияние многие факторы. Важнейшие из них – биологические особенности сортов и агрометеорологические условия их выращивания (длительность и интенсивность солнечного освещения, общее количество тепла, суточные колебания температуры воздуха, почвенная и атмосферная влажность). Сопутствующее влияние оказывают почвенные условия, технология возделывания виноградников и прочее. На основе материалов экспериментальных исследований, а также обобщения многолетних данных наблюдений рядом авторов получена количественная оценка интенсивности

сахаронакопления в ягодах винограда или сахаристости ягод (%) в зависимости от тех или иных агроклиматических показателей или их комплексов.

Например, Т.Г. Катарьян и Н.С. Потапов [61] впервые выявили зависимость интенсивности сахаронакопления в ягодах винограда разных сортов от суточной амплитуды температуры воздуха. Для условий Крыма формула имеет вид

$$K_c = (0,008 \pm 0,01) \cdot A_T, \quad (13.8)$$

где K_c – интенсивность сахаронакопления в период август-сентябрь;

A_T – суточная амплитуда температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) за тот же период. Коэффициент корреляции (Z) оказался равным 0,80 (расчет производился за 11-летний период наблюдений).

Из формулы 13.8 следует что увеличение A_T на 1 $^{\circ}\text{C}$ приводит к возрастанию интенсивности сахаронакопления в ягодах сорта «Мускат белый» на 0,08 % в сутки. Авторы убедительно показали, что средняя суточная температура воздуха и её суммы непригодны для оценки динамики сахаронакопления, а также для биоклиматического обоснования изменчивости продолжительности фазы созревания гроздей винограда.

Позднее Д.И. Фурса [110] провела экспериментальные наблюдения по содержанию сахара в ягодах винограда за период с 1964 по 1969 год на Южном берегу Крыма, где виноградники размещены на склонах. Параллельно изучалось влияние различных показателей климата на сахаристость (C_s) винограда за период начало созревания – промышленная зрелость. Было установлено, что наибольшее влияние на сахаристость ягод оказывают суммы прямой и суммарной солнечной радиации (ΣS , ΣQ), суммы суточных амплитуд температуры воздуха (ΣA_T), средние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы.

Ею получено уравнение множественной регрессии, которое имеет вид

$$C_s = 0,119\Sigma S + 0,003\Sigma A_T - 0,017W_{np} + 24,9 \quad (13.9)$$

и характеризуется коэффициентом множественной регрессии (r_m) равным 0,83. Это уравнение позволяет оценить «сахаристость ягод для сорта «Мускат белый». При удовлетворительном увлажнении почвы интенсивность сахаронакопления зависит в основном от ΣS и ΣA_T . Согласно уравнению 13.9 построен комплексный график зависимости сахаристости винограда во время его сбора от суммы прямой солнечной радиации и суммы суточных амплитуд температуры воздуха за период начало созревания – промышленная зрелость (рис.13.3). Наглядно видно, что сахаристость ягод возрастает от 24 % до 33 % при увеличении ΣA_T и ΣS соответственно от 100-800 $^{\circ}\text{C}$ и 400-3000 МДж/м².

В условиях Крыма наиболее высокую сахаристость ягод винограда технических можно получить на крутых склонах (20-25 $^{\circ}$) с южной

составляющей на абсолютных высотах над уровнем моря порядка 150-250 м. В период созревания винограда на эти склоны поступает солнечного тепла на 25-30 % больше, чем на горизонтальную поверхность. Это обеспечивает сахаристость ягод не менее 27-29 %. На северных склонах той же крутизны наблюдается недобор солнечного тепла, поэтому здесь сахаристость ягод не превышает 18-24 %. На орошаемых участках возрастает урожай винограда, но снижается сахаристость ягод.

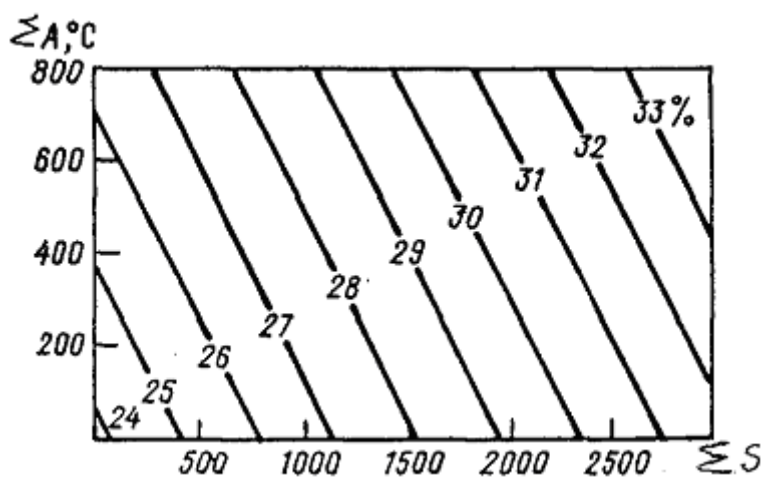


Рис. 13.3 – Зависимость сахаристости винограда во время сбора от ΣS (МДж/м²) и ΣA_T (°C) за период начало созревания – промышленная зрелость на Южном берегу Крыма

Интересные исследования были проведены Т.И. Турманидзе [106] по агроклиматической оценке качества урожаев винограда (сахаристость и кислотность ягод) для условий Грузии. Он предложил формулу для определения сахаристости ягод из расчета на средний сорт, которая имеет вид

$$C_s = 0,01 \Sigma T_c + 0,45 \bar{A}_0 - 0,25 N_o + d, \quad (13.10)$$

где C_s – сахаристость ягод (%) к моменту определения для среднего сорта; ΣT_c – сумма средних суточных температур воздуха от даты начала созревания ягод до момента определения;

$\bar{A}_0$ – средняя суточная амплитуда температуры воздуха за расчетный период;

N_o – число дней с осадками 1 мм и более;

d – свободный член, равный 4,5.

Для расчета сахаристости ягод отдельных сортов винограда вводится поправка, равная ± 2 % для сильносахаристых и слабосахаристых сортов. Формула 13.10 может быть использована также и в прогностических целях.

Для сбалансированной оценки виноматериалов важным показателем является и кислотность ягод. Поэтому автор исследовал влияние различных показателей климата на кислотность ягод винограда. Было установлено, что

кислотность (K_8) винограда среднеспелых сортов возрастает от 5 г/л до 29 г/л с уменьшением ΣT_c от 2500 °С до 1500 °С за период август-сентябрь. В позднеспелых сортах кислотность ягод возрастает от 8 г/л до 28 г/л с уменьшением ΣT_c от 3100 °С до 1700 °С. Кислотность ягод существенно изменяется в отдельные годы под влиянием радиационных факторов. Получено уравнение множественной регрессии, которое имеет вид

$$K_8 = 0,46 \Sigma Q - 0,36 \Sigma S + 25,47, \quad (13.11)$$

де ΣQ – сумма суммарной солнечной радиации (ккал/см² · мес);
 ΣS – сумма прямой радиации за тот же период (ккал/см² · мес).

Множественный коэффициент корреляции (r_m) высок и равен 0,92. Кислотность ягод возрастает при ослаблении прихода прямой и суммарной радиации, а также уменьшения числа ясных и полужасных дней.

Выполненные разработки позволили Т.И. Турманидзе дать научное обоснование производственной специализации винодельческой промышленности Грузии. Для этой цели было выполнено агроклиматическое районирование территории по сахаристости и кислотности ягод винограда для средних многолетних условий. Как видно из рис. 13.4, наибольшая сахаристость ягод порядка 20 % и выше имеет место на виноградниках, возделываемых в Центральных и восточных континентальных районах. Наименьшая сахаристость винограда ниже 16 % характерна для горных районов страны (абсолютная высота над уровнем моря 1000-1200 м) с более прохладным климатом и меньшими суточными колебаниями температуры воздуха, т.е. A_T .

Качество продукции субтропических культур зависит от климатических условий. Это убедительно показано Г.Г. Меладзе [58], который провел исследования по агроклиматической оценке условий возделывания субтропических и эфиромасличных культур на территории Грузии. Среди веществ, входящих в химический состав чайного листа, ведущими для качества являются дубильные, в частности танин, который придаёт чаю вяжущий терпкий вкус. Было установлено, что между содержанием танина в чае и показателями климата существует тесная связь. Получено уравнение множественной регрессии, которое имеет вид

$$C_m = -1,66 A_T + 0,08 B_8 + 0,32 T_c + 25,18, \quad (13.12)$$

где C_m (%) – содержание танина в листьях чая;

A_T – суточная амплитуда температуры воздуха;

B_8 – относительная влажность воздуха;

T_c – средняя суточная температура воздуха.

Общий коэффициент множественной регрессии (r_m) равен 0,84. С помощью этого уравнения можно определить содержание танина в листьях чая для отдельных районов Грузии по месяцам, если известны A_T , B_8 и T_c .

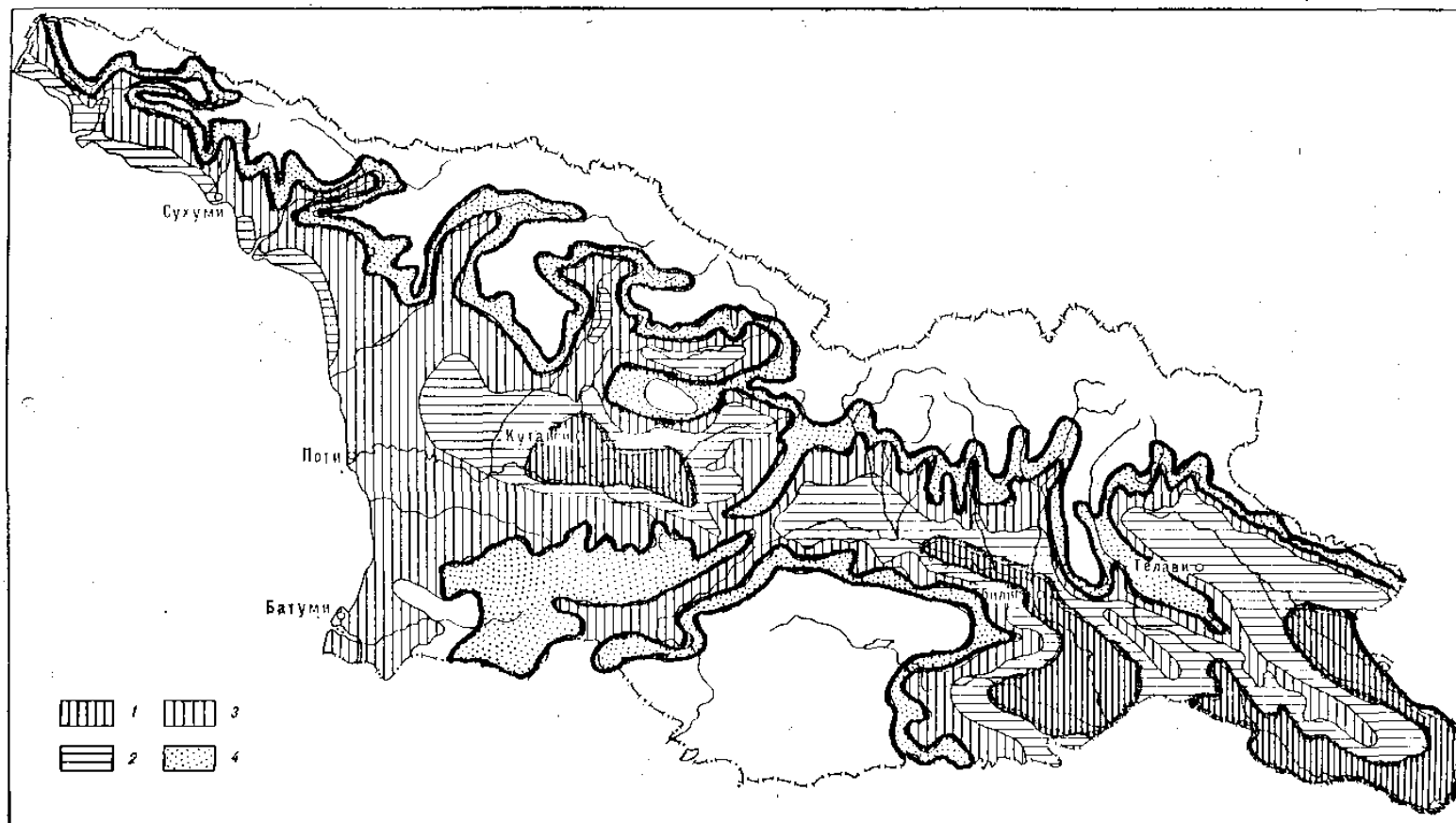


Рис. 13.4 – Районирование территории Грузии по сахаристости ягод винограда.
Сахаристость (C_v): 1 – выше 20 %; 2 - 18-20 %; 3 – 16-18 %; 4 – ниже 16 %.

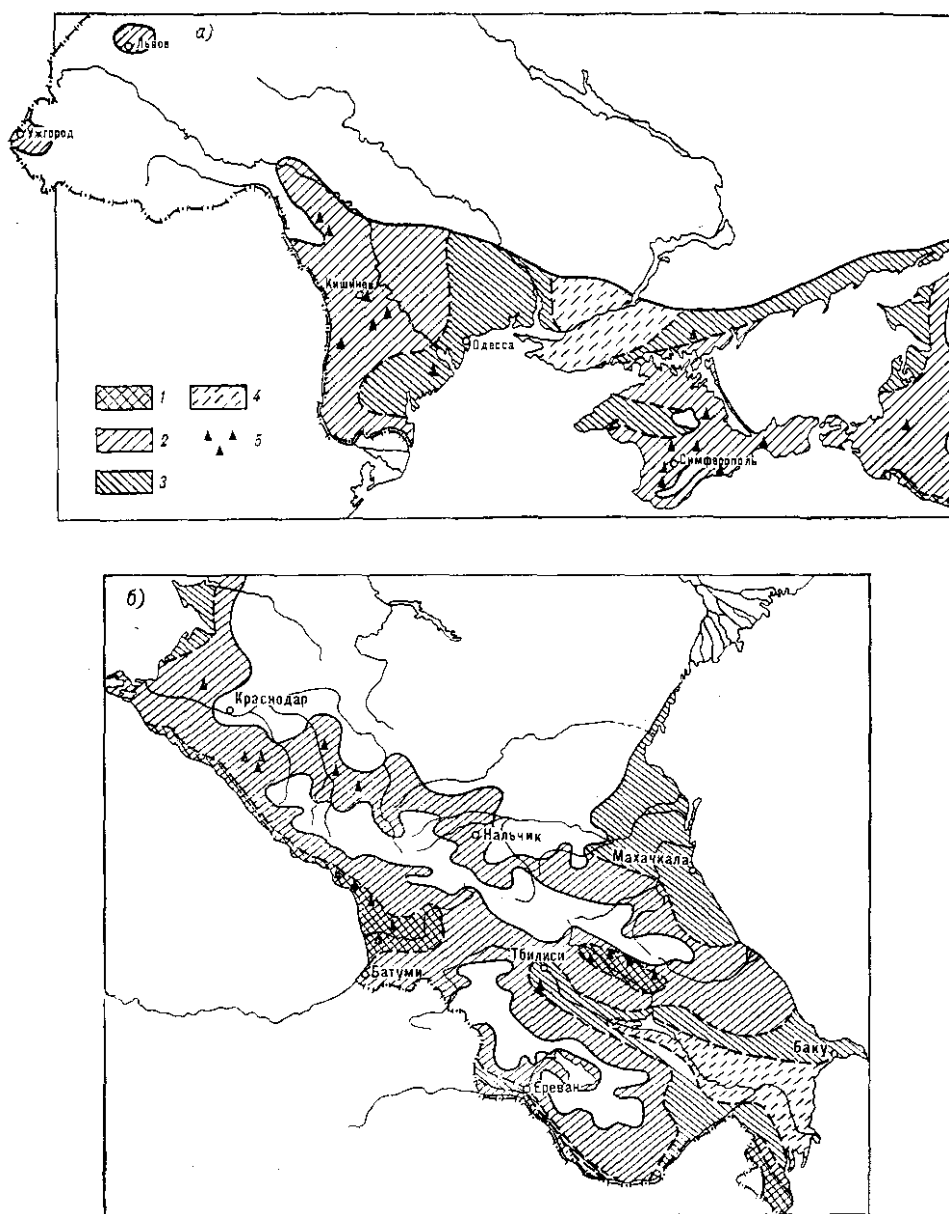


Рис. 13.5 – Возможные зоны возделывания розы эфиромасличной и сбора эфирного масла сорта «Крымская красная»:
 1 - 4 кг/га и более; 2 - 3-4 кг/га; 3 – 2-3 кг/га; 4 - менее 2 кг/га; 5 – существующие в 1975 г. места сбора масла;
 а) Молдова и Украина, б) Кавказ.

Ценной культурой является лавр благородный. Эфирное масло в лавре содержится в основном в его листьях и в зависимости от экологических факторов может колебаться в пределах - от 0,44 до 4,45 %. В результате корреляционного анализа автор установил зависимость между: накоплением эфирного масла ($\mathcal{E}_m$, %) в листьях лавра и недостатком насыщения воздуха (d , мб); $\mathcal{E}_m$ и запасами продуктивной влаги в слое почвы 0-50 см (W). Общий коэффициент множественной корреляции (r_m) составил 0,76. Количество эфирного масла в листьях лавра в прибрежных районах Грузии больше, чем в отдаленных от моря местах, где осадки сравнительно редки. С удалением от моря и с высотой места интенсивность прямой солнечной радиации возрастает, что обуславливает усиленное накопление эфирного масла. Однако с увеличением ΣS и ΣQ одновременно возрастает недостаток насыщения воздуха и происходит усиленное испарение – масло улетучивается.

Большую ценность представляют эфирные масла ряда эфиромасличных культур. Наибольшее количество масла содержится в полностью раскрытых цветках. Чем выше температура летних месяцев тем больше эфирного масла содержит сырье эфиромасличных культур. При недостатке тепла в июле, августе, сентябре количество эфирного масла в листьях и соцветиях значительно снижается. Т.И. Турманидзе установил зависимость между сумой температуры воздуха выше 10 °С и сырьем, необходимым для получения 1 кг эфирного масла на территории Грузии. Для герани коэффициент корреляции (r) составляет – 0,78, для розы эфиромасличной – 0,89. Оказалось, что расход сырья эфиромасличных культур на получение 1 кг эфирного масла уменьшается с увеличением ΣT от 3400 °С до 4500 °С.

Л.П. Савчук [81] были проведены исследования по агроклиматическому обоснованию ареала эфиромасличных культур на территории ряда стран СНГ с учетом сбора эфирного масла на единицу площади (кг/га). В качестве примера на рис.13.5 представлено районирование розы эфиромасличной по почвенно-климатическим условиям и сбору эфирного масла. Выделено четыре зоны, различающиеся по сбору эфирного масла от 4 кг/га и более до 2 кг/га и менее. Дана также оценка содержания эфирного масла (%) в цветках розы эфиромасличной (сорта: «Мичуринка», «Крымская красная») в зависимости от температуры и дефицита влажности воздуха в период цветения. Содержание эфирного масла возрастает от 0,100 % до 0,150 % с увеличением T_c от 12 °С до 24 °С и d (мб) от 5 до 16 мб. Аналогичная агроклиматическая оценка качества продукции была выполнена автором применительно к Лаванде настоящей, Шалфею лекарственному, Мяте перечной и Кориандру посевному.

Глава 14. ОЦЕНКА АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ ПАСТБИЩНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И СЕЯНЫХ ТРАВ

Развитие животноводства и рост его продуктивности является одним из необходимых условий повышения благосостояния народа в любой стране. Кормовая база животноводства складывается из естественных пастбищ и сенокосов, многолетних сеяных трав, а также из зерновых и силосных культур, картофеля и корнеплодов. В укреплении кормовой базы особое место занимают травы.

Естественные кормовые угодья (сенокосы и пастбища) на территории СНГ представляют гигантский источник дешевого и полноценного фуража. Однако, в общем балансе кормов они составляют около 30 %. Это объясняется низкой урожайностью большинства естественных сенокосов и пастбищ, потребительским отношением к ним. В последние годы, особенно на территории Средней Азии проводятся работы по улучшению естественных пастбищ за счет проведения фитомелиоративных мероприятий.

Применительно к животноводству перед агроклиматологией стоят три основные задачи. Одна из них заключается в изучении климатических условий произрастания и продуктивности естественных пастбищ в различных регионах. Вторая задача состоит в оценке агроклиматических ресурсов применительно к возделыванию и урожайности сеяных трав. Третья задача заключается в изучении влияния климатических условий непосредственно на сельскохозяйственных животных.

14.1. Климат и географическое распределение трав в различных регионах СНГ

Многочисленными исследованиями установлено, что условия жизни и продуктивности естественных пастбищ определяются такими основными климатическими факторами как тепло и влага. От сочетания этих факторов за вегетационный период зависит распределение естественных сообществ трав в различных климатах территории стран СНГ. Распределение тепла и влаги внутри вегетационного периода определяет продуктивность биомассы трав и ее качество.

Наибольший прирост растительной массы трав в естественных условиях наблюдается в подзоне широколиственных лесов, где соответствие между теплом и влагой приближается к оптимальному. К северу и югу от этой подзоны соответствие тепла и влаги нарушается. К северу имеет место нарастание избытка осадков, к югу же, наоборот,

количество осадков резко уменьшается. Это приводит к снижению годовичного прироста растительной массы (табл.14.1).

Таблица 14.1 – Годовой прирост растительной массы трав в разных климатических зонах Западной Сибири, Казахстана и Средней Азии

Зона, подзона	R , МДж/м ²	Lr , МДж/м ²	R/Lr	ΣT_c выше 10 ⁰ С	Σr , мм	Прирост массы трав (ц/га)
Арктическая тундра	168	574	0,3	180	240	7
Южная тундра	502	796	0,6	900	325	12
Северная тайга	628	1215	0,5	1320	490	15
Южная тайга	838	1048	0,8	2050	420	50
Широколистные леса	1340	1340	1,0	2800	540	56
Луговая степь	964	838	1,2	2350	325	15
Типичная злаковая степь	1089	712	1,5	2730	280	10
Пустынная степь	1131	503	2,2	3300	200	5
Типичная пустыня	1299	335	3,9	3740	130	4
Ефемерно- полукустарничковая (южная) пустыня	1466	251	5,8	5500	100	7

Климатические и природные условия являются важной причиной неравномерного распределения естественных кормовых угодий на территории СНГ. В зависимости от особенностей термического и водного режима различают три группы трав.

1. Травы средневлаголюбивые (мезофиты). Они произрастают главным образом в лесной и лесостепной зонах в местах умеренного увлажнения. К ним относятся: тимофеевка луговая, овсяница луговая, ежа сборная, мятлик луговой, клевер, люцерна, щавель, одуванчик и др.
2. Травы влаголюбивые (гигрофиты). Они произрастают во всех природных зонах, в местах с переувлажненной почвой (болота, луга и т.д.). К ним относятся: осока, тростник, камыш, лютик и др. Никакими приспособлениями к устранению вредного влияния засухи эти травы не обладают.
3. Травы, способные переносить засуху (ксерофиты). Они произрастают чаще всего в степях, полупустынях и пустынях. К ним относятся: ковыль, житняк, прутняк, полыни, солянки, верблюжья колючка, астрагалы и др. Растения этой группы

обладают многочисленными структурными особенностями для приспособления к почвенной и воздушной засухам.

Помимо естественных пастбищ кормовая база в значительной мере пополняется за счет сеяных трав, площадь под которыми на территории СНГ составляет более 40 млн. га. Из многочисленных сеяных трав на севере и в Нечерноземье России больше всего распространен клевер красный. Он является растением умеренного влажного и относительно прохладного климата и широко культивируется на территории стран Балтии, Беларуси, во многих северных и центральных районах России. Клевер часто высевают вместе с тимopheевкой луговой и некоторыми другими компонентами. Кормовая ценность клевера, прежде всего, определяется высоким содержанием протеина.

В южных районах рассматриваемой территории (Средняя Азия, Закавказье, Украина, Поволжье) большое распространение получила люцерна. Мощно развитая корневая система люцерны (до 5-7 м) делает её сравнительно засухоустойчивой. Кроме того, люцерна является солевыносливым растением, способствующим рассолению почв и предупреждающим их вторичное засоление. Значительное разнообразие форм и сортов люцерны, позволило продвинуть её далеко на север и восток – вплоть до центральных районов Нечерноземной полосы, где клевер в суровые зимы часто вымерзает. Из многолетних и однолетних бобовых культур люцерна выделяется высокой кормовой ценностью и урожайностью.

Из бобовых интенсивно культивируют эспарцет, из злаковых – овсяницу луговую, ежу сборную, костер и другие травы. Из однолетних большое распространение в зоне достаточного увлажнения имеет вика, а в степной зоне – суданка.

По способу использования сеяные травы разделяют на три группы: сенокосные, пастбищные, степные (сенокосно-пастбищные). Травы, дающие урожай без пересева в течении двух лет и более называют многолетними. Многолетние сеяные травы (сенокосы и пастбища) по времени использования делятся на три группы:

- 1) краткосрочные, используемые в течении двух-трех лет;
- 2) среднесрочные, используемые в течении четырех-шести лет;
- 3) долголетние, используемые семь-десять лет.

14.2. Требования трав к климатическим условиям

Свет, тепло и влага составляют экологическую основу роста, развития и урожая всех растений, в том числе и кормовых культур. Для агроклиматической характеристики территории относительно условий

произрастания растительных группировок сенокосов и пастбищ необходимо знать потребность их в указанных экологических показателях.

Большая часть представителей природных и сеяных трав начинают весеннее возобновление вегетации при средних суточных температурах воздуха 3-5 °С, что совпадает с накоплением сумм положительных температур воздуха порядка 25-45 °С. Некоторые ранневесенние травы пустынной и полупустынной зоны (эфемеры и эфемероиды) начинают свою вегетацию при устойчивом переходе средней суточной температуры воздуха через 0 °С, используя положительные дневные температуры. Отдельные растения пастбищ южных районов отличаются бошей теплолюбивостью и начинают вегетацию при средней суточной температуре воздуха 9 °С (саксаул), 10-11 °С (тростник и ажрек) и 14 °С (верблюжья колючка).

После возобновления вегетации развитие сенокосно-пастбищных растений зависит главным образом от температуры, а рост и накопление вегетативной массы для районов, где возможное испарение преобладает над осадками, определяется влагообеспеченностью. В северных, холодных районах, где возможное испарение значительно меньше осадков, накопление вегетативной массы трав зависит от количества тепла.

Заморозки весной у поверхности почвы ниже -6 °С вызывают повреждение большинства растений, находящихся в начальных фазах развития. Теплолюбивые травы (верблюжья колючка) повреждаются заморозками уже при температуре -1 °С.

После возобновления вегетации одним из важных показателей роста трав является их высота, так как она определяет сроки подтравливания (для овец). По данным А.П. Федосеева [108], необходимая для подтравливания высота трав (4-6 см для ранних злаков и 2-3 см для полыни) в условиях Казахстана наблюдается при накоплении суммы положительных температур порядка 115 °С после схода снежного покрова или устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °С.

По данным А.М. Могилевой [95], на суходольных сенокосах и пастбищах в пределах ЕЧ территории СНГ для начала выпаса скота необходима высота травостоя 8-10 см, что наблюдается при накоплении суммы положительных средних суточных температур 75-115 °С. На заливных пастбищах и лесокустарниковых выгонах эти суммы соответственно равны 125-160 и 160-260 °С. Сроки развития трав на заливных лугах (сенокосах) зависят от времени освобождения их из-под воды. Иногда при длительном стоянии воды часть сообщества трав выпадает.

Наступление фазы цветения одноукосных клеверов в условиях достаточного увлажнения происходит при накоплении суммы эффективных температур (выше 5 °С) 550-570 °С. Для двуукосных клеверов необходима сумма эффективных температур 460-470 °С, для

люцерны – 500-550 °С. Такие травы, как тимopheевка луговая, овсяница луговая, ежа сборная, зацветают при суммах температур воздуха 450-470 °С.

В период роста и развития для большинства трав температура воздуха выше 35-40 °С является неблагоприятной. Осенняя вегетация трав обычно прекращается при переходе средней суточной температуры воздуха через 5 °С.

Потребность трав во влаге изменяется в онтогенезе в зависимости от напряжения внешних условий, биологии самих растений и фазы развития. В табл.14.2 в качестве примера приведена норма водопотребления красного клевера, определенная подекадно для условий Северо-Запада России (Санкт-Петербургская область). Из табл. 14.2 следует, что норма водопотребления красного клевера в условиях Северо-Запада за период май-август составляет 340-350 мм.

Таблица 14.2 – Норма водопотребления красного клевера (мм/декада)

Станция	Май			Июнь			Июль			Август			Сумма
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
Кингисепп	17	24	30	34	35	43	38	30	28	26	22	23	350
Белогорка	16	23	30	34	35	40	42	30	30	25	23	22	350
Николаевское	18	25	32	34	35	39	38	27	26	25	24	23	346

По многолетним фенологическим данным, клевер красный одноукосный начинают косить на Северо-Западе в первой декаде июля. Отсюда норма оптимального водопотребления клевера до первого укоса составляет 210-220 мм. Наибольшая средняя величина оптимального водопотребления клевера наблюдается в конце июня - начале июля и составляет 38-42 мм/декаду. Этот период совпадает с большим напряжением метеорологических элементов, определяющих испарение, и значительным развитием вегетативной массы (фазы бутонизация – начало цветения). После укоса водопотребление клеверного поля заметно падает, до 20-30 мм/декаду. Выявленные для клевера величины и особенности водопотребления характерны для многих одноукосных трав, в том числе для сенокосных сообществ Северо-Запада.

В качестве показателя потребности трав во влаге часто используют ее запасы в метровом слое почвы. Многолетние травы хорошо развиваются при влажности почвы 80-85 % полной влагоемкости. В осенний период вегетации в качестве показателя условий отрастания трав можно использовать число влажных и теплых декад. Влажной считается такая декада, при которой в слое почвы 0-20 см находится более 10 мм

продуктивной влаги. Под теплой понимают такую декаду, при которой средняя декадная температура воздуха не опускалась ниже 4-5 °С.

В лесостепной зоне плохие условия для осеннего отрастания пастбищных трав складываются в том случае, когда здесь в этот сезон сформировалась лишь одна теплая и влажная декада. Если в этой зоне наблюдается от двух до четырех таких декад, то формируются средние условия. Четыре и более таких декад определяют хорошие условия отрастания пастбищных трав осенью. В зоне типичных степей, полупустынь и пустынь хорошее отрастание пастбищных трав имеет место при четырех теплых и влажных декадах; средние условия формируются при двух-трех декадах и плохие – при одной декаде. Определение декад следует начинать с сентября.

Если в сентябре в полупустынях и пустынях выпадает до 30 мм осадков, то отрастание трав будет слабое, при 30-40 мм – среднее и при осадках более 40 мм – хорошее. В предгорьях Казахстана при осадках 80-100 мм условия отрастания трав будут средними, а при осадках более 100 мм – хорошими.

14.3. Агроклиматическая оценка и районирование территории, применительно к естественной пастбищной растительности

Для сравнительной оценки климатических условий произрастания природных трав по территории, прежде всего, необходимы сведения о средних и крайних сроках наступления фаз развития. Время возобновления и прекращения вегетации большинство природных травостоев можно определить по датам перехода средней суточной температуры воздуха весной и осенью через 4-5 °С.

На территории ЕЧ СНГ средние сроки возобновления вегетации ранних злаков и разнотравья запаздывают с юга на север примерно на два месяца. Так на юге Украины возобновление вегетации трав наступает в конце марта, а на Кольском полуострове России – в конце мая. Прекращение вегетации трав с севера на юг также длится почти два месяца. На севере вегетация трав прекращается в конце второй декады сентября, а на юге - во второй декаде ноября.

Ко времени возобновления вегетации природных трав на севере увлажнение метрового слоя почвы обычно избыточное, в южной части лесных, лесостепных и на севере степных районов хорошее, в южных степных районах вполне удовлетворительное. Указанные запасы влаги в почве обеспечивают весной очень хорошие и хорошие условия роста трав в ранние фазы их развития. Однако, весенних влагозапасов хватает травам лишь на короткое время.

В условиях Северо-Запада их дальнейшее развитие определяется режимом атмосферных осадков и подпитыванием корнеобитаемого слоя почвы от грунтовых вод. В засушливых районах весенние влагозапасы в почве определяются основным источником водоснабжения трав для всего вегетационного периода. При отсутствии орошения именно они определяют здесь урожай трав. Лучшие условия складываются при влажности почвы весной, равной 80-100 % полевой влагоемкости. В таких случаях формируются хорошие условия для кущения, идет быстрое накопление вегетативной массы и урожай сена с одного укоса достигает 30-40 ц/га.

В зависимости от продолжительности теплого периода и режима увлажнения изменяется и число укосов. В условиях влажного и прохладного лета на Северо-Западе возможен второй укос в конце лета. На юге в Средней Азии и Казахстане при применении орошения число укосов трав может возрасти до 5-6 и урожай сена в целом составит 100-200 ц/га. Урожай отавы (травостоя после укоса) также определяется режимом увлажнения.

Комплексным агроклиматическим показателем выгорания эфемеров являются декадные запасы влаги в слое 0-20 см менее 10 мм, средняя декадная температура воздуха не ниже 18 °С и дефицит влажности воздуха более 10 мм. В степях и полупустынях природные злаково-разнотравные пастбища начинают выгорать при уменьшении запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы до 25 мм и менее и при средней декадной температуре воздуха выше 20 °С. В отдельные засушливые годы выгорание трав наблюдается даже в условиях Северо-Запада во вторую половину лета, особенно на легких почвах.

Связь между средним расходом влаги и приростом сухой массы отавы равнинных естественных сенокосов и пастбищ Казахстана, установленная А.П. Федосеевым [108], позволила ему определить для этой территории вероятность лет с благоприятными условиями для отрастания хозяйственно ценных отав. Благоприятными годами считались те, при которых суммарный расход влаги за два месяца после укоса трав в фазе цветения составлял 100 мм и более. В степной зоне Казахстана благоприятными по погодным условиям являются 4-7 лет из 10-ти, в полупустынной 1-3 года, а в пустынях 0-1 год.

Автором построена агроклиматическая карта вероятности лет с благоприятными осенними условиями для отрастания пастбищных растений в Казахстане. Выявлено, что повторяемость благоприятных условий для осеннего отрастания трав в этой стране уменьшается от 5-6 за 10 лет в зоне лесостепи до 1-2 раз в зоне пустынь. Агроклиматическое районирование территории применительно к естественным пастбищам впервые было выполнено А.П. Федосеевым на примере Казахстана.

Для оценки термических ресурсов автор использовал сумму активных среднесуточных температур воздуха выше 5 °С. Однако известно, что в районах недостаточного увлажнения при отсутствии орошения ресурсы тепла не могут быть полностью использованы растениями. Поэтому для более точной оценки ресурсов тепла районирование территории проведено по ΣT_c за период активного роста растений, т.е. от начала вегетации до декады максимального урожая травостоев сухих и влажных местообитаний. Кроме того, введен был еще один показатель термического режима – сумма температур за влажный период осеннего отрастания трав.

На рис.14.1 представлена карта агроклиматического районирования ресурсов тепла для естественной пастбищной растительности Казахстана. Из неё видно, что ΣT_c с начала возобновления вегетации до максимального урожая растений изменяется с севера на юг и юго-восток от 1500-1700 °С до 800-1000 °С. Для выделения агроклиматических зон увлажнения Федосеев использовал показатель увлажнения (M), который был рассчитан по формуле

$$j = \frac{W_{\hat{a}} + \Sigma r_{\hat{a}i}}{\Sigma d}, \quad (14.1)$$

где $W_{\hat{e}}$ – весенние запасы доступной влаги в метровом слое почвы (мм);
 $\Sigma r_{\hat{a}i}$ – количество осадков с весны до времени максимального урожая травостоев (мм);
 Σd – сумма средних суточных дефицитов влажности воздуха за тот же период (мм).

На рис.14.2 приведена карта агроклиматических зон увлажнения Казахстана. На равнинной части выделено четыре зоны. Крайние значения показателя увлажнения от зоны I к зоне IV резко изменяются от 0,59 до 0,10. В предгорьях и горах Казахстана показатели увлажнения изменяются еще сильнее (от 0,21 до величины более 1,20). Существенно, что выделенные по увлажнению зоны совпадают в основном с природными зонами; так, положение умеренно влажной зоны соответствует лесостепи, умеренно засушливой – степи, сухой зоны – полупустыне и очень сухой – пустыне.

На комплексной карте агроклиматического районирования пастбищной растительности автор выделил 11 природных зон по величине показателя увлажнения M со сравнительной оценкой климатических условий (баллы). Бонитировочная оценка почвенно-климатических условий выполнена из расчета, что показатель M равен 100 баллам для умеренно-влажной лесостепной зоны. Легенда к карте представлена в табл. 14.2. Здесь же приведен и средний урожай травостоя. В лесостепной зоне 100 баллам соответствует урожай травостоя равный 11,1 ц/га, а в

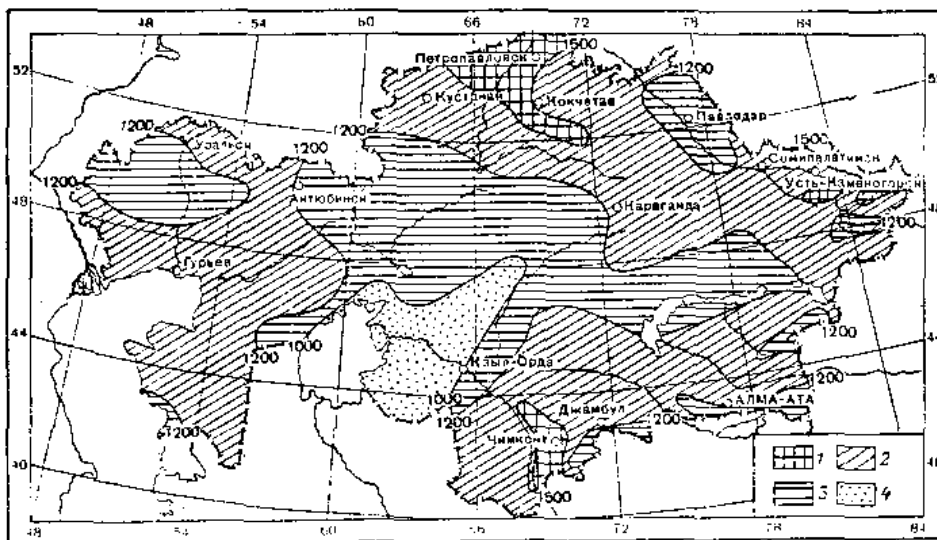


Рис.14.1 – Суммы температур с начала возобновления вегетации до максимального урожая пастбищных травостоев.
 1 – 1500-1700⁰С, 2 – 1200-1500⁰С, 3 – 1000-1200⁰С,
 4 – 800-1000⁰С

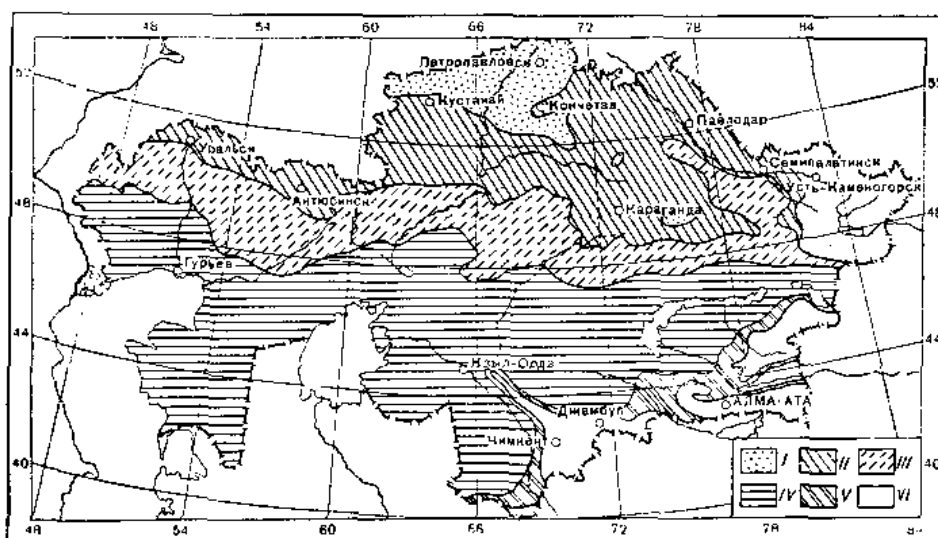


Рис.14.2 – Агроклиматические зоны увлажненности Казахстана
 I – умеренно-влажная (0,59–0,40), II – умеренно-засушливая (0,39–0,30), III – сухая (0,29–0,20), IV – очень сухая (0,19–0,10),
 V – сухая предгорная (0,29–0,20), VI – горные районы (0,39–0,30)

Таблица 14.2 – Сравнительная оценка влияния почвенно-климатических условий на продуктивность пастбищной растительности в Казахстане

Агроклиматическая зона	Соответствующая природная зона	Средний показатель увлажнения М	Сравнительная оценка климатических условий (баллы)	Средний урожай плакорных травостоев (ц/га)	Бонитировочная оценка почвенно-климатических условий (баллы)
Умеренно влажная	Лесостепь	0,50	100	11,1	100
Умеренно засушливая	Степь	0,35	70	7,9	71
Сухая	Полупустыня	0,22	44	4,3	39
Очень сухая	Типичная пустыня	0,13	26	3,2	29
Сухая предгорная	Предгорные пустыни	0,23	46	4,9	44
Очень сухая южная	Эфемеровая пустыня	0,18	36	3,6	32
Умеренно засушливая и влажная предгорная	Предгорные степи	0,40	80	10,8	97
Влажная горная	Горные степи	0,60	120	12,5	113
Очень влажная	Горно-лесная	0,95	190	18,7	168
Избыточно влажная	Высокогорная	1,66	75	8,3	75

эфемерной пустыне он снижается до 3,6 ц/га при 32 баллах.

Наглядно видно, что в зависимости от количества тепла и влажности почвы продуктивность трав по природным зонам Казахстана резко изменяется (в относительных единицах от 26-28 до 170-190 баллов). Она может значительно колебаться в одном и том же природном районе как в отдельные годы, так и под влиянием микроклиматических условий.

14.4. Агроклиматическая оценка условий произрастания сеяных трав и их продуктивности

Среди посевов многолетних трав ведущая роль принадлежит бобовым, около 70 %. Клевер красный занимает 30-40 %, а люцерна 20-25 % от

общей площади сеяных трав на территории СНГ. В зависимости от климатических условий и биологических особенностей они имеют совершенно обособленные ареалы распространения. Агроклиматическая оценка условий произрастания и формирования урожайности сеяных трав состоит из: характеристики периода активной вегетации весной и летом, условий морозоопасности в период покоя зимой.

Клевер. По морфологическим и биологическим признакам выделяют два типа клевера – одноукосный (позднеспелый) и двуукосный (раннеспелый). Ареалы их произрастания различны. Двуукосный клевер сеют преимущественно в южных, юго-западных и западных районах ЕЧ СНГ, граница его посевов проходит примерно по линии Могилев - Воронеж. Севернее этой границы на территории до линии Санкт-Петербург – Пенза распространены посевы клевера обоих указанных типов. В восточных и северных районах ЕЧ (к северу от линии Санкт-Петербург – Пенза) культивируют одноукосный клевер.

В первый год жизни клевер развивается очень медленно, поэтому его используют как подсевную культуру под покровом озимых и зерновых, которые не снижают урожай клевера. В хозяйствах пользуются посевами клевера только во второй и третий год жизни, когда получают один или два укоса за лето.

Период стеблеобразования у клевера считается критическим. От обеспеченности растений в это время питательными веществами, влагой и теплом зависит урожай. Помимо этого урожай определяется и условиями перезимовки. Холодостойкость раннеспелого клевера составляет -10 , -5 °C, а позднеспелого -15 , -20 °C. На ЕЧ СНГ снежный покров высотой 20-25 см предохраняет клевер от вымерзания при низких температурах воздуха. В Западной Сибири благоприятные условия для перезимовки клевера создаются при высоте снега 50-60 см.

А.Т. Никифорова [95] определила, что северная граница возделывания двуукосного клевера совпадает с изолинией среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха -30 °C. К югу от этой линии в большинстве лет условия для перезимовки двуукосных клеверов благоприятные. Неблагоприятные условия для перезимовки клевера наблюдаются на территории, расположенной к югу от изолинии -12 °C среднего из абсолютных годовых минимумов температуры почвы на глубине узла кущения.

Агроклиматическая оценка территории СНГ для культуры клевера приведена на рис.14.3. На ЕЧ территории граница возможного возделывания клевера совпадает с изолинией сумм активных температур воздуха выше 10 °C 1400 °C, в Западной Сибири – 1700 °C. Южная граница целесообразного выращивания клевера проходит по изолинии годовой суммы осадков 450 мм.

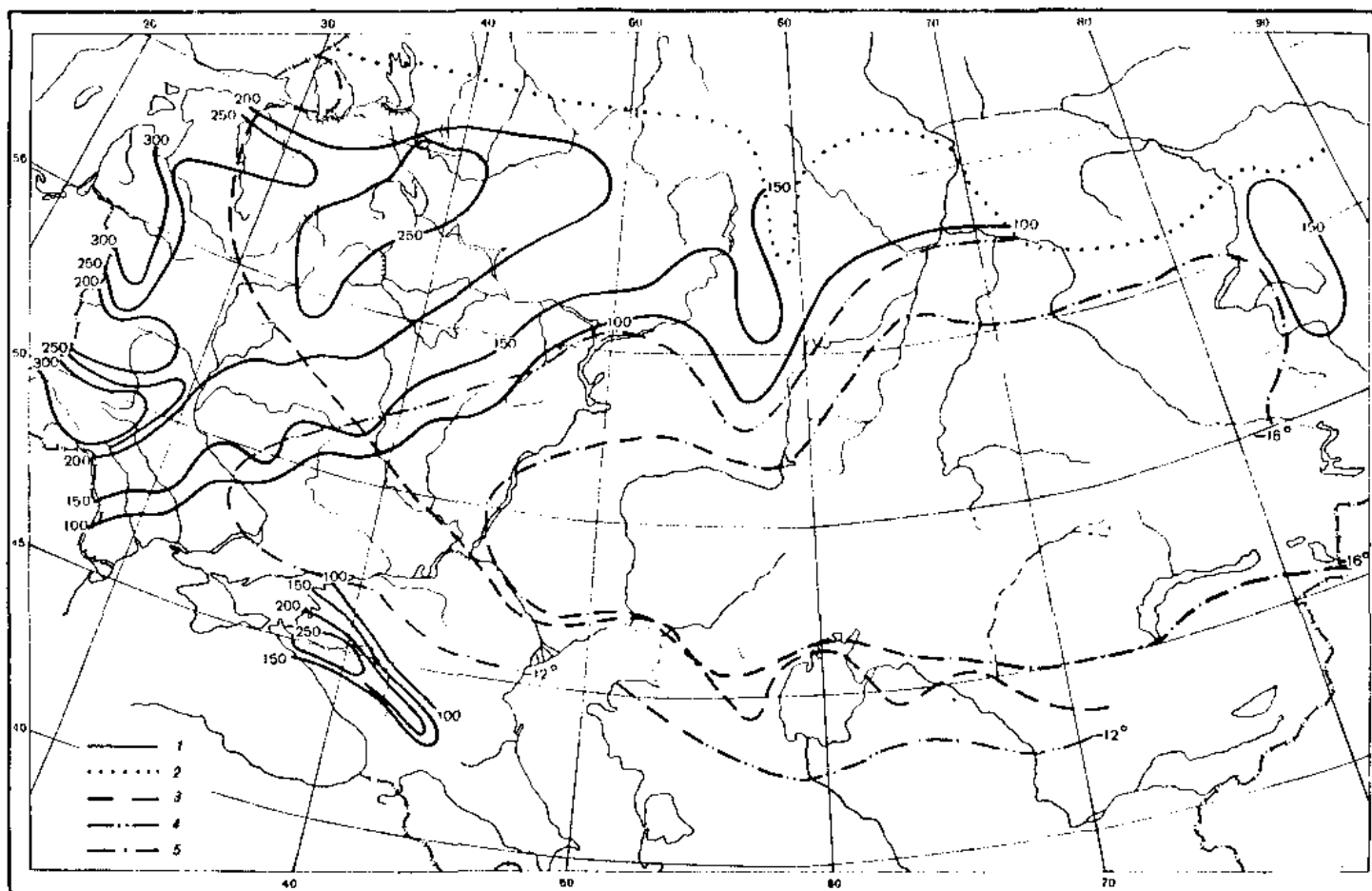


Рис. 14.3 – Агроклиматические условия произрастания красного клевера в СНГ;

1) урожай зеленой массы (ц/га), 2) северная граница возделывания клевера на сено и семена, 3) граница возделывания южных скороспелых клеверов. Средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха на глубине узла кущения озимых: 4) -12°C , 5) -16°C .

На карте также показано распределение урожаев зеленой массы клевера. На ЕЧ территории в условиях естественного увлажнения выделено несколько районов с довольно высокой урожайностью (250-300 ц/га и более) – западная часть Украины, северо-западная часть Беларуси, а также Вологодская, Калининская, Смоленская, Ярославская области России. Такие же урожаи характерны для Северного Кавказа. Низкие урожаи клевера – 100 ц/га и менее получают в районах, расположенных к югу и юго-востоку от линии Одесса – Воронеж – Пенза – Казань – Уфа – Челябинск – Свердловск.

Урожай клевера (как и других трав) часто ограничивается недостатком влаги в почве, вызванным неравномерным выпадением осадков. В особо сухие годы (недостаток влаги в период возобновления вегетации – первый укос) составляет 100-120 мм, урожай клевера по сравнению с оптимумом может понижаться даже в условиях северо-запада ЕЧ СНГ в 2-3 раза.

Возобновление вегетации клевера также как и многих других сеяных трав начинается при прогревании воздуха до 5 °С. Н.В. Гулинова [24] составила агроклиматическую карту дат возобновления вегетации многолетних сеяных трав весной на территории СНГ для средних многолетних условий. Как видно из рис. 14.4, при продвижении с юго-востока на север даты возобновления вегетации трав запаздывают почти на 2 месяца. На Украине она отмечается в первой декаде апреля, в Центральном регионе России и на Среднем Урале – в третьей декаде апреля, а на юге Средней Азии – в первой декаде марта. Вероятность возобновления вегетации сеяных трав отдельные годы можно определить по номограмме обеспеченности (рис.14.5).

В период активной вегетации урожай сена клевера на большей части территории СНГ определяется условиями увлажнения. Автор установила зависимость высоты клевера перед 1-м укосом от показателя увлажнения (K_v) на конец мая и дефицита влажности воздуха в июне (d_{vi}). Эта зависимость для нечерноземных областей России аппроксимируется уравнением вида

$$H_k = 24,4 K_v - 1,67 d_{vi} + 1,1; \quad r = 0,75, \quad (14.2)$$

H_k – высота растений (см).

Показатель увлажнения рассчитан по формуле, предложенной Р.Э. Давидом, которая имеет вид

$$\hat{E}_v = \frac{0,5 \sum r_{(XII-III)} + \sum r}{0,5 \sum d_{(IV-V)}}, \quad (14.3)$$

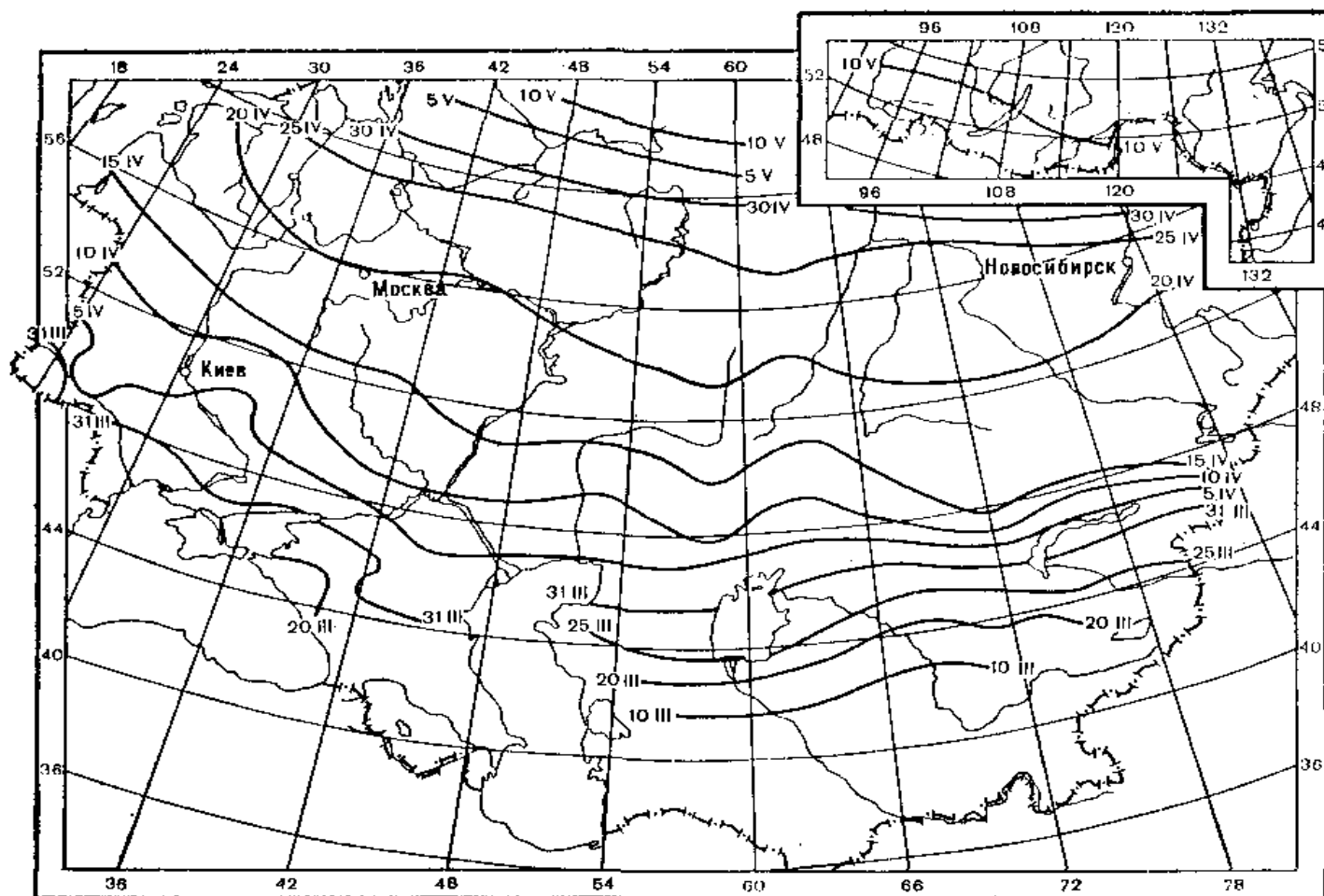


Рис.14.4 – Даты возобновления вегетации сеяных многолетних трав весной на территории СНГ.

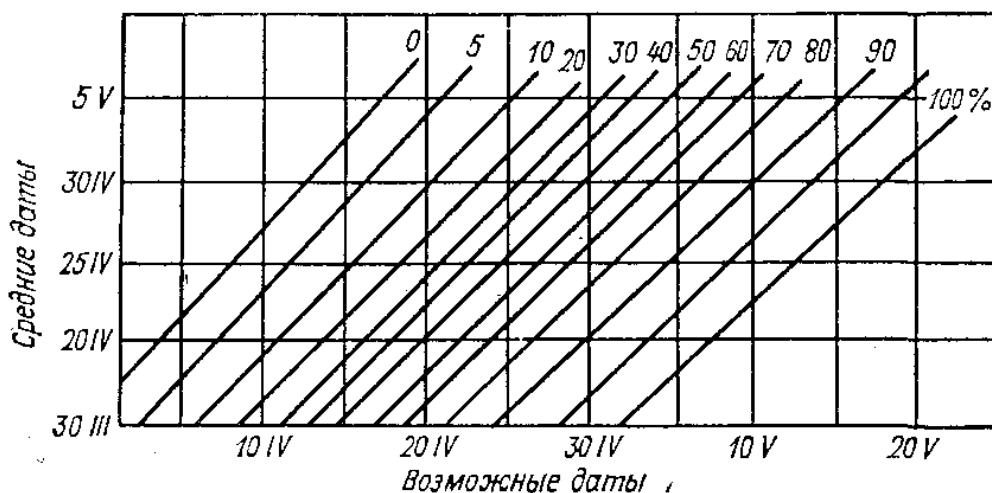


Рис.14.5 – Номограмма обеспеченности (%) возможных дат возобновления вегетации семян трав относительно средних многолетних дат.

где $\Sigma r_{(XII-III)}$ – количество осадков за холодное время года с декабря по март с коэффициентом 0,5;

$\Sigma d_{(IV-V)}$ – количество осадков за апрель – май (мм).

Оптимальные условия для роста клевера наблюдаются при показателе увлажнения $K_v \approx 1,9-3,3$ и дефиците влажности воздуха $d_{VI} \approx 5,5-7,5$ г Пд. При этом высота травостоя составляет 60-70 см. Как при повышении, так и понижении этих показателей климата, условия роста ухудшаются и высота клевера уменьшается. Наилучшие условия для формирования высокого урожая сена (40-50 ц/га) складываются при сумме осадков (за холодный периода и первые два месяца вегетации) в 350-400 мм, а неблагоприятные – в 200 мм и ниже. При этом урожай сена не превышает 5-10 ц/га.

Содержание протеина в сене находится в обратной связи с осадками. Наибольшее содержание протеина соответствует сумме осадков 200-250 мм и сумме температур воздуха за два вегетационных месяца 750-800 °С. Наименьшее содержание протеина наблюдается при сумме осадков 300-350 мм и сумме температур 600-650 °С. По мере продвижения с северо-запада на юго-восток СНГ урожайность клевера уменьшается, а процентное содержание протеина увеличивается.

Люцерна. Из большого числа видов многолетней люцерны, возделываемой в СНГ, наибольшее производственное значение имеют два: люцерна посевная и желтая. В хозяйствах люцерну высевают либо под покровом озимых или яровых культур либо без покрова. Косят ее в период бутонизации (в северных районах ареалов) и цветения (в южных районах). Используют люцерну 2-5 лет. На ЕЧ СНГ люцерну выращивают в

основном на неорошаемых землях. В южных районах получают обычно 2-3 укоса люцерны, при благоприятных условиях – на один укос больше. Число укосов люцерны в том или ином году определяется условиями тепло и влагообеспеченности в период активной вегетации. На урожайность этой культуры оказывают существенное влияние условия морозоопасности зимой в период покоя. По способности переносить низкие температуры в течении продолжительного времени зимой люцерна относится к среднеморозостойким сеяным травам и повреждается при температуре почвы на глубине 3 см -18, -20 °С. Температура воздуха при этом составляет -25, -38 °С, а высота снежного покрова менее 10-15 см. Снежный покров высотой 25-30 см надежно защищает люцерну от морозов.

Морозостойкость люцерны находится в тесной связи с интенсивностью ростовых процессов в конце лета и осенью. Чем интенсивнее рост и чем позднее он прекращается осенью, тем хуже морозостойкость растений. Способность люцерны замедленно развиваться и расти под влиянием осенних условий, является одной из причин её относительно удовлетворительной зимостойкости. В.М. Личикаки [53], исследуя условия перезимовки люцерны на Украине, установил зависимость критической температуры вымерзания растений ($T_{кр}$) от средней из минимальных температур почвы на глубине 3 см ($\vec{O}_i$) за период от даты перехода средней суточной температуры через 0 °С до даты определения критической температуры. Уравнение имеет вид

$$\vec{O}_{\vec{e}\vec{o}} = 0,24\vec{O}_i^2 + 0,99\vec{O}_i - 14,05 \quad (14.4)$$

Весной нормальное прораствание семян и начало появления всходов люцерны происходит при переходе температуры воздуха через 7-10 °С. Однако дружные всходы появляются при температуре воздуха 17-22 °С. Растения легко переносят весенние заморозки до -3, -4 °С. Опасными являются заморозки силой в -8, -10 °С. Люцерна является теплолюбивым растением. Оптимальная температура воздуха для дальнейшего развития составляет 22-27°С. По данным ряда авторов для получения семян люцерны требуются от момента отрастания растений суммы температур 1200-1600°С. Для достижения фазы цветения (укосная спелость сена) люцерне необходимо около 700-900°С тепла.

Урожай люцерны находится в прямой зависимости от степени обеспечения её почвенной влагой. Наиболее благоприятные условия для роста, развития и получения высоких урожаев зеленой массы и сена создаются при влажности почвы 70-80 % НВ, а для семенной люцерны после цветения – 60-65 % НВ. Люцерна по сравнению с другими растениями более засухоустойчива, так как развивает мощную корневую

систему, которая позволяет ей использовать влагу из более глубоких слоев почвы. Коэффициент транспирации люцерны в зависимости от вида, сорта и места её произрастания колеблется в пределах от 700 до 1200ед.

На рис.14.6 показана связь урожая люцерны с увлажнением при разных суммах температуры воздуха. Показатель увлажнения (K) определен как частное от деления годовой суммы осадков на сумму средних месячных дефицитов влажности воздуха (за четыре вегетационных месяца, начиная от даты перехода средней суточной температуры воздуха через 10°C). Из рисунка следует, что при достаточном увлажнении по мере возрастания ΣT_c урожай сена люцерны увеличивается.

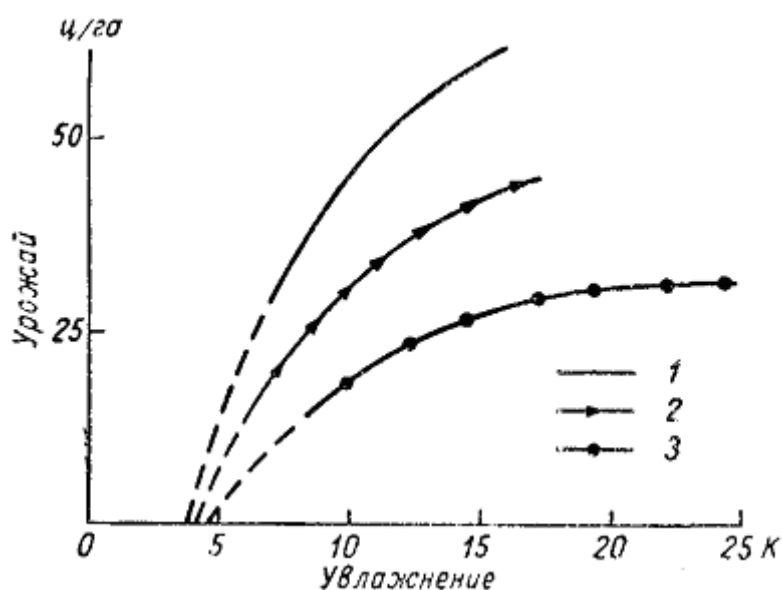


Рис.14.6 — Связь урожая сена люцерны от показателя увлажнения при различной сумме температур;
1 — 3250°C, 2 — 2750°C, 3 — 1750°C.

Агроклиматическая оценка условий произрастания люцерны на территории СНГ представлена на рис.14.7. Северная граница возможного возделывания люцерны на сено совпадает с северной границей возделывания клевера на семена. На территории СНГ урожай сена изменяется значительно. Районами наибольшего урожая (200 ц./га и более) в естественных условиях увлажнения являются Северный Кавказ, северная и западная часть Украины, причем урожай люцерны здесь ниже, чем клевера. Низкие урожаи — 50 ц/га и менее — получают на юге Украины и в степной части Крыма, а также на территории средней и нижней Волги и в Заволжье.

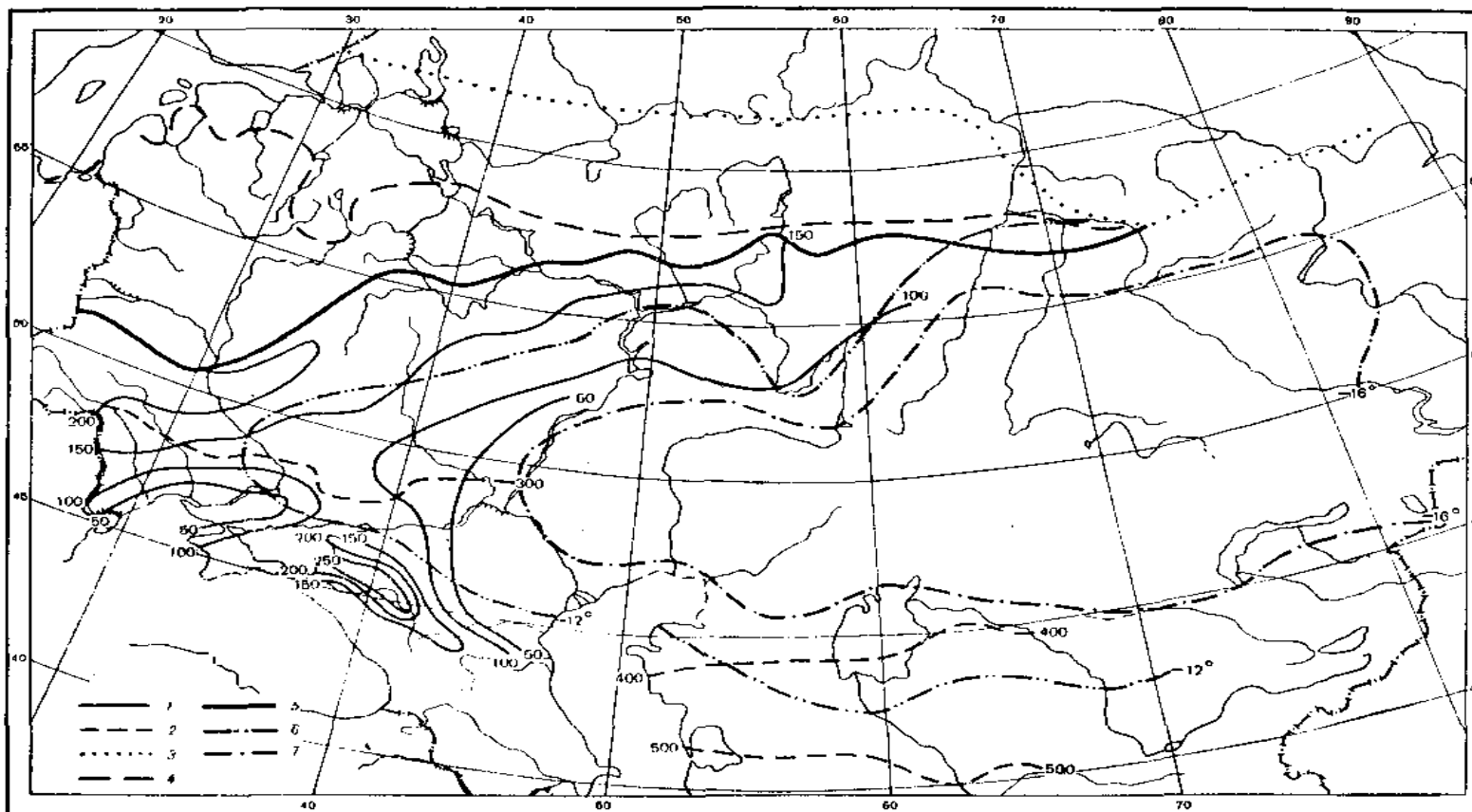


Рис.14.7 – Агроклиматические условия произрастания люцерны в СНГ. Урожай зеленой массы (ц/га):

1) без полива, 2) при поливе. Северная граница возделывания: 3) на сено, 4) – на семена. 5) широкого возделывания в производственных условиях.

Средние из абсолютных годовых минимумов температуры почвы на глубине 3 см: 6) -12°C , 7) -16°C .

Урожай люцерны в засушливых районах резко возрастает при орошении. Так, на территории Средней Азии при поливе и 5-6 укосах он может достигать 400-500 ц/га зеленой массы и более. На территории юга Украины, Северного Кавказа и Нижнего Поволжья урожай люцерны при поливе и 3-4 укосах достигает 300 ц/га зеленой массы и более.

Культурные пастбища. Особое значение в развитии кормовой базы имеют долголетние сеяные (культурные) пастбища. Культурные пастбища закладывают на достаточно плодородных участках. Важно, чтобы массив пастбища для дойного стада был расположен вблизи скотного двора. На каждое стадо из 100-150 коров следует иметь отдельное сеяное пастбище. При создании культурных пастбищ в условиях с оптимальным водным режимом в травосмесь при залужении включают наиболее отзывчивые на воду травы: ежу сборную, овсяницу луговую, тимopheевку луговую, костер безостый, лисохвост луговой, райграс пастбищный, клевер белый. На плодородных почвах, имеющих нейтральную или щелочную реакцию, хорошим компонентом является люцерна посевная.

Опыт показывает, что специально созданные культурные пастбища представляют новый тип сельскохозяйственных угодий, возникший в результате применения интенсивных методов кормопроизводства. Исследования научных учреждений свидетельствуют, о том, что с каждого гектара сеяных пастбищ можно получить 4-8 тысяч кормовых единиц. Однако получать такой полноценный и дешевый корм можно лишь при условии хорошего ухода за культурными пастбищами и правильного их использования. К правильному уходу, прежде всего, следует отнести применение оптимальных доз минеральных удобрений, орошение, загонную пастьбу и др.

Особое значение имеет орошение пастбищ. Весной недостаток почвенной влаги приводит к сокращению числа побегов злаков и к слабому их развитию, уменьшению количества листьев и их поверхности. В летнее время недостаток почвенной влаги ослабляет или совершенно останавливает образование новых побегов у пастбищных трав. При значительном дефиците влаги листья трав грубеют и отмирают. В осенний период при недостатке влаги пастбищные травы кустятся слабо. Таким образом, проблема водного режима для пастбищных трав имеет важнейшее значение на протяжении всего вегетационного периода. Правильное ее решение возможно лишь при применении искусственного орошения пастбищных трав.

В последние годы существенно расширяется и ареал орошения сеяных пастбищных травостоев. Если раньше поливы пастбищ производились только в аридной зоне и горных районах, то в настоящее время культурные пастбища орошаются в большинстве районов интенсивного животноводства, в частности на Северо-Западе России. В целом для территории СНГ оросительная норма для сеяных пастбищ

увеличивается с уменьшением широты, т.е. по мере продвижения с севера на юг и юго-восток. Так в Казахстане оросительная норма достигает 340-350 мм за вегетацию (при средних климатических условиях). Эффективным является устройство сеяных долголетних орошаемых пастбищ и в условиях юга Средней Азии.

Глава 15. ВЛИЯНИЕ КЛИМАТА НА ПОЯВЛЕНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ БОЛЕЗНЕЙ И ВРЕДИТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

15.1. Роль климатических факторов в развитии и размножении вредоносной биоты

Болезни и вредители культурных растений наносят большой ущерб сельскому хозяйству. Лишь от болезней растений, вызываемых различными патогенными грибами, мировая продукция сельского хозяйства теряет ежегодно не менее 10 %. При массовом заболевании растений или сильном распространении насекомых-вредителей неоднократно и на больших площадях земного шара наблюдалась почти полная гибель многих продовольственных культур. Например, в отдельные годы потери урожая пшеницы в США и Канаде только от линейной ржавчины составляет в денежном выражении 25-40 млн. долларов. Поэтому организация службы защиты растений является одним из важных факторов интенсификации сельского хозяйства в каждой стране.

Для разработки специальных мер защиты растений от вредителей и болезней необходимо иметь различные сведения. Нужно знать условия развития и размножения сельскохозяйственных вредителей во времени и в пространстве, ареалы и степень их вредоносности, влияние на них погодных и климатических условий, устойчивость к ним растений и т.д. Защита культур от вредителей и болезней предусматривает, прежде всего, создание неблагоприятных условий для их появления и размножения, выведение устойчивых к ним сортов растений и разработку методов их уничтожения. Это позволяет значительно снизить вредоносность многих заболеваний, вредителей растений и сохранить урожай. Однако успешность современных методов защиты (агротехническими приемами, химическими и биологическими средствами) зависит от полноты знаний о погодных и агроклиматических условиях, которые влияют на развитие и распространение вредоносной биоты в пределах той или иной территории.

Впервые Г.К. Пятницкий [95], начиная с 30-х годов, приступил к изучению влияния погодных и климатических условий на развитие и распространение главных вредителей и болезней сельскохозяйственных культур на территории бывшего СССР. В дальнейшем работы в этом направлении были продолжены П.Г. Чесноковым, А.И. Руденко, А.С. Подольским Л.А., Макаровой, И.И. Минкевичем и др. Исследованиями установлено, что основными

климатическими факторами, определяющими появление, распространение и развитие вредной биоты являются тепло, влагосодержание среды и свет (интенсивность и длительность воздействия). Чаще всего эти факторы действуют в совокупности и в зависимости от значения одного из них меняется реакция патогена или вредителя на уровень другого. Остальные элементы среды (ветер, атмосферное давление и др.) в большинстве случаев лишь корректируют действие основных факторов, играя самостоятельную роль в определенные периоды жизнедеятельности патогенов и вредителей сельскохозяйственных полей.

Климатические факторы и болезни растений.

Определенное сочетание температуры и влажности обуславливают сохранность инфекционного начала до наступления вегетационного периода, возможность контакта паразита и хозяина, заражение растений, продолжительность инкубационного периода, плодовитость патогена, скорость рассеивания спор, степень поражения растений и проявление болезни. Температура среды является одним из основных факторов, определяющих возможность возникновения заболевания растений и степень его вероятности. В табл. 15.1 представлены температурные показатели развития возбудителей ряда болезней по обобщенным данным Л.А.Макаровой и И.И. Минкевич [56].

Влияние температуры среды на агрессивность грибов особенно проявляется с момента заражения растений. При этом первым этапом, предшествующим инфекции, является период прорастания спор паразитических грибов. Нижний предел прорастания спор варьирует от 4 °С до 10 °С, а оптимум - от 9 °С до 30 °С. Оптимальные условия для заражения растений разными болезнями создаются при температуре среды в пределах 12-30 °С. Например, оптимальная температура развития возбудителя болезни в тканях растения составляет для: линейной ржавчины пшеницы 20 °С, бурой ржавчины пшеницы 25 °С, пыльной головки пшеницы 22-30 °С, милдью винограда 25 °С (табл.15.1).

Степень развития болезни зависит от того, в какой мере рассеивание патогена совпадает с теми фазами развития растения-хозяина, в которые оно наиболее восприимчиво к болезни и условиями среды, благоприятными для заражения. Совмещение этих факторов широко варьирует во времени и пространстве в зависимости от климатических особенностей района и погодных условий конкретного года. Это и служит одной из главных причин зональной и сезонной изменчивости вредоносности растений.

Температурные условия среды определяют плодовитость патогена – количество инфекционного начала и продолжительность его действия. Например, наиболее обильное образование спор у возбудителя гельминтоспориозной гнили пшеницы наблюдается при температуре 24-

Таблица 15.1 – Температурные показатели развития некоторых возбудителей болезни

Стадия развития возбудителя болезни	Температура, °C			Автор
	нижний предел	опти- мум	верхний предел	
Линейная ржавчина пшеницы				
Прорастание спор	2	21-23 15-24	26-31 30-31	Степанов
Заражение растений	10	23-25	30	Чумаков
Развитие в тканях растения	2	20	-	Цадокс
Бурая ржавчина пшеницы				
Прорастание спор	2	20	32	Степанов
Развитие в тканях растения	2	25	35	Цадокс
Желтая ржавчина пшеницы				
Прорастание спор	1	9-13	23	Чумаков
Заражение растений	5	15-20	26	Цадокс
Развитие в тканях растения	3	12-15	20	
Гельминтоспориозная корневая гниль пшеницы				
Прорастание спор	6	22-28	36	Тупеневич
Развитие в тканях растения	8-9	18-25	-	Козырева
Спороношение	5	22-26	35	Коршунова
Офиоболезная прикорневая гниль пшеницы				
Развитие в тканях растения	5-8	8-28	>30	Коршунова
Пыльная головня пшеницы				
Прорастание спор	4-5	22-30	-	Фиалковская
Развитие спор	5	16-18	25-30	
Фузариоз колоса пшеницы				
Развитие спор	7-10	25-30	37-38	Коршунова
Спороношение	<10	24-26	До 40	
Милдью винограда				
Прорастание спор	-	10-15	-	Шатский
Развитие в тканях растения	8	25	33	
Мучнистая роса винограда				
Прорастание спор	5	10-30	33	Сейдаметов
Фитофтороз картофеля				
Прорастание спор	6-8	10-15	20	Кросье
Образование ростковых трубочек	4	25	30	Наумова

28 °С, а при температуре ниже 16 °С и выше 28 °С оно не происходит совсем. Оптимум для появления спор фитофторы картофеля создается при 18-22 °С, при 23-26 °С и 3 °С образование спор идет очень медленно, а при температуре ниже 2 °С и выше 27 °С – оно отсутствует.

Влияние влагосодержания среды на появление и развитие болезней сказывается на всех этапах патогенного процесса. Оно начинает проявляться еще в период формирования заразного начала. Влагообеспеченность среды в значительной мере определяет продолжительность сохранения жизнеспособности патогена. Однако решающее значение фактор влажности имеет в течение короткого периода – от начала прорастания спор до проникновения патогена в растение.

Для большинства фитопатогенных грибов заражение растений становится возможным лишь при высокой влажности среды их обитания. Так, споры фитофторы картофеля, милдью винограда, стеблевой ржавчины пшеницы, парши яблони, плодовой гнили прорастают только при наличии капельной влаги. Для прорастания спор бурой и желтой ржавчины требуется 100 %-ная влажность среды. Споры бурой ржавчины ржи и корончатой ржавчины овса могут прорасти лишь при 98 % содержания влаги. Споры возбудителя церкоспора сахарной свеклы при 100 %-ной - прорастают через 24 часа, при 90 %-ной через 34 часа, при 78-80 %-ной – не прорастают и через 48 часов.

Некоторые патогены лучше развиваются при повышенном влагосодержании почвы. Это – возбудитель рака и парши картофеля, килы крестоцветных культур, снежной плесени озимых, корневой гнили хлебных злаков и др. Например, поражение капусты килой при влажности почвы 45 % полной влагоемкости не происходит совсем, инфекция наступает лишь при 60 % и постепенно нарастает по мере увеличения влагообеспеченности почвы.

Однако для большинства грибов обильное увлажнение почвы оказывается вредным, поскольку это связано с ухудшением её аэрации, интенсивным развитием грибов – антагонистов и ускоренным прохождением критического для заражения периода развития растения хозяина. Поэтому оптимальные условия для прорастания спор пыльной и твердой головни овса при 30 %-ной влажности почвы, при 60 %-ной - прорастание спор замедляется, а при 80 % почти не происходит. При влажности почвы 40 % ПВ твердая головня заражает более 55 % растений, а при влажности почвы 80 % - только 10,7 %.

И, наконец, существует группа грибов, прорастание спор которых почти не лимитируется влагосодержанием среды и может происходить даже в условиях засухи. Наиболее характерными представителями этой группы являются мучнисторосяные грибы: возбудитель мучнистой росы

пшеницы хорошо развивается в широких пределах относительной влажности воздуха – от 30 до 100 %, мучнистой росы винограда от 8 до 100 %, мучнистой росы табака – от 60 до 100 % и т.д. Отмечены случаи прорастания их спор при влажности воздуха, близкой к нулевому значению.

В засушливых условиях с низкими значениями средней суточной относительной влажности воздуха прорастание конидий и заражение растений наиболее активно происходит в ночные часы, когда влажность воздуха возрастает до 75-80 % и более и в течении 4-7 часов наблюдается обильное выпадение росы.

Значение фактора влажности в развитии болезней определяется температурными условиями окружающей среды. При высокой температуре наибольшее количество зараженных растений наблюдается в условиях повышенной влажности среды. С уменьшением температуры происходит закономерное снижение оптимума влажности, и максимальное количество больных растений отмечается при более низких значениях этого показателя.

Влияние других факторов среды более ограничено и локально. Их воздействие проявляется лишь на отдельных этапах развития патогена или специфических условиях его существования. Из таких факторов наибольшее значение имеют свет и ветер.

Воздействие света в течение инфекционного периода начинает сказываться еще до заражения растений. Период заражения состоит из двух фаз, различающихся по реакции на световой фактор. Первая из них - собственно прорастание спор, протекает независимо от наличия и интенсивности света, вторая – после прорастания спор, проходит наиболее активно при повышенной освещенности. Положительное действие света сказывается также на скорости развития патогена в растении – хозяине.

Ветер выступает одним из основных факторов распространения болезни, главным образом путем переноса спор. Содержание спор в воздухе и их рассеивание имеют четко выраженный сезонный и суточный ход. Наибольшее количество спор в воздухе отмечается в дневные часы суток с повышенными скоростями ветра летом и осенью. Это связано с сезонным развитием грибов.

Климатические факторы и вредители растений

Исследованиями установлено, что наибольший ущерб сельскохозяйственным растениям наносят насекомые. Это объясняется разнообразием их видов, большой плодовитостью и значительным диапазоном к внешним условиям. Погода и климат аналогичным образом действуют на насекомых вредителей, определяя условия их появления, характер размножения, степень активности, географическое распространение. Из климатических факторов, оказывающих влияние на

развитие и распространение вредителей полей являются термический режим и влажность среды обитания [21, 56, 95].

Например, массовое развитие шведской мухи, наносящей значительный ущерб зерновым, наблюдается при температуре воздуха 18-30 °С и относительной влажности воздуха не менее 60 %. Вредная черепашка повреждает зерновые злаки, особенно пшеницу. Основной ареал вредоносности расположен в предгорной, степной и лесостепной зонах на территории СНГ. Вредная черепашка – теплолюбивый вид, при температуре – 7 °С, начинается гибель зимующих насекомых. Весной массовый вылет черепашки происходит при устойчивом переходе средней суточной температуры воздуха через 12-13 °С и при ГТК в пределах 1,1-2,0. Влияние температуры сохраняется и в период размножения. Для развития личинок благоприятная обстановка складывается при температуре воздуха выше 20-24 °С.

Одним из самых опасных вредителей овощных, пропашных культур, многолетних трав и пастбищ является луговой мотылек. Он также теплолюбив, поэтому основной ареал его вредоносности расположен в степных и лесостепных районах. Этот вредитель холодостоек и в период зимовки его гусеницы выносят температуру до –30 °С. Динамика численности лугового мотылька и его плодовитость находится в тесной зависимости от уровня температуры и влажности в весенне-летний период. При преобладании теплой и сухой погоды (температура воздуха 23-25 °С, ГТК менее 0,7-1,0) создаются благоприятные условия до потенциальной плодовитости.

Озимая совка – также широко распространенный вредитель всех овощных пропашных культур. При интенсивном подъеме численности этот вредитель активно расселяется и на посевы озимых зерновых культур, вызывая их изреженность на 30-50 % и более. Озимая совка принадлежит к умеренно теплолюбивым и влаголюбивым видам. Взрослые гусеницы выдерживают температуру до –11 °С. В зависимости от климатических условий вредитель может развиваться в одном поколении (северные и северо-восточные районы ЕЧ СНГ), в двух поколениях (Молдова, Украина, Северный Кавказ, Среднее и Нижнее Поволжье) и в трех поколениях (Закавказье и Средняя Азия). Благоприятные условия для размножения вредителя создаются при температуре 18-25 °С и ГТК в пределах 1,1-1,5. Высокие температуры (до 35 °С и более) и дефицит влаги (ГТК менее 0,7) приводят к снижению плодовитости самок.

Условия размножения саранчи, колорадского жука, свекловичного долгоносика, злаковой тли также создаются в основном определенными соотношениями температуры и влажности среды обитания. Колорадский жук относится к числу наиболее опасных вредителей картофеля и пасленовых культур. Основной ареал его распространения охватывает

значительную территорию зоны возделывания товарного картофеля в СНГ. Все фазы развития вредителя (яйца, личинки, куколки, имаго-взрослые жуки) не отличаются холодостойкостью (температура -7°C в местах зимовки вызывает гибель большинства зимующих жуков). Весенний выход жуков из почвы совпадает с установлением средней суточной температуры воздуха близкой к 10°C . Колорадский жук за один вегетационный период способен давать от одного до трех поколений. Оптимальные условия для жизнедеятельности имаго колорадского жука складываются при температуре около 25°C и относительной влажности воздуха 60-75 %. Большое значение имеет и продолжительность светового дня.

Изучение проблемы «Климат-болезни-вредители растений» позволяет предвидеть появление и степень развития вредной биоты, принимать более эффективные зональные меры борьбы, ограничивать пространственное распространение болезней и вредителей сельскохозяйственных растений. Важное значение при этом имеет агроклиматическая оценка и районирование территории по распространению сильных эпифиторий (массовое поражение растений болезнями), а также биоклиматическая оценка ареала распространения насекомых-вредителей. Следует отметить, что исследования по данной проблеме как в странах СНГ так и дальнего зарубежья развиты пока недостаточно.

15.2. Агроклиматическая оценка распространения и вредоносности болезней культурных растений

Самыми распространенными и вредоносными болезнями сельскохозяйственных культур являются микозо-заболевания, вызываемые потогенными грибами. Эти заболевания могут проявляться в виде сильных эпифиторий (массовое поражение растений) и почти полностью уничтожить урожай основных продовольственных культур. В этом случае ущерб обусловлен нарушением основных функций растения и его частей, что выражается в изменении структуры и физиологии клеток и тканей.

Интенсивность распространения болезней культурных растений определяется характером взаимоотношений трех компонентов: возбудителя болезни, растения-хозяина и внешней среды, в которой решающая роль принадлежит климату и погоде. Взаимодействие растения, потогена и среды Я. Планк [56] предложил называть треугольником болезни. Основным показателем воздействия этих факторов служит скорость инфекции. Наиболее распространенной моделью, отражающей ход эпифитотии является модель Я. Планка

$$\frac{dx}{dt} = r \div x(1-x), \quad (15.1)$$

где $\frac{dx}{dt}$ – скорость увеличения болезни за единицу времени;

x – количество(доля) больной ткани растения;

t – время течения болезни;

r – скорость инфекции;

$(1-x)$ – количество(доля) здоровой ткани, доступной для заражения.

Для определения относительной скорости инфекции r_1 за конкретный промежуток времени (t_1-t_2) применяется формула

$$r_1 = \frac{1}{t_2 - t_1} \left(\lg \frac{x_2}{1-x_2} - \lg \frac{x_1}{1-x_1} \right), \quad (15.2)$$

где $\lg \frac{1}{1-x_2}$ и $\lg \frac{1}{1-x_1}$ – натуральные логарифмы отношения доли зараженной ткани к доле здоровой соответственно во время t_1 и t_2 . скорость инфекции характеризует ее усредненный показатель за рассматриваемый промежуток времени.

Рассмотренная модель характеризует динамику болезни, но не может представить ее в объемном виде от начальной до конечной стадии. Кроме того, в ней не учитывается влияние показателей климата. Л.А. Макарова и И.И. Мицкевич [56] предложили более универсальный подход к решению подобной задачи. Динамика развития любого заболевания растений представлена в общем виде как:

$$Y_{\phi} = f(x) , \quad (15.3)$$

где Y_{ϕ} - показатель патологических изменений, характеризующих данную болезнь и выраженный в баллах или процентах пораженной ткани;

$f(x)$ - функция, отображающая зависимость изменения Y_{ϕ} от внешних условий при определенном запасе инфекции, сорте растения и агротехники.

Составление такого уравнения в общем виде осуществляется посредством интерполяционной формулы Ньютона. Если иметь данные наблюдений через равные промежутки времени за 4 срока, то формула будет иметь следующий вид:

$$Y_d = f(x) = Y_0 + (x-1)\Delta Y_0 + (x^2 - 3x + 2) \cdot \frac{\Delta^2 \cdot Y_0}{2} + (x^3 - 6x^2 + 11x - 6) \cdot \frac{\Delta^3 \cdot Y_0}{6}, \quad (15.4)$$

где Y_0 - начальное значение аргумента;

$\Delta^1, \Delta^2, \Delta^3$ - разности функции первого, второго и третьего порядков;

x - порядковые номера сроков наблюдений (узлы интерполяции).

Метод апробирован в моделях развития бурой ржавчины и мучнистой росы на различных видах и сортах хлебных злаков.

При теоретических исследованиях более точные результаты дает многофакторный анализ. Например, Д.Л. Тверской [56] с соавторами составил уравнение, в которое входят 12 факторов погоды (максимальная и минимальная температура воздуха, осадки, облачность и др.). С помощью этого уравнения, основываясь на прогнозе погоды можно заблаговременно определить необходимость опрыскивания картофеля против фитофторы, сахарной свеклы против церкоспороза. Аналогичные разработки проведены К.М. Степановым и В.М. Тереховым в отношении стеблевой ржавчины пшеницы и ее вредоносности. Такие исследования требуют применения ЭВМ.

Главным этапом при разработке системы мероприятий по защите растений от вредных организмов служит районирование территории по степени угрозы их массового размножения, выделение ареалов и зон с различной вредоносностью патогенов. Районирование территории имеет несколько этапов: обобщение фактических данных о распространении патогенов; установление границ основного и потенциального ареала болезни по агроклиматическим показателям, обуславливающим развитие патогена; расчет вероятности возникновения эпифитотий и определение зон различной вредоносности болезни в пределах ее ареала.

При мелкомасштабном агроклиматическом районировании распространения болезней культурных растений наиболее часто применяют такие показатели, как средняя суточная, максимальная и минимальная температура воздуха, относительная влажность воздуха, гидротермический коэффициент, осадки, высота снежного покрова в сочетании с вероятностью вредоносности той или иной болезни. Эти показатели, введенные в том или ином виде в модель районирования, являются основными. Выделенные при этом макрорайоны в основном отражают зональный характер распространения биоклиматических показателей в пределах страны или крупного региона.

На *рис. 15.1* показан пример такого районирования территории СНГ применительно к вероятности эпифитотий линейной ржавчины пшеницы

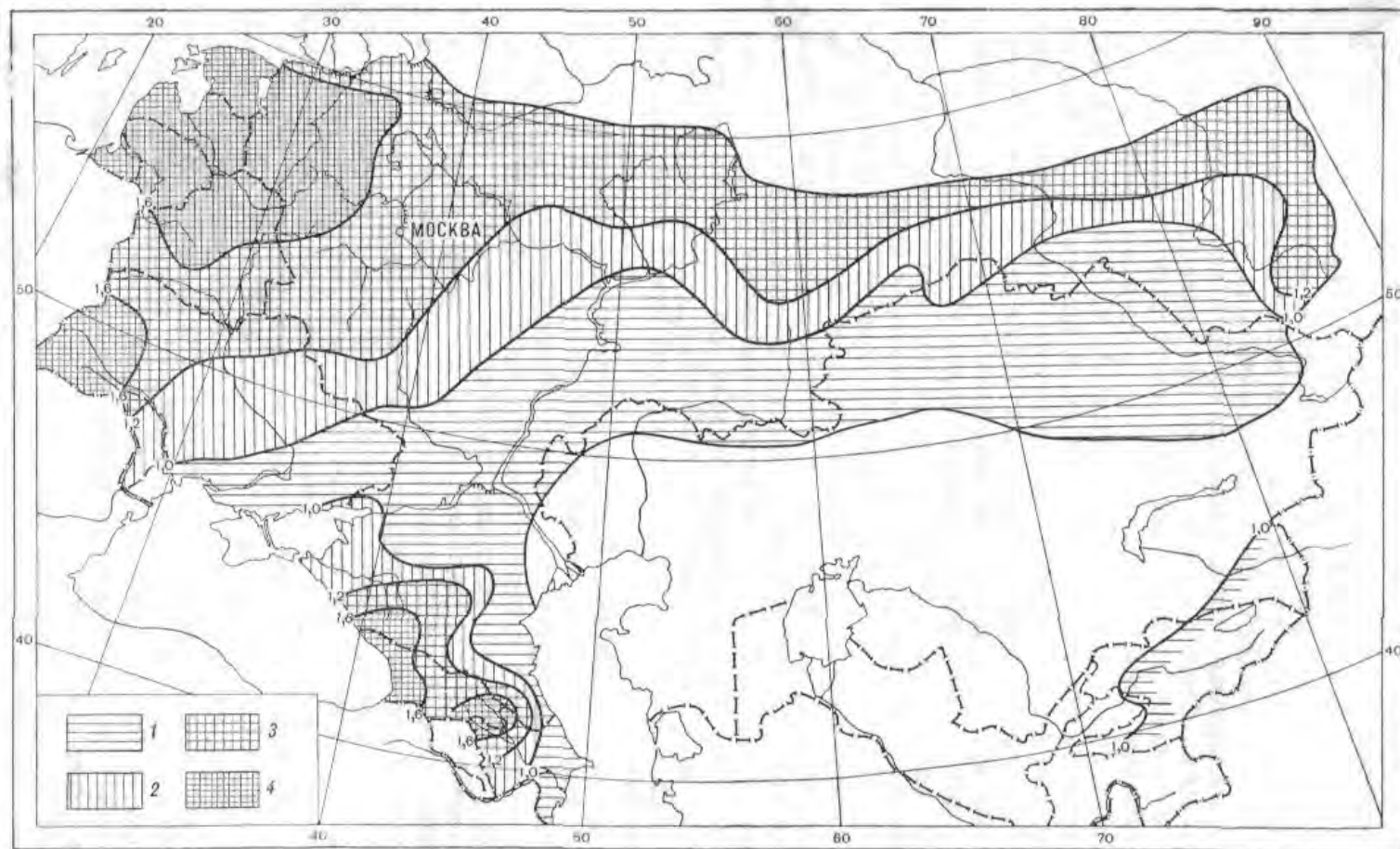


Рис.15.1 - Вероятность эпифитотий линейной ржавчины пшеницы.

1 — 0-10 %; 2 — 10-20 %; 3 — 20-40 %; 4 — 40-50 %. На изолиниях даны значения ГТК.

по А.Е. Чумакову [56]. Повторяемость ее эпифитотий лучше всего коррелирует с количеством осадков, выпадающих за период молочная спелость – уборка урожая. Однако степень его воздействия на поражаемые растения проявляется в зависимости от уровня температуры. Интегральным показателем, лимитирующим влияние обоих факторов, служит гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова. Макрорайон 4 с наиболее частым и интенсивным проявлением заболевания (4 – 5 раз из 10-ти лет), где выпадает более 90 мм осадков, ограничивается изолинией ГТК 1,6 и более (сюда входят западные, и северо–западные районы ЕЧ СНГ и южный район в субтропической зоне Грузии). Территория, где заболевание проявляется не чаще одного раза в 10 лет (макрорайон 1) ограничивается изолинией ГТК 1,0 и менее (табл. 15.2).

Таблица 15.2 – Агроклиматические показатели зон вредоносности линейной ржавчины пшеницы на территории СНГ.

Зона	Среднее много- летнее ГТК	Число лет с ГТК >1,6	Повторяемость эпифитотий
1	0,6 – 0,9	0 – 1	0 – 1
2	1,0 – 1,2	1 – 2	1
3	1,3 – 1,5	2 – 4	2 – 3
4	1,6 – 1,8	3 - 5	3 – 5

Примечание. Значение ГТК рассчитано за период молочная спелость – уборка урожая.

По сочетанию благоприятных климатических условий для интенсивного поражения яровой пшеницы гельминтьеспоровой корневой гнилью выделен основной ареал болезни, охватывающий территорию среднего и нижнего Поволжья, а также степные районы Казахстана и Сибири. Здесь при запасах влаги в метровом слое почвы не более 20 – 40 мм на фоне высоких температур вероятность сильной вредоносности болезни составляет 90 – 100 % (табл. 15.3). При продвижении к северу от этой территории при запасах продуктивной влаги более 80 мм имеют место неблагоприятные условия для развития болезни. Здесь вероятность сильной вредоносности болезни мала и не превышает 20 – 30 %.

На посевах озимой пшеницы распространена офиоболезная прикорневая гниль. В пределах потенциального ареала этой болезни, совпадающего с зоной возделывания поражаемой культуры, вредоносность заболевания определяется характером роста и развития растений в осенне-зимний период. Агроклиматический анализ условий развития болезни с учетом требований патогена и повреждаемой культуры позволили

Таблица 15.3 – Агроклиматические показатели зон вредоносности
гельминтеспоровой корневой гнили яровой пшеницы

Зона	Средние многолетние запасы влаги, мм	Число лет с запасами влаги в почве ниже		Показатель динамики влаги в почве	Вероятность сильной вредоносности болезни, %
		60м м	40м м		
1	Более 80	2-3	0-1	Менее 0,4	20-30
2	60-80	4-5	1-2	0,4-0,5	40-50
3	40-60	6-7	3-5	0,5-0,6	60-80
4	20-40	8-9	6-7	Более 0,6	90-100

Примечание. Запасы влаги в метровом слое рассчитаны за период цветение – молочная спелость.

Л.А. Макаровой и И.И. Мицкевич [56] установить показатели заболевания:
1) вероятность лет, когда растения уходят в зиму нераспустившимися или слабо распустившимися вследствие недостатка тепла или влаги;
2) соотношения минимальной и максимальной температуры января;
3) соотношение минимальной температуры и высоты снежного покрова в марте.

На ЕЧ СНГ выделено три зоны, границы которых очерчиваются изотермами января: 1-я зона слабой вредоносности (10 –20 %) охватывает центральные и восточные районы; 2-я зона, где заболевание, проявляется чаще, охватывает восточные районы стран Балтии, Северо-Запад, большую часть Беларуси, Украину и районы Северного Кавказа; 3-я зона включает территорию с наиболее частым (40 – 50%) и интенсивным поражением посевов (западные районы стран Балтии и Беларуси, западные и южные районы Украины, Молдовы, России). Агроклиматические показатели этих зон приведены в табл. 15.4.

Фузариоз зернобобовых культур в зависимости от характера влагообеспеченности территории проявляется двумя типами болезни: корневой гнилью и увяданием растений. Согласно исследованиям М.Ю. Степановой корневая гниль преобладает в районах с достаточным увлажнением (ГТК=1,4 и выше), фузариозное увядание – в областях с неустойчивым и слабым увлажнением. По среднему многолетнему значению гидротермического коэффициента и повторяемости его величин в отдельные годы установлено число лет с возможным проявлением того

или иного заболевания в различных частях ареала на территории СНГ (табл. 15.5).

Таблица 15.4 – Агроклиматические показатели зон вредоносности офиоболезной прикорневой гнили озимой пшеницы

Зона	Вероятность лет с неблагоприятными условиями в осенний период, %	Температура января, °С		Показатели марта	
		минимальная	максимальная	минимальная температура, °С	высота снежного покрова, см
1	10-20	-20,-25	4-7	-14,-19	15-25
2	20-30	-19,-22	7-11	-12,-15	5-15
3	40-50	-15,-20	14-18	-10,-13	0-5

Таблица 15.5 - Агроклиматические зоны фузариозных заболеваний зернобобовых культур

Зоны	Среднее значение ГТК	Число лет (из 10) с возможным проявлением болезни	
		Фузариозное увядание	Корневая Гниль
1	1,40 и выше	2-3	7-8
2	0,60-0,99	7-8	2-3
3	1,00-1,39	5-6	4-5

Линии определенного значения ГТК очерчивают зоны наиболее вероятного развития каждого из типов болезни (рис. 15.2). Наглядно видно, что корневая гниль может пережать зернобобовые культуры 7 – 8 раз в 10 лет в зоне оптимального увлажнения при ГТК более 1,4 (страны Балтии, Беларусь, Северо-Запад России, Западная Грузия). В зоне 2 при ГТК 0,6-0,9 преобладает увядание растений с проявлением болезни 7 – 8 раз в 10 лет (лесостепные районы Беларуси и Украины, средняя полоса России).

На территории СНГ одной из распространенных болезней картофеля и томатов является фитофтора. Заражение растений (как кроны, так и клубней) вызывается спорами особого гриба. Болезнь проявляется после массовой бутонизации – начало цветения растений. Интенсивному развитию фитофтора картофеля благоприятствует прохладная и влажная погода (средняя температура воздуха порядка 14 –20 °С, относительная влажность воздуха выше 75 %, ГТК равен или превышает 2,0). Согласно

исследованиям А.И. Руденко [95] зона наиболее частого и интенсивного проявления болезни (более 75 %) включает страны Балтии, Северо-Запад

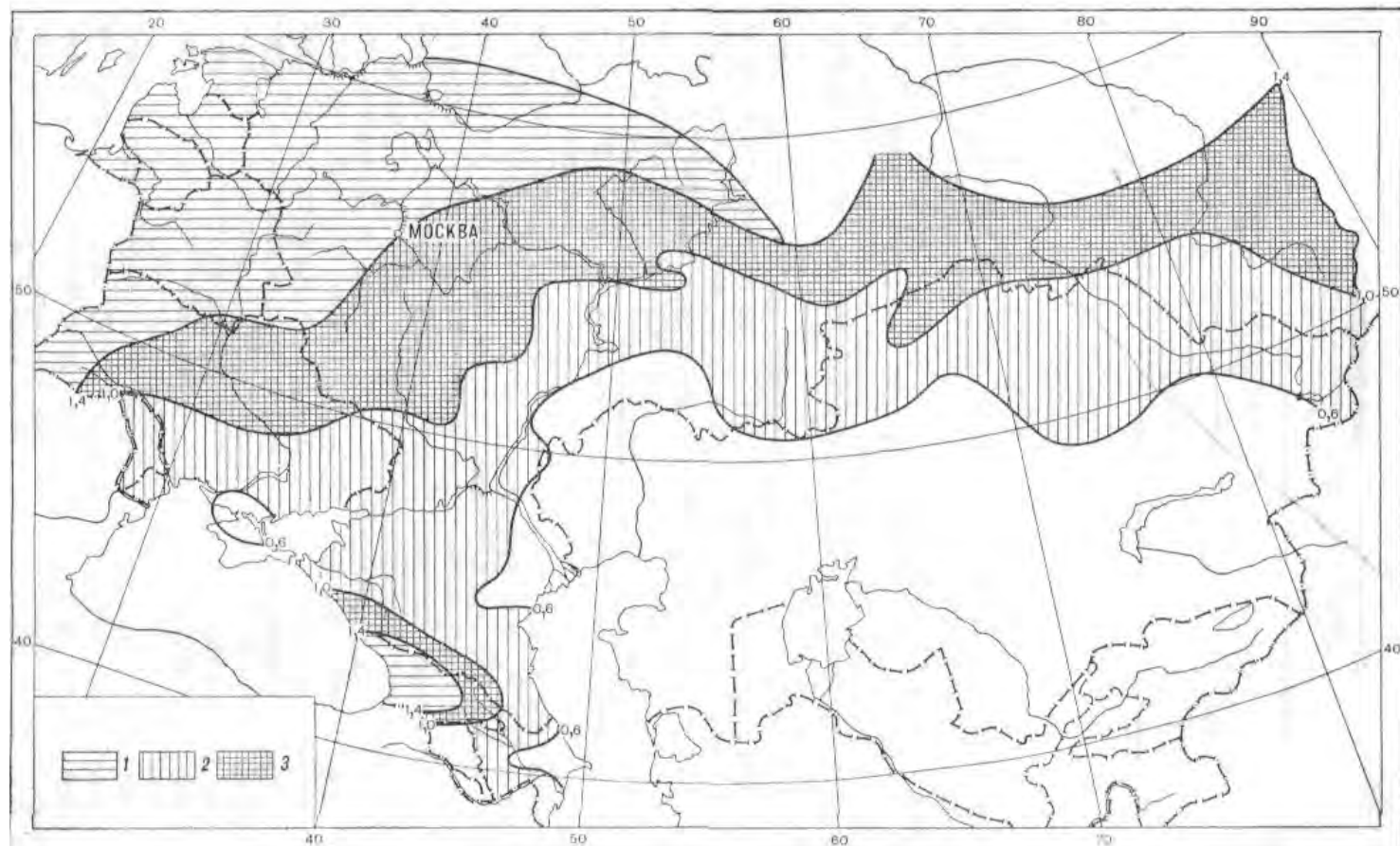


Рис 15.2 - Вероятность проявления различных типов фузариозных болезней зернобобовых культур.
 1—преобладание корневой гнили; 2—преобладание увядания растений;
 3—проявление обоих типов болезни на изолиниях даны значения ГТК.

России и Беларусь. Зона средней вероятности появления фитофторы (более 50 %) охватывает большинство областей Нечерноземной зоны России и Западной Украины, а также районы Верхнего и Среднего Поволжья.

При среднемасштабном и крупномасштабном районировании болезней культурных растений следует вводить агроклиматические показатели, чувствительные к микроклимату, способные более точно выявлять локальные очаги заболеваний на ограниченной территории (административная область, район, отдельное хозяйство). К числу таких показателей относятся: радиационные характеристики климата, суточная амплитуда температуры воздуха, дневные и ночные температуры воздуха и их суммы, влагозапасы в почве, роса [21, 56, 63].

15.3. Агроклиматическая оценка вредоносности насекомых— вредителей на территории СНГ

Агроклиматическая оценка и районирование распространения вредоносных насекомых культурных растений на той или иной территории имеет важное практическое значение для осуществления эффективных мер по защите растений от вредителей с целью сокращения потерь продукции растениеводства. Поэтому вопросы влияния агрометеорологических условий на развитие, распространение и размножение насекомых—вредителей являлись и являются предметом исследований на международном уровне. Рассмотрим в качестве модельных объектов шведскую муху и колорадского жука.

Шведская муха наносит большой вред злаковым культурам. Как указывалось выше, этот вредитель отличается высокой экологической пластичностью и поэтому широко распространен на территории СНГ. В северных районах низкие температуры воздуха весной и летом неблагоприятны для массового размножения шведской мухи. На юге высокие температуры и низкая относительная влажность воздуха являются также ограничивающими факторами. Ареал повышенной численности вредителя зависит только от климатических условий летнего периода, но и от температуры зимы. Так, если личинки шведской мухи находятся при температуре -4°C в течении трех недель, то 60 % их погибает, а суточное пребывание личинок при температуре $-8,5^{\circ}\text{C}$ вызывает их гибель на 50 %. Поэтому в районах с незначительным по высоте снежным покровом и низкими отрицательными температурами (например, в Якутии) этот вредитель перезимовать не может, хотя условия лета здесь благоприятны для его развития.

Определен показатель, характеризующий благоприятные условия существования шведской мухи. Он выражается через коэффициент увлажнения ГК, который рассчитывается по формуле:

$$\tilde{A}\tilde{E} = \frac{D}{\sum(\dot{O}_c - 5)} , \quad (15.5)$$

где P – сумма осадков (мм) за период с температурой, превышающей предел развития шведской мухи (5°C);

T_c – средняя месячная температура тех месяцев, когда она в среднем выше 5°C .

Анализ фактических материалов численности шведской мухи и составление их с рассчитанными значениями ГК по территории СНГ позволили сделать следующее заключение. Территории с показателями ГК от 4,5 до 6,5 характеризуется постоянно повышенной численностью вредителя зерновых культур; территория где ГК изменяется от 6,5 до 9,0 и от 4,5 до 3,5, характеризуется значительными колебаниями численности шведской мухи по годам. На территории, где ГК выше 9 и ниже 3, численность этого вредителя мала, здесь отсутствуют заметные повреждения растений. На основе многочисленных исследований П.С. Чесноков выполнил районирование территории бывшего СССР с выделением зон сравнительного вреда, причиняемого шведской мухой, дав при этом количественную характеристику этих зон (рис. 15.3).

В зоне I, охватывающей западные районы и Краснодарский край (ГК равен 4,5-6,5) посевы зерновых личинками вредителя заражены ежегодно. В годы массового заражения повреждение посевов шведской мухой достигает 70 %.

В зоне II (ГК равен 6,5-7,5) шведская муха ежегодно повреждает посевы ячменя и пшеницы, зараженность посевов достигает 50 – 60 %. Снижение вредоносности (по сравнению с зоной I) объясняется несовпадением сроков массовой откладки яиц с критической фазой развития зерновых, а также значительным количеством осадков в раннелетний период. В эту зону южные районы Западной Сибири и предгорные районы Северного Кавказа.

Для зоны III характерно значительное повреждение посевов только в годы массового размножения мухи. Оно обычно наблюдается 2-3 года подряд, затем идут годы депрессии. В последнем случае повреждаемость растений не превышает 8- 10%. Однако в годы массового размножения мухи повреждаемость ячменя и пшеницы возрастает до 30-40 %. Показатель увлажнения ГК в северной частим зоны равен 7-8, а в южной – 4,5-3,7.

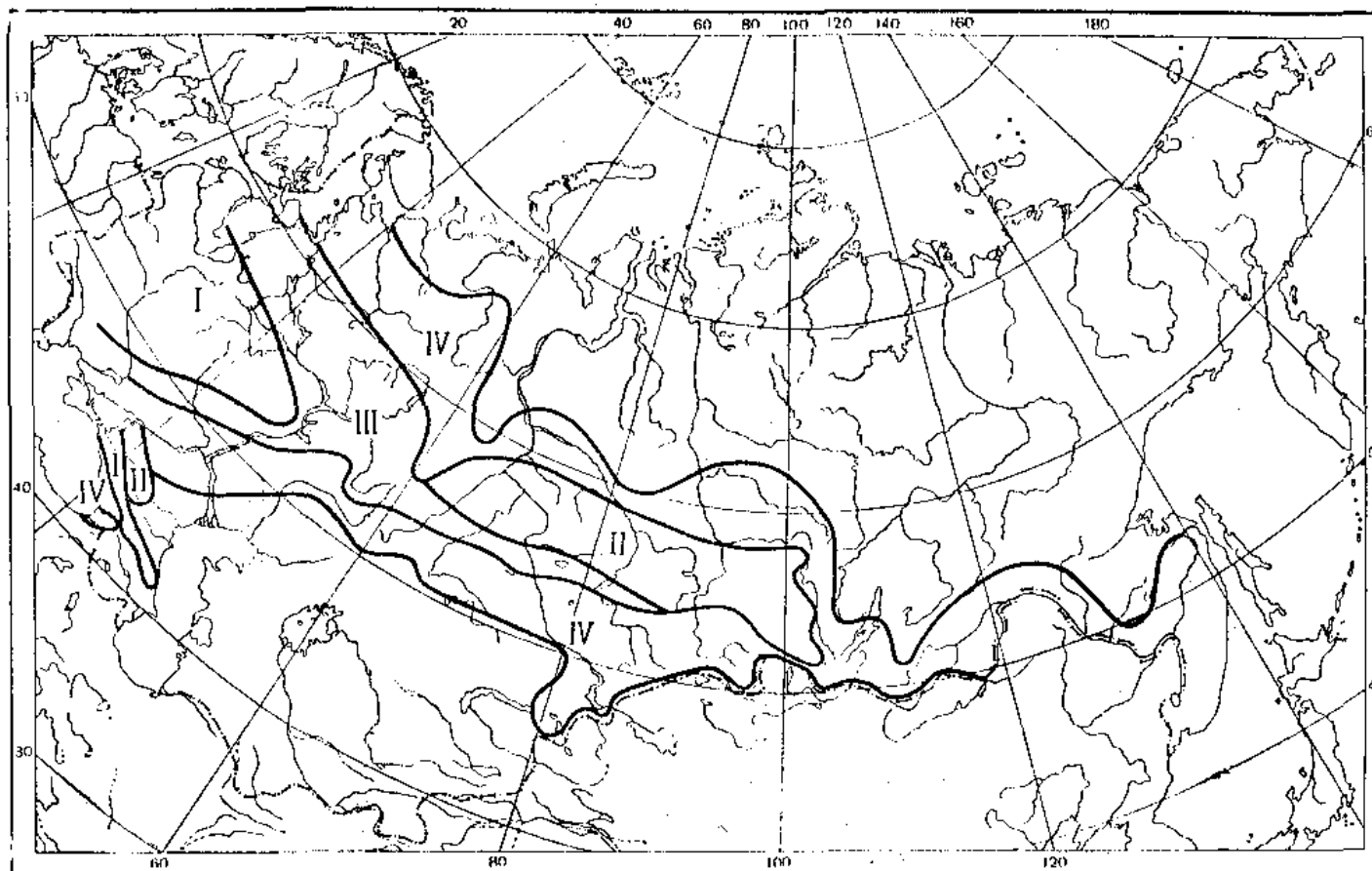


Рис.15.3 - Зоны сравнительного вреда, причиняемого шведской мухой на территории СНГ.

I–наиболее частые и сильные повреждения, II–частые и значительные повреждения,

III–сильные повреждения только в годы массового размножения, IV– зона слабого вреда.

Зона IV охватывает территорию степных районов Молдовы, Украины, России, Казахстана. Здесь ГК изменяется от 3,5 до 2,0, что характерно для засушливой и очень засушливой зоны увлажнения. Серьезных потерь урожая от шведской мухи здесь не наблюдается.

Борьбу с вредителями и, в частности, со шведской мухой ведут различными методами. Большое значение для защиты растений имеют сроки сева, так как более ранние посевы зерновых меньше страдают от шведской мухи. Внесение удобрений повышает устойчивость злаков к повреждениям этим вредителем. Снижают повреждения и правильно выбранные сроки полива на орошаемых землях, применение ядохимикатов.

Колорадский жук принадлежит к числу наиболее опасных вредителей картофеля. В настоящее время отмечается его распространение на территории Европы, США, ЕЧ России, Беларуси, Молдовы и Украины. Оптимальные условия существования и вредоносности жука складываются при довольно высоких температурах воздуха и сравнительно небольших количествах осадков. Наиболее благоприятная температура воздуха для развития яиц, личинок и куколок является температура в пределах 20-26 °С. При этом наблюдается минимальная продолжительность развития поколения - до 28-30 дней. Если же температура воздуха составляет 14-15 °С, то период развития поколения жуков увеличивается до 60-68 дней. Период от появления личинок 4-го возраста первых жуков до массового появления личинок 3-го возраста массовых жуков является оптимальным для химической обработки посевов картофеля.

Зависимость скорости размножения колорадского жука, саранчи, свекловичного долгоносика, злаковой тли от температуры среды выражают формулой вида

$$N_{\dot{a}} = \frac{\Sigma \dot{O}_{\dot{y}\dot{o}}}{(\dot{O}_{\dot{n}} - \dot{O}_{\dot{a}})}, \quad (15.5)$$

где $N_{\dot{a}}$ - продолжительность развития в днях;

$\Sigma \dot{O}_{\dot{y}\dot{o}}$ - сумма эффективных температур воздуха, необходимая данному насекомому для развития;

T_c - средняя суточная температура развития;

$T_{\dot{a}}$ - температура нижнего предела развития насекомого-вредителя. Однако агроклиматическая оценка условий развития и вредоносности насекомых имеет свою специфику и соответствующий набор показателей.

Для агроклиматической оценки развития колорадского жука можно использовать метод, разработанный А.С. Подольским [95]. Метод фенологического прогноза и биоклиматических оценок заключается в графическом решении системы из двух семейств довольно сложных эмпирических уравнений, из которых одно характеризует тепловые

ресурсы географического района, другое – тепловые потребности биологического объекта, т.е. развитие насекомого – вредителя.

Уравнение тепловых потребностей задается в виде эмпирической кривой, связывающей продолжительность в днях (N_d) того или иного периода развития вредителя со средней температурой конкретного периода (фенологическая кривая). Уравнение тепловых ресурсов задается в виде линии, которая выражает собой закон изменения среднепериодной температуры воздуха (T_c) в годовом цикле в зависимости от продолжительности периодов, отсчитываемых от единой даты. Разные исходные даты дают семейство линий, которые, пересекаясь, образуют сетку среднепериодных температур для средних многолетних условий.

При графическом решении задачи составляется термо-фенологическая номограмма для конкретного пункта наблюдений. С помощью номограммы определяется период наиболее благоприятный для организации защиты растений от колорадского жука. Недостатком изложенного метода является трудоемкость, что затрудняет его использование для географических обобщений.

В.В. Вольвач [21] провел комплексное исследование по установлению динамики численности колорадского жука в зависимости от метеорологических условий. Установлено, что начало устойчивого выхода жуков весной из почвы совпадает с устойчивым переходом средней суточной температуры воздуха через 10°C .

Поведение жуков после выхода зависит от их физиологического состояния и условий окружающей среды. До начала яйцекладки перезимовавшие жуки должны восстановить свое физиологическое состояние, свойственное им в период активности. Длительность этого периода (U_ϕ , дни) также тесно связана с температурой воздуха и календарным сроком выхода жуков из почвы. Она может быть рассчитана применительно к территории ЕЧ СНГ по уравнению.

$$\dot{O}_\phi = 0,224\dot{O}_n^2 - 8,74 \cdot \dot{O}_n + 4,15\Delta\tau + 94,6, \quad \bar{S}_\phi = \pm 3,4\ddot{a}\ddot{y} \quad (15.7)$$

где T_c - средняя за период температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$);

$\Delta\tau$ - средняя ошибка уравнения.

Корреляционное отношение (r_k) равно 0,92.

Колорадский жук в различных частях своего ареала развивается от одной до трех генераций. Температура воздуха порядка $11-12^{\circ}\text{C}$ составляет нижний порог развития. Однако развитие полной генерации отмечается при температуре не ниже $13-14^{\circ}\text{C}$. В этих условиях развитие вредителей летней генерации происходит за 80-70 дней, а при температуре $23-24^{\circ}\text{C}$ за 30 дней. Анализ показал, что зависимость продолжительности развития взрослых жуков летней генерации (U_e) с

достаточной степенью точности можно выразить уравнением параболы второго порядка, которое имеет вид

$$\dot{O}_{\tilde{\alpha}} = 0,378\dot{O}_{\tilde{n}}^2 - 18,54 \cdot \dot{O}_{\tilde{n}} + 253,7, \quad \bar{S}_{\tilde{\alpha}} = \pm 3,6\ddot{a}\ddot{y} \quad (15.8)$$

Корреляционное отношение (r_k) равно 0,93. Это уравнение позволяет определить продолжительность развития вредителя при изменении температуры воздуха от 14 до 24 °С на территории ЕЧ СНГ.

Для расчета и прогноза сроков созревания молодых жуков для районов, где второе поколение вредителя успевает полностью завершить цикл своего развития (Молдова, Северный Кавказ, Украина) можно использовать уравнение вида:

$$\dot{O}_{\tilde{\alpha}} = 79,9 - 0,46 \cdot \dot{O}_{\tilde{n}} - 0,062\tau, \quad \bar{S}_{\tilde{\alpha}} = \pm 2,6\ddot{a}\ddot{y} \quad (15.8)$$

где T_c – средняя за период температура воздуха, °С;

τ – длина дня (в минутах) на дату выхода жуков из почвы.

Оптимальные условия для жизнедеятельности имаго колорадского жука складываются при температуре около 25 °С и относительной влажности воздуха 60-75 %. Неблагоприятными для размножения вредителя являются температура выше 27 и ниже 14 °С, а относительной влажности воздуха выше 80 % и ниже 40 %.

В конечном итоге В.В.Вольвач разработал модель динамики развития популяций колорадского жука и выполнил на её основе биоклиматическую оценку ареала вредителя на территории СНГ. Отличительной особенностью модели является учет физических факторов среды и их влияния на динамику численности вредителя и соответственно на основные характеристики жизнедеятельности особей – продолжительность развития, плодовитость и гибель за период активной жизнедеятельности и зимовки.

В качестве интегрального показателя влияния климата на основные характеристики динамики численности популяций колорадского жука предложен экологический коэффициент размножения (K_p) и его логарифм ($\ln K_p$). Соответствующие расчеты показали, что в пределах территории СНГ значения K_p изменяются от 0,2-0,5 на севере и северо-западе до 40-50 на юге и 70-80 на юго-востоке. На рис. 15.4 представлена мелкомасштабная карта географического распределения K_p и $\ln K_p$ на территории ЕЧ СНГ. Во внимание принимался теоретический вывод особенностей динамики популяций при узловых значениях коэффициентов, т.е. $K_p = 1,0$; $>1,0$ и $<1,0$ или в логарифмическом масштабе $\varepsilon = 0,0$; $>0,0$ и $<0,0$.

На карте выделено пять биоклиматических зон характеризующих географические различия условий развития, размножения и вредоносности

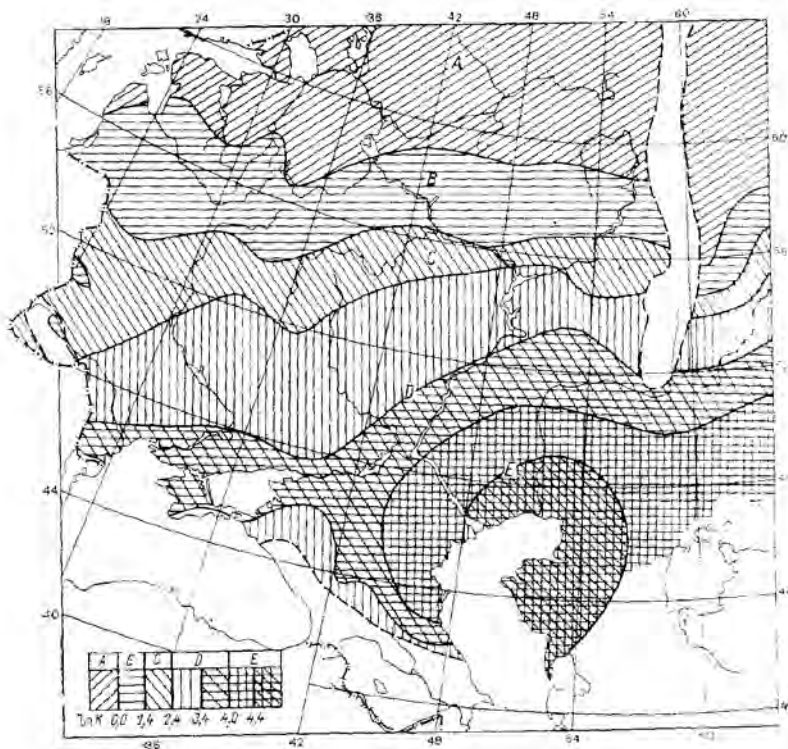


Рис. 15.4 – Биоклиматические зоны условий развития, размножения и вредоносности колорадского жука на территории ЕЧ СНГ.

колорадского жука. К первой зоне (А) относятся северные районы, где коэффициент размножения меньше 0,0 и эта территория неблагоприятна для развития жука как вида. Территория с $\ln K_p$ в пределах от 0,0 до 1,4 выделена в зону (В) с пониженной вредоносностью колорадского жука. Территория, расположенная к югу от изолинии $\ln K_p = 1,4$, характеризуется благоприятными для увеличения численности вредителя условиями. В её пределах выделены три зоны – (С, Д, Е) с последовательным повышением благоприятности климатических условий для размножения жука в направлении к югу и юго-востоку.

В зоне (С) $\ln K_p$ изменяется от 1,4 до 2,4 и здесь с вероятностью 20 % возможно сохранение численности популяций жука на постоянном уровне. Наиболее обширную территорию занимает зона (Д), где $\ln K_p$ изменяется от 2,4 до 4,0 (степная засушливая зона). Здесь рост численности популяций вредителя имеет непрерывный характер и высока его вредоносность. К зоне (Е) при $\ln K_p$ более 4,4 относятся районы очень засушливые, расположенные на крайнем юго-востоке (они охватывают Прикаспийскую низменность). По климатическим условиям это наиболее благоприятная зона для развития и размножения колорадского жука.

Раздел V. МЕТОДЫ КАРТИРОВАНИЯ И АГРОКЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИЯХ РАЗНОГО МАСШТАБА

Глава 16. РАЗНОМАСШТАБНОЕ КАРТИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

16.1. Методы пространственного обобщения агроклиматической информации. Виды и масштабы карт

Картирование климатических и агроклиматических показателей позволяет по точечным наблюдениям отдельных станций дать пространственное распределение изучаемых элементов или их комплексов на той или иной территории. В этом заключается основное преимущество агроклиматических карт, с помощью которых агроклиматологии могут выйти на непосредственное обслуживание сельского хозяйства и способствовать этим дальнейшему его развитию. Детальный учет физико-географических и климатических особенностей территории в сельском хозяйстве необходим для решения многих задач. Так, например, для правильного планирования сельскохозяйственного производства, рационального размещения культурных растений наряду со сведениями о плодородии земли в небольшом районе или отдельном хозяйстве нужно знать их агроклиматические условия.

Целевое назначение климатической или агроклиматической карты состоит в том, что с их помощью можно получить методом интерполяции между изолиниями количественную информацию в точках, где отсутствуют метеорологические наблюдения. Принципы составления климатических и агроклиматических карт одинаковы, причем методика картирования отдельных характеристик климата была детально разработана еще при составлении климатических карт. Развитие теории картирования началось в России в начале прошлого века и связана с именами известных климатологов – А.И. Воейковым и А.В. Веселовским. К этому времени была разработана теория построения карт температуры воздуха, приведенных к уровню моря.

Определение вертикальных градиентов (изменение температуры на 100м абсолютной высоты над уровнем моря) было предметом многочисленных исследований. Сначала было определено, что вертикальный температурный градиент составляет $0,4 - 0,5^{\circ}\text{C}$ на 100м высоты. Последующие исследования показали, что вертикальный градиент температуры не остается постоянным как во времени, так и в пространстве. Кроме того, выяснилось, что климатические карты,

приведенные к уровню моря, не отражают мощное влияние рельефа и других неоднородностей деятельной поверхности на перераспределение ресурсов климата в пространстве. Поэтому в дальнейшем стали составлять климатические и агроклиматические карты для естественной подстилающей поверхности, т.е. не приведенные к уровню моря.

Значительный вклад в развитие методов картографирования элементов климата, а также агроклиматических показателей внесли И.А. Гольцберг, О.А. Дроздов, Г.Т. Селянинов, Ф.Ф. Давитая, З.А. Мищенко и др. [7, 27, 50, 63, 93, 124]. К настоящему времени климатические и агроклиматические ресурсы континентов и отдельных стран изучены достаточно полно. Агроклиматические карты, характеризующие тепловые ресурсы, условия заморозков и морозоопасности, режим увлажнения в том или ином виде широко представлены во всех физико-географических атласах и в ряде специальных. К их числу относятся: "Климатический атлас СССР", "Атлас теплового баланса", "Атлас водного баланса", "Агроклиматический атлас Мира".

Существует несколько типов карт.

1. Точечный тип карт чаще всего принимается в сельском хозяйстве. Например, точечные карты посевов пшеницы или свеклы, или вообще площадей сельскохозяйственных угодий. На таких картах размер точки пропорционален площади посева культуры. Чем больше площадь, тем крупнее размер точки.
2. Диаграммный тип карты широко применяется в климатологии и агроклиматологии. В этом случае на карту для каждого конкретного пункта наносится диаграмма в виде графика (например, роза ветров) или столбиком (например, осадки по сезонам, ГТК). Распределение диаграммы дает географическое представление о режиме ветра и о преобладающих ветрах (скорость и направление), в этом числе вредных для сельского хозяйства. Карта, на которой изображены диаграммы в виде столбиков, характеризующих количество осадков или величину гидротермического коэффициента за отдельные месяцы, позволяет выявить территориальные особенности режима увлажнения в сезонном разрезе.
3. Карта, построенная методом изолиний. Изолиния – это линия одинаковых значений некоторой скалярной величины (изотерма, изобара, изогипса и пр.). Большинство климатических и агроклиматических карт составляются этим методом. Такая карта характеризует непрерывное изменение картируемого элемента, что соответствует фактическому распределению элементов климата в пространстве. Климатическая и агроклиматическая карта, построенная методом изолиний дает наглядное представление об основных пространственных закономерностях климата.

4. Составление карт с выделением площадей. Наиболее часто этот метод применяется при классификации климатов, когда в пределах выделенных территорий, климатические или агроклиматические ресурсы определяются как однородные и этот факт находит отражение в количественной легенде, которая прилагается к такой карте. Широко применяется указанный метод выделения однородных площадей на мезо и микроклиматических картах, если последние составляются на морфометрической или почвенно-ландшафтной основе.

Возможная детализация на карте любого климатического показателя определяется: степенью изученности картируемого элемента; характером изменчивости его в пространстве; густотой метеорологической сети станции; наличием картографических основ (гипсометрическая карта, морфометрические карты рельефа, почвенная карта) для изображения на рабочей карте изучаемого показателя на уровне земной поверхности. Существенными факторами являются также размеры исследуемой территории и конкретные требования науки и практики для удовлетворения которых составляется карта.

Методика составления карт определяется их масштабом, по которому все карты условно можно разделить на три группы.

1. **Мелкомасштабные карты** (масштаб от 1 000 000 до 7 500 000 и мельче). На этих картах отражается изменение отдельных климатических показателей под влиянием основных физико-географических факторов – широта и долгота места, высота над уровнем моря. При вышеуказанных масштабах рабочих карт на 1 см² можно изобразить территорию в 10-75 км². Поэтому в таком масштабе составляются карты для больших территорий. Минимальным масштабом рабочей карты, на которую наносятся цифровые данные для проведения изолиний, считают 1:40 000 000 для мировых карт и 1:20 000 000 для карт континентов или крупных стран.
2. **Среднемасштабные карты.** Сюда условно относят карты, выполненные в рабочем масштабе менее 1:1000000. Наиболее часто применяют картографические основы в масштабах от 1:750 000 до 1:100 000. На таких картах можно с точностью до 7,5-1 км² или 750-100 га изобразить влияние на климат крупных форм рельефа, больших водоемов, основных почвенных разностей. Они являются промежуточными между макро и микроклиматическими картами и составляются для климатичности достаточно хорошо изученных, относительно небольших территорий (административной области, района). Данные стандартной сети метеорологических станций дополняются климатическими расчетами, а в ряде случаев и

экспериментальными данными. Также карты обычно составляются для решения ряда практических задач.

3. **Крупномасштабные карты.** К ним относят карты, выполненные в масштабах 1:5000-1:10000 и до 1:25000. В этих масштабах обычно составляются планы хозяйства с указанием на них размещения сельскохозяйственных культур, а также детальные почвенные карты. На этих основах, дополненных гипсометрией, составляются микроклиматические карты, на которых с точностью в 0,5-2,5 га можно изобразить пестроту реальных агроклиматических ресурсов на площади в 2-5 тысяч гектар, охватывающей территорию отдельного хозяйства или крупной формы. Составление таких карт сопровождается применением расчетных методов в сочетании с микроклиматическими съемками на местности.

Агроклиматические карты могут составляться как ручным способом, так и с помощью ЭВМ. В последние годы проводятся исследования по ЭВМ – картированию отдельных показателей теплового режима, условий увлажнения, фенологических характеристик и некоторых комплексов [38, 70, 85, 124]. При этом применяют различные методические подходы. Наиболее перспективным для этой цели является метод распознавания образов. Однако, полученные результаты следует рассматривать как поисковые. Широкое применение ЭВМ-картирования агроклиматических показателей в разном масштабе потребует разработки соответствующих методик по обоснованию выбора исходных показателей природной среды и использованию необходимой агроклиматической информации с технических носителей. А для этого надо располагать банком данных о климате, дополненных исследованиями по микроклимату, и банком необходимых картографических основ.

16.2. Методика составления мелкомасштабных агроклиматических карт

Методика и техника составления климатических и агроклиматических мелкомасштабных карт одинакова. Для составления их используются средние многолетние данные метеорологических станций. В случае наличия небольшого ряда наблюдений все данные приводятся к одному длиннорядному периоду. О методах приведения сказано в главе 2. В последние годы на картах изображают также вероятностные характеристики тех или иных показателей климата. Суть методики при мелкомасштабном картировании заключается в выявлении основных закономерностей изменения того или иного показателя климата в макромасштабе под влиянием широты, долготы и высоты места.

Составитель карты должен быть хорошо подготовлен теоретически и умело использовать свои знания при вычерчивании изолиний.

После нанесения тушью на гипсометрическую карту цифрового материала проводится тщательный анализ всех данных, по паспортам устанавливается репрезентативность отдельных станций. Станции, расположенные в особых условиях, обычно хорошо выделяются уже при беглом просмотре данных, нанесенных на карту. После того как выяснены причины, вызывающие отклонение данных отдельных станций от общего фона, и определена репрезентативность их, приступают к вычерчиванию изолиний. Последнее нельзя делать механически, пользуясь лишь линейной интерполяцией между данными отдельных станций.

При вычерчивании изолиний надо учесть все известные физико-географические особенности района и использовать их для составления карты. На рис. 16.1 приведен пример составления карты изотерм января для района Аральского моря по одним и тем же данным. На рис. 16.1а изолинии проведены механически с использованием лишь метода линейной интерполяции, а на рис. 16.1б учтено тепляющее влияние моря на побережье. При использовании одних и тех же данных карты изотерм существенно различаются. Правильный учет физико-географических особенностей района обеспечивает достаточно высокую точность при проведении изолиний на климатической или агроклиматической карте.

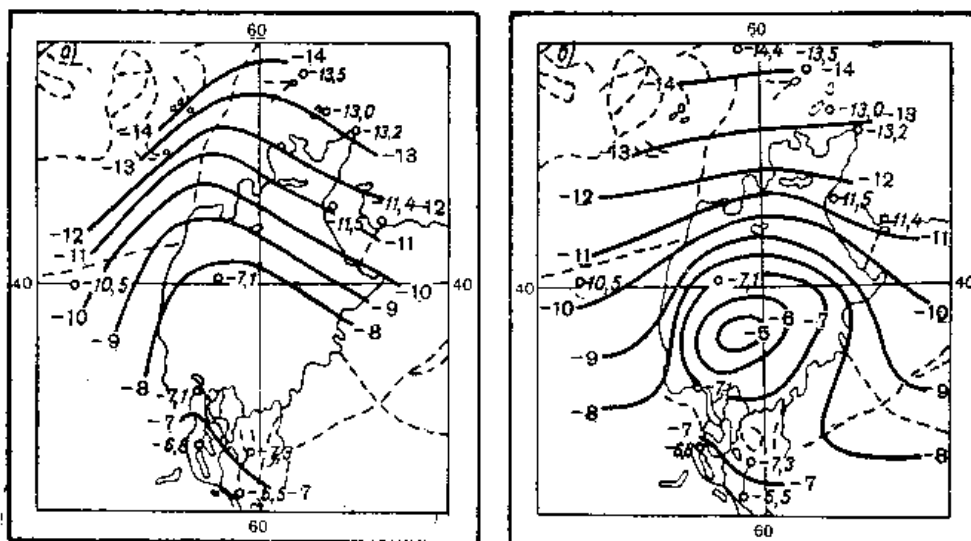


Рис. 16.1 - Изотермы января для района Аральского моря.
а – линейная интерполяция, б – то же с учетом физико-географических условий.

При проведении изолиний всегда надо помнить о масштабе карты. Из-за “недостатка места” на мелкомасштабных картах трудно с подробностью изобразить изменения показателя климата с высотой места и невозможно показать влияние морей на прибрежные территории, а также микроклимата.

Существенным вопросом построения карт климатических элементов является выбор интервала, через который будут проведены изолинии. Основным критерием при выборе должна быть изменчивость картируемого элемента в пространстве. Интервалы для проведения изолиний на карте определяются с таким расчетом, чтобы колебания картируемой величины по отдельным станциям укладывались между изолиниями.

При малой изменчивости картируемых характеристик климата изолинии вычерчиваются с учетом данных всех станций и физико-географических особенностей района. Поэтому для равнинных территорий, например, изотермы, характеризующие теплое время года, можно вычерчивать через 1°C , а в зимнее время в связи с большей изменчивостью этого элемента, наиболее подходящими является интервал между изолиниями в 2°C .

Чаще всего на картах сумм температур воздуха выше 10°C в равнинных условиях изолинии проводят с интервалом в 200°C , а в горных районах он увеличивается до 400°C . На агроклиматических картах продолжительности теплого периода с T_c выше 5°C или 10°C , а также длительности беззаморозкового периода изолинии проводят с интервалом в 10-15 дней. Выбор интервала при проведении изолиний на климатических картах осадков зависит от характера деятельной поверхности. Например, Ц.А. Швер [117] на картах Σt за отдельные месяцы для территории СНГ выбран интервал от 25 до 50 мм. На годовой карте количества осадков на ЕЧ СНГ взят интервал в 100 мм, а в ряде районов Восточной Сибири со сложной орографией он увеличился до 200 мм (рис. 16.2).

Одним из ответственных этапов составления климатических и агроклиматических карт является определение высотных и широтных градиентов картируемых характеристик, позволяющих рассчитать место и высоту проведения изолиний на карте. Необходимо рассчитывать конкретные высотные градиенты для отдельных горных систем, разных экспозиций, разных высотных горизонтов. Высотные градиенты (изменение элемента климата на 100 м высоты места) вычисляют двумя методами: а) пар станций при этом рассматривают значения элемента на фиксированной высоте в горах и на равнинном участке в предгорье; б) путем группировки данных наблюдений станций по фиксированным высотам с учетом экспозиции горных хребтов.

Далее строятся графики зависимости того или иного показателя климата от абсолютной высоты над уровнем моря, а в случае необходимости и от широты места. С их помощью более надежно можно определить высотный градиент а также высоты прохождения изолиний в горах. При использовании метод пар станций высоты прохождения изолиний в горах, например, для температуры воздуха летом или количества осадков можно определить по формулам вида:

$$T_{hi} = T_h - \frac{(h_i - h) \cdot \Delta T}{100} \quad (16.1)$$

$$\Sigma r_{hi} = \Sigma r_h \pm \frac{(h_i - h_0) \cdot \Delta \Sigma r}{100}, \quad (16.2)$$

где T_{hi} и Σr_{hi} – температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$) и количество осадков на основной высоте;

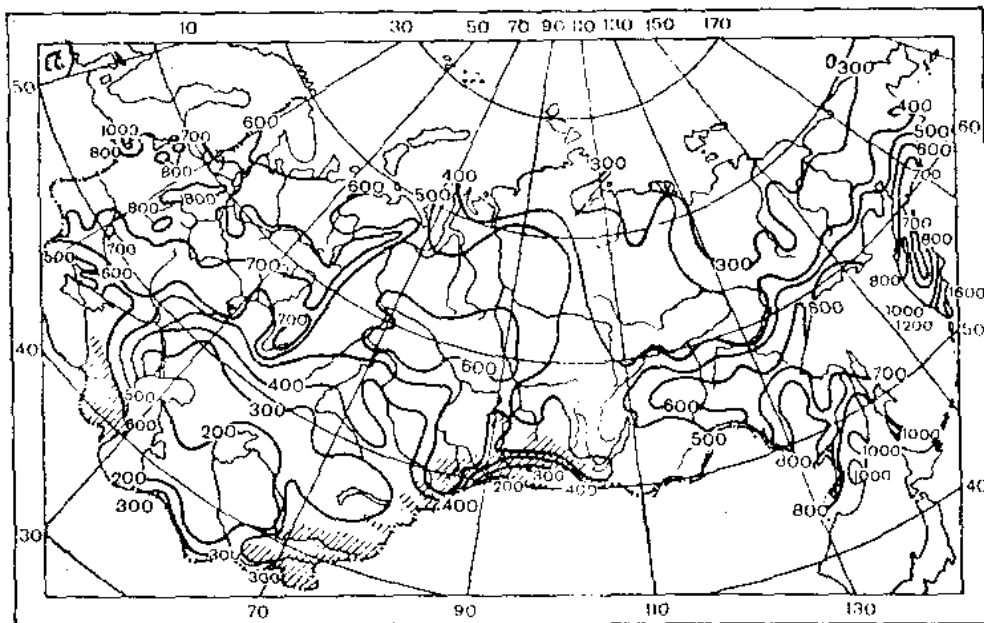
T_h и Σr_h – то же на равнинном участке в предгорьях;

ΔT , $\Delta \Sigma r$ – изменение показателей на 100 м высоты, т.е. высотные градиенты.

Летом средняя месячная температура воздуха с высотой везде уменьшается на 0,5-0,9 на 100 м. Суммы температур воздуха выше 10 $^{\circ}\text{C}$ соответственно уменьшаются на 120-180 $^{\circ}\text{C}$ на 100 м высоты, а продолжительность периода с этой температурой - на 6-8 дней на 100 м. Высотный градиент для зимних температур наружного воздуха значительно изменяется в зависимости от горной страны и степени континентальности климата. По данным З.А. Мищенко [63] на южном склоне Большого Кавказа в слое 0,5-2 км высоты он равен – 0,6,-0,7 $^{\circ}\text{C}$, а в слое 2-3 км не превышает – 0,45 $^{\circ}\text{C}$. На северном склоне Большого Кавказа высотный градиент имеет положительное значение в слое 0,5-1,5 км, (т.е. наблюдается повышение температуры на 0,5 $^{\circ}\text{C}$ на каждые 100 м высоты). Выше в слое 1,5-3 км начинается падение температуры с высотой на -0,4,-0,45 $^{\circ}\text{C}$ на 100 м. На Тянь-Шане и Памире картина осложняется и там необходимо учитывать высотный градиент для каждой экспозиции горных хребтов.

Проведение изолиний в горах связана с учетом высоты, которая на картах мелкого масштаба изображается очень схематично. Снять с такой карты с достаточной точностью значения показателя климата для определенного пункта в горах невозможно. Для этой цели по графикам зависимости между, например, средним из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ($\bar{T}_m$) или температурой самого холодного месяца ($\bar{T}_x$) и абсолютной высотой над уровнем моря

а)



б)

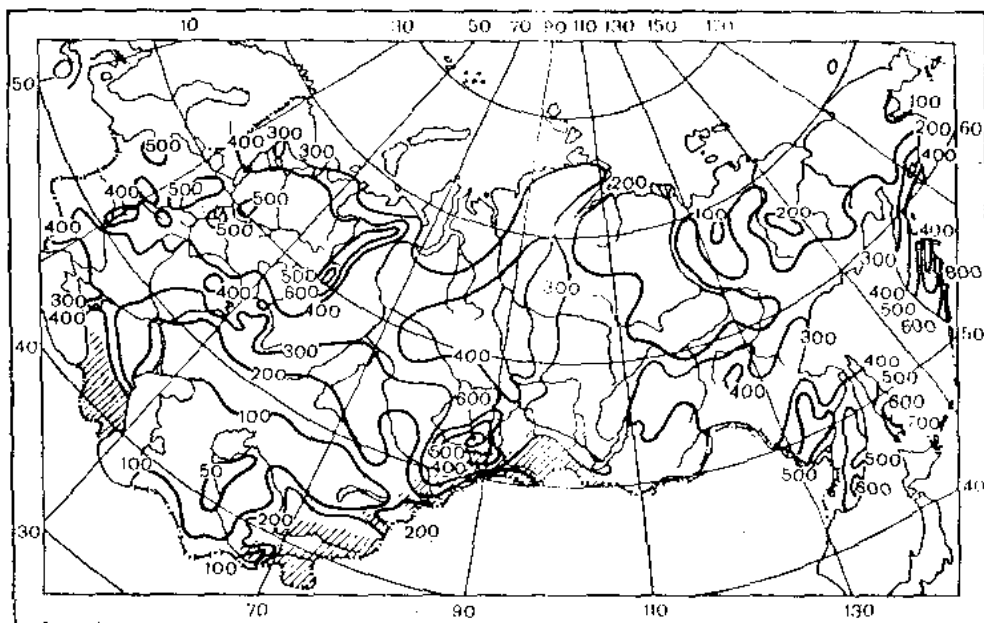


Рис. 16.2 – Годовое количество осадков (мм) на территории СНГ:
а) наибольшее 10 %-й обеспеченности; б) наименьшей 90 %-й обеспеченности.

составляются соответствующие таблицы высот прохождения изолиний в горах. Как видно из табл. 16.1 высоты прохождения изолиний в горах Тянь-Шаня и Памира значительно изменяются в зависимости от экспозиции хребтов и широты места. Также данные в виде табл. 16.1 могут использоваться для вычерчивания изолиний в горах расчетным путем.

Методика составления карт количества осадков, показателей увлажнения, запасов продуктивной влаги в почве, фенологических явлений, характеристик солнечной радиации принципиально не отличается от техники составления карт термических показателей. Но есть и своя специфика. Например для обеспечения неслучайного проведения изолиний количества осадков необходимо, чтобы интервал между ними в 2 раза превышая среднюю ошибку климатической нормы. Поскольку абсолютная ошибка возрастает с увеличением количества осадков применяется комбинация геометрической и равномерной шкал, при которой каждый интервал геометрической шкалы делится на несколько равных частей. Таким образом была получена, предложенная О.А. Дроздовым [50] и ныне широко применяется при картировании осадков, шкала следующего вида: 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600 мм и т.д. Основные изогеты здесь подчеркнуты.

Влияние рельефа проявляется в увеличении осадков с высотой по склону по сравнению с равниной, в резком уменьшении осадков в закрытых от влагонесущих ветров долинах. Для горных территорий определяются плювиографические градиенты с учетом экспозиции хребтов, а также по отдельным высотным горизонтам. Для этих целей строятся графики зависимости количества осадков Σr от абсолютной высоты над уровнем моря. При общей закономерности увеличения осадков с высотой места могут быть различные варианты. Например, в высокогорьях на вершинах количество осадков уменьшается.

На наветренных и подветренных склонах может быть разный вид кривых зависимости Σr от высоты места. Так, в Заилийском Ала-Тау перпендикулярным влагонесущим северо-западным ветрам осадки быстро нарастают от предгорий до 1500 м, а затем медленно до 2400 м высоты, далее имеет место резкий спад к 3000 м, затем опять осадки возрастают (т.е. имеют место два максимума осадков). Следует иметь в виду, что плювиографические градиенты осадков зависят не только от особенностей сложного рельефа, но и от общегеографического положения того или иного района. Например на Урале в зоне сухих степей высотный градиент годовых осадков составляет 17 %, в лесной и лесостепной зонах – 20 %, а в северной таежной зоне осадки увеличиваются на 23 % на 100 м высоты.

Методические подходы к построению мелкомасштабных карт распределения запасов продуктивной влаги в почве (W) изложены в опубликованных работах С.В. Вериги и Л.А. Разумовой [19],

Таблица 16.1 – Высота прохождения изолиний зимних температур ($^{\circ}\text{C}$) наружного воздуха ($\bar{T}_{\text{мин}}$, $\bar{T}_{\text{х}}$) в горах Кавказа, Тянь-Шаня и Памира

Горная система	Широта, φ°	Термические характеристики холодного периода ($\bar{T}_{\text{мин}}$, $\bar{T}_{\text{х}}$), $^{\circ}\text{C}$							
		-12, -9	-16, -13	-20,-16, -17	-24,-20, -21	-28,-24, -25	-32, -28	-36, -32	-40, -36
Малый Кавказ	39-42	600	1200	1900	2600	3300	—	—	—
Южный склон Большого Кавказа	41-43	400	1050	1600	2300	3000	3700	—	—
Северный склон Большого Кавказа	43-44	—	—	900 ¹ , 1500 ²	200 ¹ , 2250 ²	3000	3700	—	—
Южные склоны Зеравшанского, Заалайского хребтов и Памира	37-39	—	1050	1850	2550	3150	3800	4450	5100
Северные склоны Туркестанского, Зеравшанского и Алтайского хребтов	39-40	—	—	2100	2950	3600	4200	4800	5400
Южные склоны Таласского и Ферганского хребтов	40-42	—	—	500	1900	2800	3500	4200	4900
Северные склоны хребтов Таласского и Заилийского Алатау	42-44	—	—	1800	1000 ¹ , 2350 ²	400 ¹ , 2900 ²	3400	3900	4400

Примечание: 1. Нижняя граница температурной инверсии. 2. Верхняя граница инверсии.

Л.Е. Кельчевской [40], В.А. Сенникова и А.П. Сляднева [81]. Картирование влагозапасов в почве по территории выполняется после нанесения значений W (фактических и расчетных) на почвенную карту с указанием высоты места, а также анализа влияния рельефа и других факторов на их величину. Необходимо хорошо знать: а) почвенный покров изучаемой территории и его агрогидрологические свойства; б) закономерности формирования почвенной влаги в осенне-зимний или весенне-летний период; в) особенности рельефа местности и естественной растительности; г) климатические и микроклиматические условия, в особенности распределение осадков в весенне-летний период и снежного покрова зимой.

Предварительно перед картированием станции с данными о влагозапасах должны быть сгруппированы по типам почв с учетом их механического состава. Это позволяет установить возможные колебания влажности почвы внутри почвенных разностей, а при больших различиях в W – выявить причины этих колебаний. Картирование осуществляется для конкретной культуры с учетом предшественника. Макрорайоны на любой карте выделяются методом проведения изолиний или путем выделения однородных площадей по типу почвы и ее механического состава. Интервал между изолиниями выбирается равным: 10 мм для слоя почвы 0-20 см и 0-50 см; 25 мм – для слоя 0-100 см.

Фенологические карты находят широкое применение при оценке агроклиматических условий территории, а также используются в качестве индикаторов начала полевых работ и для других целей. Принцип и способы фенологического картирования в достаточной степени разработаны и применены в работах В.А. Батманова, Е.В. Бессоновой, Н.И. Гук, Н.В. Гулиновой, Л.С. Кельчевской, Г.Э. Шульца, Ф. Шнелле. Фенологическая изменчивость на территории может быть представлена в виде различных фенологических карт.

Карты отдельных фенологических карт. На них наносят средние даты наступления определенной фазы развития конкретной культуры или растения и изолиниями отделяются территории, где данная фаза наступает в одно и то же время, т.е. проводятся изофены – линии одинаковых дат наступления фазы. По этой карте можно снять среднюю дату наступления фазы развития конкретного растения.

Карта продолжительности фенологического явления. На карту наносят продолжительность межфазного периода, вычисленной по каждому пункту и проводят изолинии методом интерполяции.

Карта феноаномалий. На карту наносят отклонения фенодат от средних значений, наблюдающиеся в отдельные годы, или наибольшие отклонения от средней даты, за весь период наблюдений.

Для составления перечисленных карт в мелком масштабе необходимо хорошо знать закономерности распределения фенологических процессов

на исследуемой территории. До проведения изолиний на равнинной территории рассматривается изменчивость темпов развития растений от широты места при равной долготе, затем она анализируется в зависимости от долготы. При этом строятся графики зависимости фаз развития от широты местности на определенной долготе. Для территорий с холмистым и горным рельефом составляются графики зависимости сроков наступления фаз развития конкретной культуры от широты и высоты места [28,119]. С их помощью определяются высотные градиенты и высоты прохождения изофен в горах.

Развитие растений находится в прямой зависимости от количества тепла, поступившего на рассматриваемую территорию, а также от размаха суточных колебаний температуры воздуха. Установлено, что темпы развития растений замедляются с продвижением на север, а с продвижением с запада на восток СНГ – ускоряются на 1-2 недели. Например, при продвижении на север на каждый градус широты цветение яблони запаздывает на 2,5 суток, колошение яровой пшеницы запаздывает на 1,5-2,0 суток. При продвижении в горы темпы развития растений замедляются. При этом необходимо учитывать экспозицию хребтов. Известно, что темпы развития сельскохозяйственных культур на южных склонах ускоряются, а на северных – замедляются на одной и той же высоте (различия могут составлять 1-2 недели).

Выбор интервала при проведении изофен зависит от густоты сети станций, от масштаба фенологических карт, а также от изменчивости картируемого показателя в пространстве. На картах в рабочем масштабе 1:5 000 000 и до 1:2 500 000 изолинии проводят с интервалом в 10-5 дней на равнинных территориях. В отдельных случаях на картах более крупного масштаба (1:1 500 000) и для небольших территорий, в пределах административной области, можно уменьшить интервал до 2-3 дней. Такой интервал является предельным и может быть использован только при густой сети станций. Из-за «недостатка места» на карте в горных районах приходится увеличивать интервал между изофенами до 10-15 дней (минимальный интервал может быть равен 4-6 дням).

Из других методов фенологического картирования известен аналитический метод, предложенный В.А. Батмановым [41]. По его методу карты строятся с учетом координат и высоты места по данным, полученным путем статистической обработки фенологических материалов. Используя уравнение связи сроков наступления явления Y с широтой φ , долготой λ и высотой над уровнем моря h , он построил карты дат цветения черемухи и колошение яровой пшеницы на Урале и цветения вишни на территории СНГ. Для этого территория на гипсометрической карте разбивалась на ряд небольших предельных площадей. Для каждой площади рассчитывалась средняя многолетняя фенодата $\bar{B}$ и уравнение

регрессии, по которому определялась многолетняя дата для каждой станции.

Зависимость наступления того или иного явления от географических факторов Батманов выразил уравнением вида:

$$Y = \bar{B} + K_1(\varphi_i - \bar{\varphi}) + K_2(\lambda_i - \bar{\lambda}) + K_3(h_i - \bar{h}), \quad (16.3)$$

где Y - дата наступления явления на наблюдательном участке;

$\bar{A}$ - средняя дата на исследуемой территории;

$\bar{\varphi}, \bar{\lambda}, \bar{h}$ - средняя широта, долгота и высота над уровнем моря, вычисленная по территории из широт, долгот высот всех пунктов;

$\varphi_i, \lambda_i, h_i$ - широта, долгота и высота конкретных пунктов наблюдений;

K_1, K_2, K_3 - коэффициенты уравнения регрессии.

Приняв за основу метод В.А. Батманова, Л.С. Кельчевская и О.Н. Нестеренко [41] разработали методику обработки материалов для фенологического картирования в мелком масштабе с помощью ЭВМ. По этой методике авторы построили фенологические карты даты колошения озимой ржи и цветения раннеспелых сортов картофеля в рабочем масштабе 1:2 500 000 для территорий Центрально-Нечерноземных районов России и Архангельской области. Подробно этапы составления фенологических карт изложена в опубликованных «Методических указаниях по фенологическому картографированию» (Обнинск, изд. ИЭМ, 1968).

Для агроклиматического районирования отдельных небольших территорий (административная область, небольшая страна) со значительными различиями в механическом составе почвы большое значение имеет учет климата почвы (под этим термином понимают преимущественно термический режим и ее увлажненность). Учет влияния на агроклиматические условия «теплых» и «холодных» почв возможен при наличии почвенной карты, на основе которой в пределах области могут быть выделены территории с преобладанием легких почв (пески, супеси, легкие суглинки), средних по механическому составу (суглинистые) и тяжелых переувлажненных почв (тяжелые суглинистые, оглеенные и торфяные почвы, осушенные торфяники). Эти почвы существенно различаются как по термическому режиму, так и по влажности, что ведет к большим различиям в сроках сева на близком расстоянии. Поэтому часто возникает необходимость в дифференциации агротехники и удобрений даже на соседних полях.

Для картирования показателей климата различных почв в рабочем масштабе от 1: 2 500 000 и до 1: 1.500 000 И.А. Гольцберг, Л.Э. Инт и А.П. Сляднев [27, 46, 81] разработали методику выделения макро и мезорайонов на той или иной карте площадным способом. В качестве

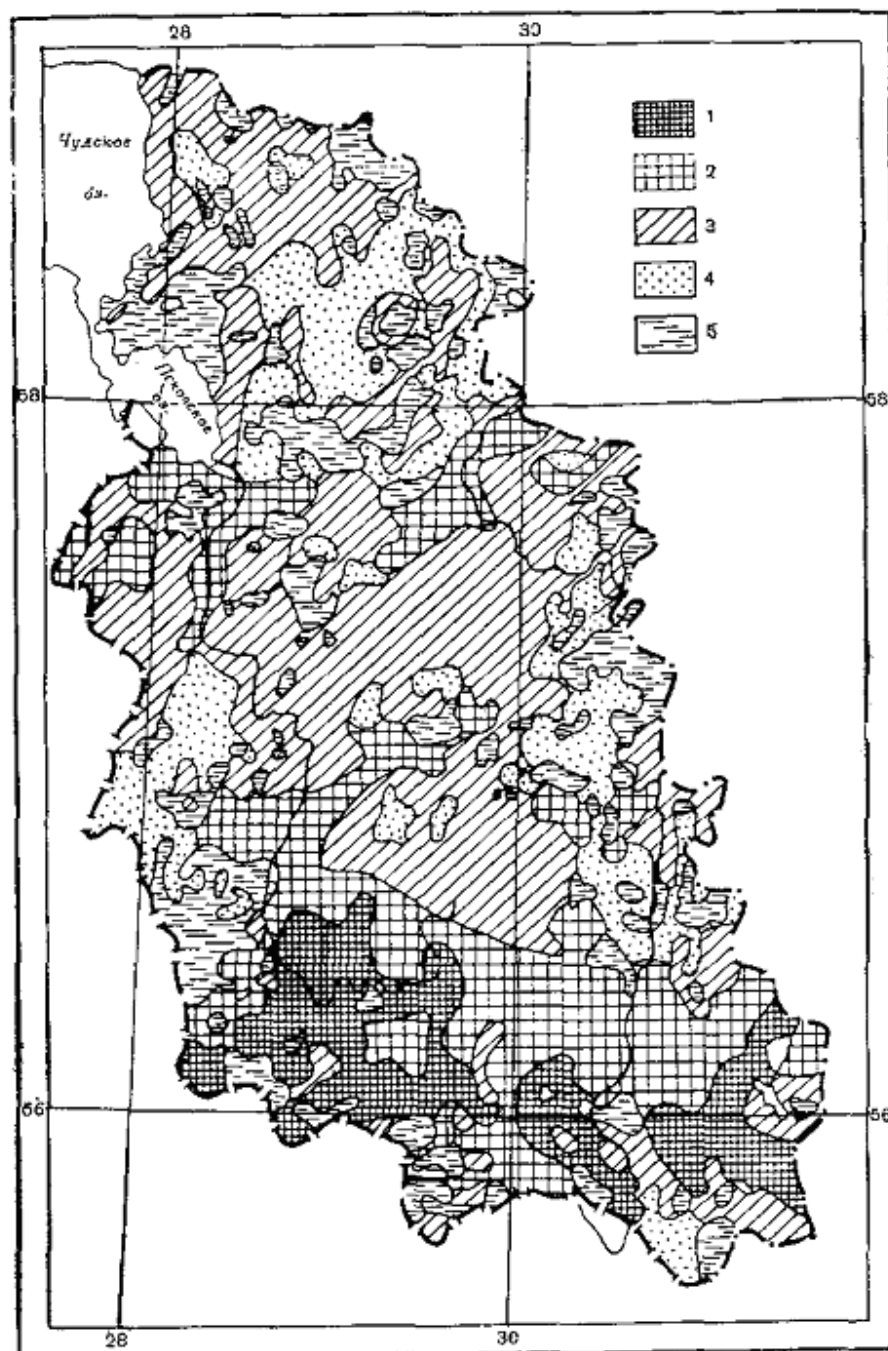


Рис. 16.3 – Агроклиматическая карта районирования Псковской области России по условиям теплообеспеченности.
 Районы: 1 - наиболее теплый, 2 – теплый, 3 – умеренно-теплый, 4 – умерено холодный, 5 – холодный.

Таблица 16.2 – Агроклиматическое районирование Псковской области по условиям теплообеспеченности почв на глубине 20 см

Характеристика района	Даты перехода суточной температуры через		Сумма температур выше 10 ⁰ С	Продолжительность периода (дни) ΣT_n выше	
	5 ⁰ С	10 ⁰ С		10 ⁰ С	15 ⁰ С
1. Наиболее теплый	Ранее 24.IV	Ранее 11.V	2400	145	80
2. Теплый	21.IV-25.IV	11.V-15.V	2200-2400	135-145	70-80
3. Умеренно теплый	26.IV-30.IV	16.V-21.V	1900-2100	125-135	60-70
4. Умеренно холодный	1.V-5.V	22.V-27.V	1600-1800	115-125	50-60
5. Холодный	После 5.V	После 27.V	1600	115	50

картографической основы используются почвенные карты. Данные всех станций группируются по ведущим типам почв с учетом механического состава на рассматриваемой территории. Далее на карте выделяются площади с разными градациями почв с учетом значений одного или нескольких показателей климата почвы.

Например, Н.Г. Горышина [29], развивая вышеуказанную методику, составила ряд карт для Севера и Северо-Запада ЕЧ России. На рис.16.3 приведена карта районирования Псковской области по теплообеспеченности почв на глубине 20 см, на которой выделено пять районов. К карте прилагается табл. 16.2 с количественной характеристикой по пяти показателям тепловых ресурсов различных почв. Наглядно видна азональность в распределении показателей на территории области. В северной части области выделен умеренный район 3 с легкими и средними суглинками, где сумма температур почвы (ΣT_n) выше 10 ⁰С и продолжительность теплого периода ($N_{тнп}$) составляют 1900-2100 ⁰С и 125-135 дней. Здесь же выделен холодный 1 район 5 с тяжелыми суглинками и торфянистыми почвами, где ΣT_n и $N_{тнп}$ не превышают 1600 ⁰С и 115 дней. В южной части области выделены площади, характерные для всех пяти районов. Здесь диапазон микроклиматических различий между теплыми и холодными почвами составляет 800 ⁰С и 30 дней.

Этот же принцип площадной оценки территории использовала Л.С. Кельчевская [40] для картирования средних многолетних запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы под зябью ко времени перехода средней суточной температуры воздуха через 10 ⁰С весной в рабочем масштабе 1:2 500 000 на территории Центрально-Нечерноземной области России. Исходные данные по W наносились на почвенную карту.

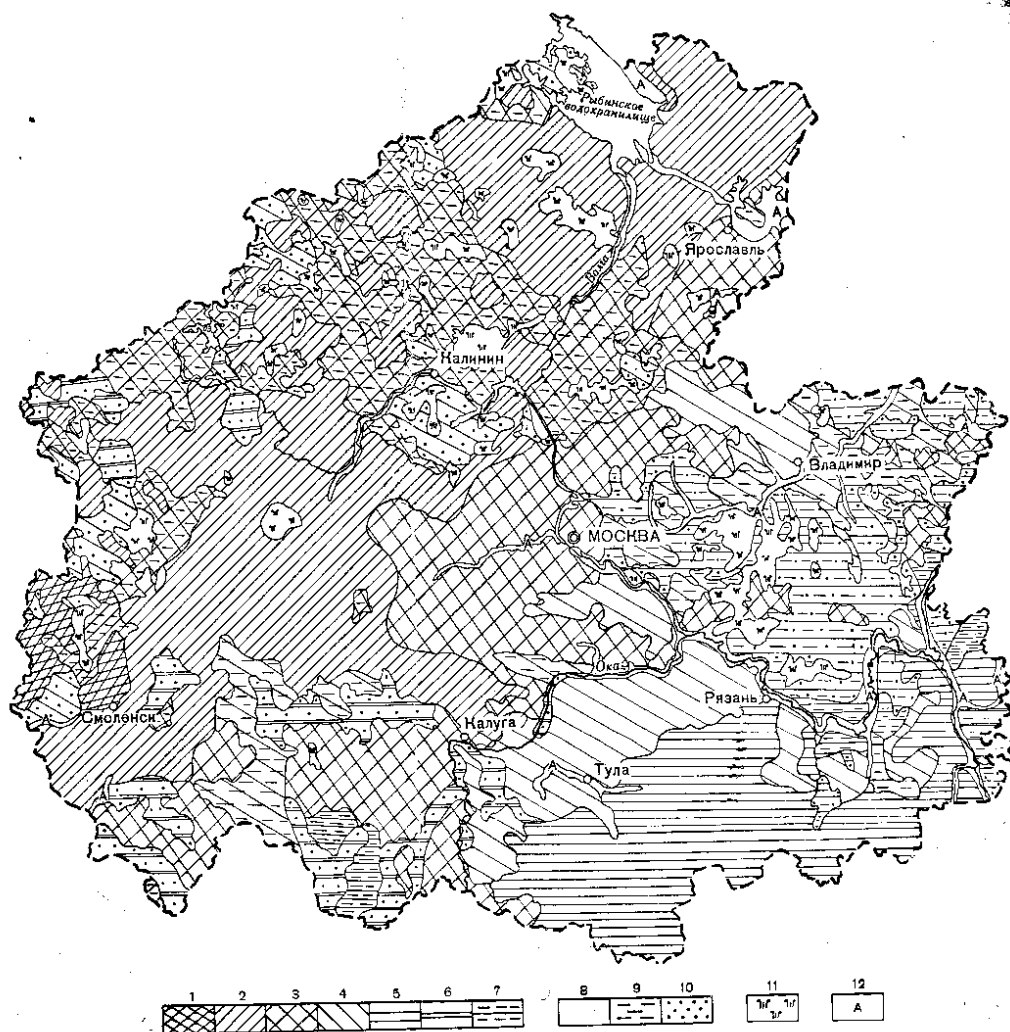


Рис. 16.4 – Средние многолетние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы по зяби ко времени перехода средней суточной температуры воздуха через 10^0 весной. Центрально-Нечерноземная область России.

1 - >250 мм, 2 - 250-225 мм, 3 - 225-200 мм, 4 - 200-175 мм, 5 - 175-150 мм,

6 - 150-125 мм, 7) 125-100 мм; механический состав почв речных пойм и заболоченных: 8 - суглинистые, 9 - супесчаные, 10 - песчаные, 11 - подзолисто-болотные, торфяно-глеевые и перегнойно-глеевые, 12 - аллювиальные.

Соответственно типу почв, механическому составу, климатическим условиям и физико-географическим особенностям территории на карте выделено площадным способом 7 районов по увлажнению почв: 1) 250 мм, 2) 250-225 мм, 3) 225-200 мм, 4) 200-175 мм, 5) 175-150 мм, 6) 150-125 мм, 7) 125-100 мм. Второй нагрузкой с разными обозначениями показан механический состав почв: 8 - суглинистые, 9 – супесчаные, 10 песчаные, 11 – подзолисто-болотные и торфяно-глеевые, 12 – аллювиальные. Как видно из рис. 16.4, распределение влагозапасов в почве на рассматриваемой территории носит азональный характер.

16.3. Составление фоновых агроклиматических карт с учетом микроклимата

Классическая методика построения мелкомасштабных климатических агроклиматических карт эффективна для элементов климата слабо изменяющихся под влиянием неоднородностей деятельной поверхности. Но есть показатели климата сильно изменяющиеся на небольших расстояниях под влиянием форм рельефа, экспозиции и крутизны склонов, различий в механическом составе почв, близости водоемов и морей и др. К их числу относятся показатели заморозков, суточная амплитуда температуры воздуха, температура деятельной поверхности и ее суммы, дневная и ночная температуры воздуха и ее суммы, средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха и др. Для этих показателей вышеуказанный метод картирования не эффективен, так как интервалы между изолиниями надо увеличивать так, что иногда теряется смысл составления карты.

В конце 50-х годов И.А. Гольцберг [26] предложила метод построения фоновых климатических карт в мелком масштабе, позволяющим учесть влияние неоднородностей деятельной поверхности, т.е. микроклимата. Она применила этот метод при составлении ряда карт показателей заморозкоопасности для территории бывшего СССР. Суть методики заключается в следующем.

1. На карте изолинии проводятся с учетом данных лишь тех метеорологических станций, которые расположены на открытых ровных местах вне влияния микроклиматических условий. По этим фоновым станциям вычерчиваются мелкомасштабные карты, отражающие влияние на климат основных физико-географических факторов – широты, долготы, абсолютной высоты над уровнем моря. В горах изолинии проводятся по данным станций, расположенных в средних частях склонов (эти местоположения занимают наибольшие площади).

2. Данные всех станций, отражающих влияние неоднородностей деятельной поверхности и резко выделяющиеся на общем фоне анализируются особо. Их местоположение определяют по паспортам станций и выделяют на карте разноцветными кружками. Затем методом интерполяции определяют отклонения данных каждой станции, входящей в ту или иную группу по местоположению от изолинии на карте. Далее эти данные типизируются и составляется сводная таблица микроклиматической изменчивости того или иного показателя климата под влиянием форм рельефа, экспозиции и крутизны склонов, пестроты почвенного покрова, близости крупных водоемов и морей и др. Пример составления фоновой карты приведен на рис.16.5. Здесь кружком выделены данные всех станций, отклоняющихся от изолиний на карте на величину $\pm 1^{\circ}\text{C}$ под влиянием микроклиматических особенностей местоположения станции.

Позднее в 60-70-ые годы метод построения фоновых климатических и агроклиматических карт получил дальнейшее развитие в исследованиях З.А. Мищенко [61, 63, 124]. Она построила фоновые карты распределения суточной амплитуды температуры воздуха (A_T), дневных и ночных температур воздуха и их сумм ($\dot{O}_д$, $\dot{O}_н$, $\Sigma\dot{O}_д$, $\Sigma\dot{O}_н$), среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ($\bar{O}_м$ для территории СНГ и стран Балтии. Некоторые из них представлены в главах 5, 8, 9 данного учебника.

Для расчета высотных градиентов с целью определения места и высоты прохождения изолиний в горах строили графики связи между показателями климата и абсолютной высотой над уровнем моря для основных горных систем с учетом форм рельефа и, по возможности, экспозиции склонов хребтов. На рис.16.6. показан пример зависимости между суточной амплитудой температуры воздуха (A_T) и высотой места (H_m) для Тянь-Шаня и Памира, Большого и Малого Кавказа.

Для выявления «географии микроклимата» З.А. Мищенко на основе анализа экспериментальных данных и агроклиматических расчетов установила количественную связь между микроклиматической изменчивостью показателей теплового режима от морфометрических характеристик рельефа (глубина расчленения рельефа по вертикали, т.е. базисов эрозии ΔH_m , экспозиции и крутизны склонов), а также от степени континентальности климата. Далее была выполнена типизация и районирование мезо и микроклиматической изменчивости A_T , $\dot{O}_д$, $\dot{O}_н$, $\Sigma\dot{O}_д$ и $\Sigma\dot{O}_н$ выше 10°C , $\bar{O}_м$, $\dot{O}_х$ (температуры самого холодного месяца) под влиянием холмистого и горного рельефа на территории СНГ и стран Балтии.

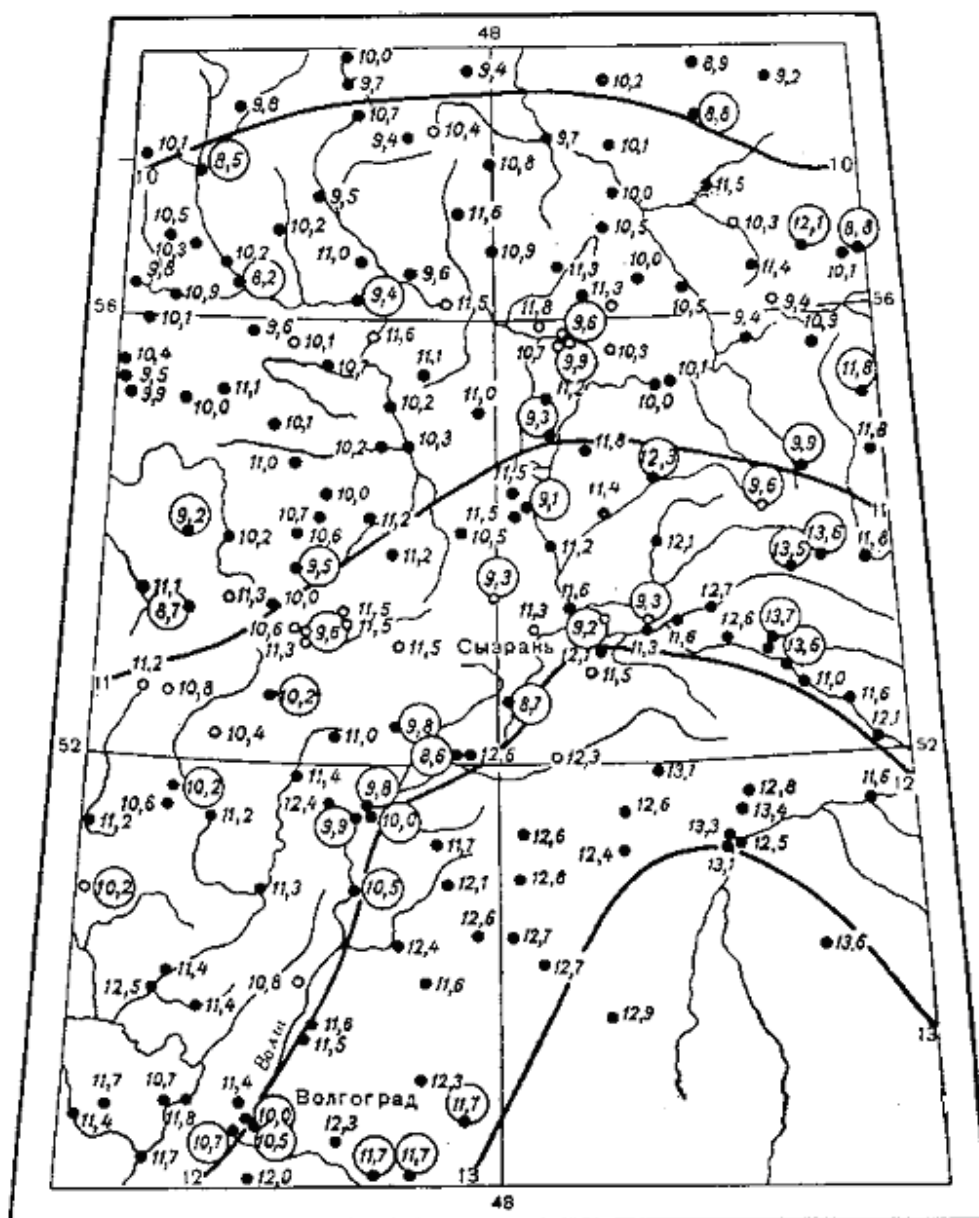


Рис.16.5 – Пример составления фоновой карты суточной амплитуды температуры воздуха. Июнь.

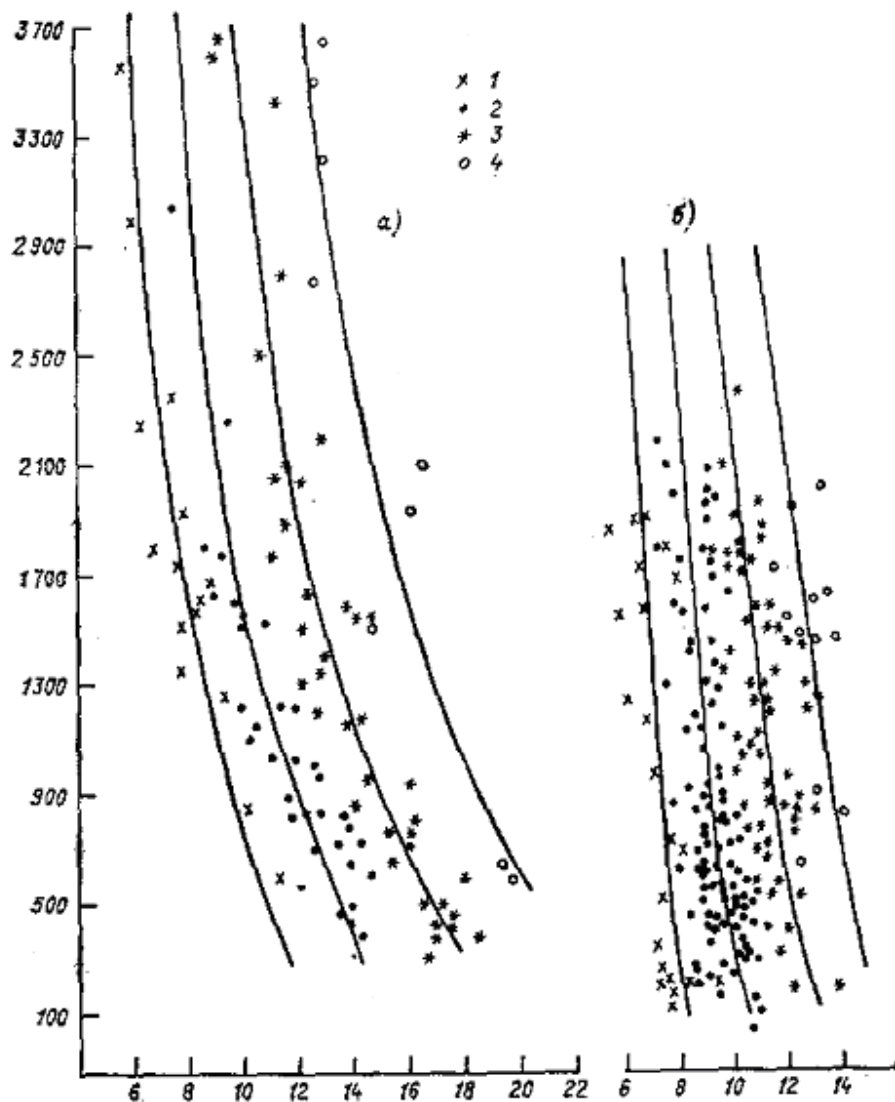


Рис.16.6 – Зависимость между суточной амплитудой температуры воздуха (A_T) и абсолютной высотой над уровнем моря для Тянь-Шаня и Памира (а) Большого и Малого Кавказа (б).
Июнь

1 – вершина, верхняя треть склона; 2 – середина склона;
3 – горная долина; 4 – замкнутая долина, котловина.

Эти материалы являются дополнением к соответствующим фоновым агроклиматическим картам. Они представляют собой картосхемы и расчетные таблицы к ним, содержащие микроклиматические параметры в виде $\Delta \dot{A}_T$, $\Delta \dot{O}_d$, $\Delta \dot{O}_h$, $\Delta \Sigma \dot{O}_d$, $\Delta \Sigma \dot{O}_h$, $\Delta \bar{O}_m$, $\Delta \dot{O}_x$. С их помощью можно определить средние многолетние значения показателей климата в разных местоположениях рельефа. А при наличии картографических основ в крупном масштабе можно расчетным путем построить микроклиматическую карту для отдельного хозяйства.

Аналогичные разработки выполнены для оценки микроклиматической изменчивости показателей радиационно-теплого режима на уровне деятельной поверхности, ресурсов влаги и ветрового режима под влиянием сложного рельефа. Дана оценка других неоднородностей деятельной поверхности (близость морей и крупных водоемов, орошаемые и осушаемые земли, типы почв, виды растительных сообществ) на изменчивость основных показателей климата на малых расстояниях [60, 63, 70, 85, 86]. Таким образом, достижения в области микроклиматологии открывают широкие возможности для составления климатических карт в разном масштабе с учетом микроклимата.

Это особенно актуально для детализации агроклиматических ресурсов в пределах административных областей, краев и автономных республик с целью оптимизации размещения однолетних и многолетних культур. Представляет интерес методики комплексной оценки и районирования тепловых ресурсов с учетом микроклимата, разработанная З.А. Мищенко [62, 63] для территории Вологодской, Иркутской и Оренбургской областей России в рабочем масштабе 1:2 500 000. В качестве картографических основ использовались, помимо соответствующих гипсометрических карт, морфометрические карты крутизны склонов. На них в виде изолиний дано фоновое распределение традиционного показателя в виде $\Sigma \dot{O}_c$ выше 10 °С. А в пределах каждого микрорайона выделены площади, различающиеся по крутизне склонов и по показателям теплового режима на уровне деятельной поверхности ($\dot{O}_{dw}$, $\Sigma \dot{O}_{dw}$, N_{dw}).

На рис.16.7. в качестве примера представлена агроклиматическая карта тепловых ресурсов, составленная для юга Иркутской области, где значительные площади заняты холмистым и горным рельефом. На карте выделено четыре макрорайона по $\Sigma \dot{O}_c$. В качестве второй нагрузки на ней выделены площадным способом четыре мезорайона с разной крутизной склонов, различающиеся по тепловым ресурсам на уровне деятельной поверхности. Мелкий масштаб карты не позволяет выделить на ней площади, различающиеся по экспозиции склонов. Однако соответствующие расчеты $\dot{O}_{dw}$, $\Sigma \dot{O}_{dw}$ выше 10 °С и продолжительности теплого периода (N_d) были выполнены для северных и южных склонов крутизной 5, 10, 15, 20 ° последующей привязкой к мезорайонам.



Рис. 16.7 – Комплексное районирование тепловых ресурсов на территории юга Иркутской области с учетом крутизны склонов. Макрорайоны: I) холодный, II) прохладный, III) сравнительно теплый, IV) умеренно теплый. Мезорайоны 1-4 (см. табл. 16.3).

К карте прилагаются табл. 16.3 и 16.4 с количественной характеристикой макро и мезорайонов юга Иркутской области по термическому режиму и теплообеспеченности с учетом экспозиции и крутизны склонов. На рассматриваемой территории выявлена значительная пятнистость в тепловых ресурсах, обусловленная микроклиматической изменчивостью $\dot{O}_{dw}$, $\Sigma \dot{O}_{dw}$ и N_{dw} . Выровненные площади с крутизной склонов $0-2^\circ$, где различия в теплообеспеченности отдельных участков за счет экспозиции малы и ими можно пренебречь, составляют не более 20 % от всей территории области (мезорайон 1). На большей же части территории различия в термическом режиме, возникающие на уровне деятельной поверхности под влиянием экспозиции и крутизны склонов значительны и их необходимо учитывать при агроклиматическом районировании с целью рационального размещения культурных растений.

Таблица 16.3 – Изменение показателей теплового режима деятельной поверхности на склонах разной крутизны в пределах юга Иркутской области

Мезорайоны по крутизне склонов	Разность в $\dot{O}_{dw}$ между южным и северным склонами			$\Delta \Sigma \dot{O}_{dw}$ между южным и северным склонами	Изменение по сравнению с ровным местом			
					$\Sigma \dot{O}_{dw}, (\%)$		длительности периода с $\dot{O}_{dw} \geq 10^0$ (дни)	
	весна	лето	осень		северный	южный	северный	южный
1. Выровненные площади с уклоном $0-2^0$	0,5 – 1	0,5 – 1	0,5 – 1	100 – 200	99 – 100	100 – 102	-0; -2	0 – 2
2. Холмистый рельеф с крутизной склонов $2-8^0$	1 – 3	2 – 5	2 – 5	200 – 500	98 – 94	103 – 107	-2; -5	2 – 6
3. Холмистый рельеф с крутизной склонов $8-20^0$	3 – 5	5 – 7	5 – 7	500 – 700	93 – 90	108 – 111	-5; -8	6 – 10
4. Низкой и среднегорный рельеф с крутизной склонов более 20^0	5 – 7	7 – 9	7 – 9	700 – 900	<90	>111	-8; -12	10 - 14

Примечание. Положительные величины означают увеличение длительности периода, а отрицательные – соответственно сокращение по сравнению с ровным местом.

Таблица 16.4 – Характеристика районов юга Иркутской области по теплообеспеченности с учетом крутизны склонов

Макрорайон	$\Sigma \dot{O}_c > 10^\circ \text{C}$	$\Sigma \dot{O}_{\text{дв}} > 10^\circ \text{C}$ на склонах							
		северных				южных			
		$0 - 2^\circ$	$2 - 8^\circ$	$8 - 20^\circ$	$> 20^\circ$	$0 - 2^\circ$	$2 - 8^\circ$	$8 - 20^\circ$	$> 20^\circ$
I. Умеренно теплый	1600 – 1800	3300 – 3700	3200 – 3600	3100 – 3500	3000 – 3400	3300 – 3900	3400 – 4100	3600 – 4200	3700 – 4300
II. Сравнительно теплый	1400 – 1600	2900 – 3200	2800 – 3100	2700 – 3000	2600 – 2900	2900 – 3400	3000 – 3600	3200 – 3700	3300 – 3800
III. Прохладный	1200 – 1400	2500 – 2800	2400 – 2700	2300 – 2600	2200 – 2500	2500 – 3000	2600 – 3200	2800 – 3300	2900 – 3400
IV. Холодный	1000 – 1200	2100 – 2300	2000 – 2200	1900 – 2100	1800 – 2000	2100 – 2500	2200 – 2700	2400 – 2800	2500 – 2900

Так, мезорайон 2 охватывает примерно 40 % от всей площади области с крутизной склонов $2 - 8^{\circ}$, где весной южные склоны могут быть на $1 - 3^{\circ}\text{C}$, а летом и осенью на $2 - 5^{\circ}\text{C}$ теплее северных. В этих условиях возможно сокращение вегетационного периода растений на южных склонах на 4-10 дней по сравнению с северными (табл. 16.3). Мезорайон 3 занимает около 25 – 30 % всей площади, где крутизна склонов составляет $8 - 20^{\circ}\text{C}$, а термические различия между южными и северными склонами весной достигают $3 - 5^{\circ}\text{C}$, а летом и осенью $5 - 7^{\circ}\text{C}$. В этих условиях за счет дополнительного тепла на южных склонах возможно сокращение вегетационного периода растений на 10-18 дней по сравнению с северными.

В табл. 16.4 дана комплексная оценка тепловых ресурсов на территории юга Иркутской области с учетом микроклимата склонов. Например, в умеренно теплом макрорайоне I, охватывающим Иркутско-Черемховскую равнину и частично Прибайкальскую впадину при $\Sigma\dot{Q}_c$ $1600 - 1800^{\circ}\text{C}$ диапазон различий за счет местоположения на склонах колеблется в пределах от $3000 - 3400^{\circ}\text{C}$ до $3400 - 4300^{\circ}\text{C}$. В холодном макрорайоне IV со среднегорным рельефом, где $\Sigma\dot{Q}_c$ не превышает $1000 - 1200^{\circ}\text{C}$, диапазон различий в $\Sigma\dot{Q}_{\text{дв}}$ между южными и северными склонами различной крутизны колеблется в пределах $1800 - 2500^{\circ}\text{C}$ и $2000 - 2900^{\circ}\text{C}$.

16.4. Картирование агроклиматических показателей в среднем масштабе

В связи с интенсификацией сельскохозяйственного производства все большее значение приобретают детальные агроклиматические карты, составленные для относительно небольших территорий. Исходные показатели климата рассчитываются по средним многолетним данным метеорологических станций с учетом высотных и широтных градиентов. В дополнение к этим количественным характеристикам используются закономерности, определяющие влияние деятельной поверхности (форма рельефа, экспозиции склонов, типы почв, влияние морей и водоемов и др.). Они даются в виде таблиц или графиков, содержащих микроклиматические параметры. Последние могут быть получены на основании теоретических расчетов и специальных микроклиматических наблюдений.

Метод картирования с помощью изолиний в этом случае применяется очень ограниченно, лишь в дополнении к методу выделения площадей различающихся по особенностям влияния деятельной поверхности на пространственную изменчивость картируемых элементов климата.

Количественная оценка выделенных площадей обычно проводится в развернутой легенде к карте, часто в табличной форме. Стандарта таких легенд не существует. Их содержание определяется задачами, для решения которых составляется карта. В качестве картографических основ используются не только гипсометрические карты, но и морфометрические карты рельефа, а также почвенно-ландшафтные.

Методика среднемасштабного картирования климатических и агроклиматических показателей находится в стадии развития. Рассмотрим специфику такого картирования на примере различных показателей климата. Так Примо [125] для Контона Во в Швейцарии составил ряд мезоклиматических карт в рабочем масштабе 1:300 000. Одна из них характеризует распределение в горной местности продолжительности солнечного сияния за теплое время года. При картировании учтено влияние высоты места, экспозиция хребтов, изменение освещенности долин в зависимости от их ориентации. На карте выделено шесть мезорайонов, различающихся по ΣS_c от менее 1400 часов до более 1800 часов.

З.А. Мищенко [63, 67] выполнила детальное районирование радиационно-тепловых ресурсов на территории Молдовы в рабочем масштабе 1:400 000. Поскольку в пределах этой страны актинометрические наблюдения проводятся только на одной станции, она применила расчетный метод. Суть его заключается в получении массовых данных по суммам суммарной радиации за день и суммам ФАР (ΣQ , ΣQ_{ϕ}) на основе установленных связей этих показателей с продолжительностью солнечного сияния (ΣS_c) за теплый период, а также с ΣT_d выше 10 °С. Фоновое картирование осуществлено для основного показателя ΣQ с применением метода проведения изолиний. Далее для каждого мезорайона определены значения ΣQ , ΣS_c и ΣT_d (Рис. 16.8)

На карте выделены восемь мезорайонов для условий открытого ровного места. Количественная оценка вышеуказанных показателей климата дана в табл. 16.5. Для оценки микроклиматической изменчивости ΣQ и ΣQ_{ϕ} под влиянием экспозиции и крутизны склонов в сложном рельефе были применены переходные коэффициенты для пересчета этих показателей с открытого ровного места на северные, южные, западные и восточные склоны крутизной 5, 10, 15, 20 ° за теплый период с T_d выше 10 °. Эта карта и материалы к ней являются основной для оптимизации размещения сельскохозяйственных культур на сортовом уровне, а также для уточнения моделей «Климат-Урожай» в пределах страны.

Картирование показателей морозоопасности для зимующих культур площадным способом имеет свою специфику. Она заключается в необходимости вероятностной оценки среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ($\bar{T}_m$) и температуры самого холодного месяца (T_m) с учетом микроклиматической изменчивости этих

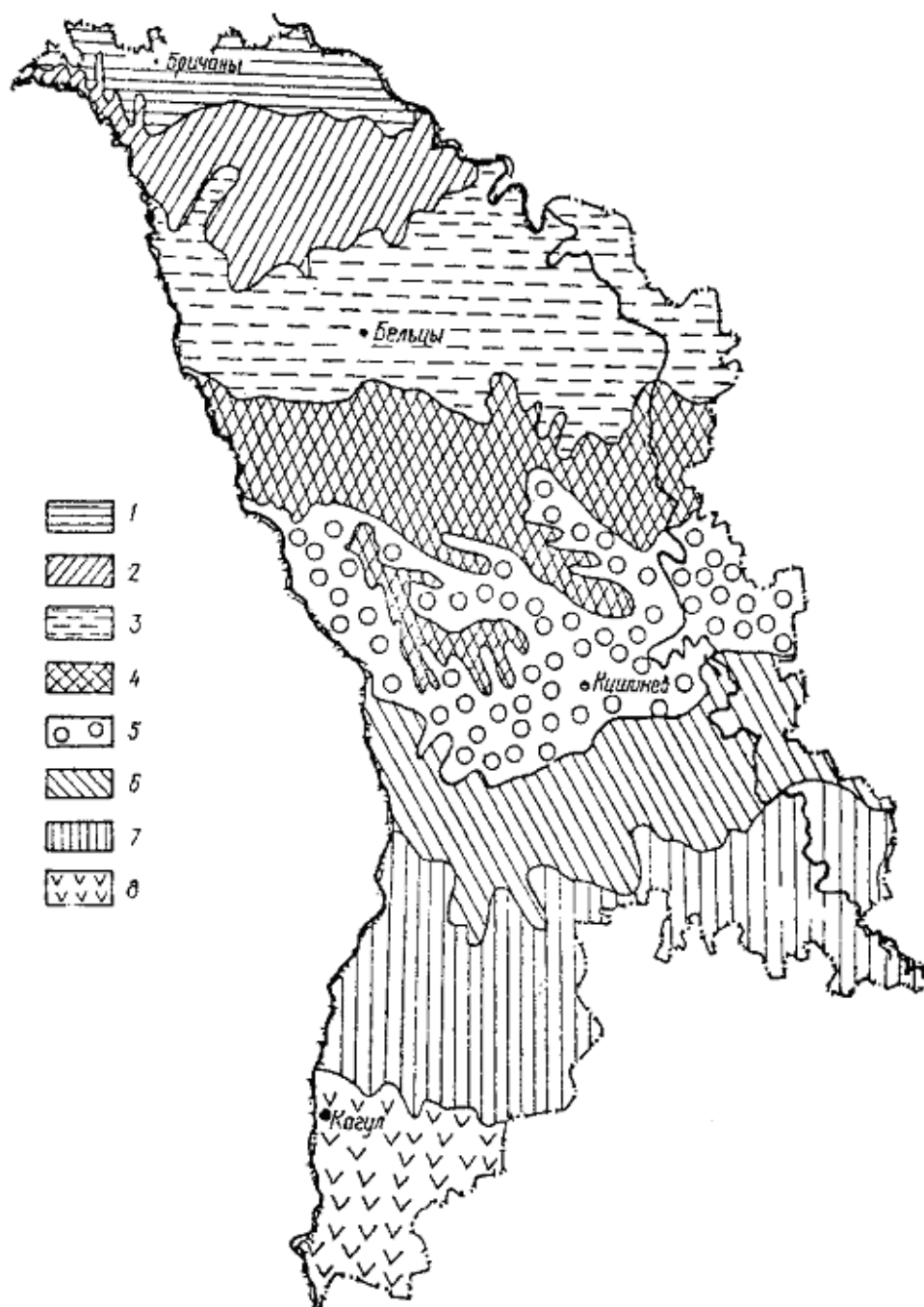


Рис. 16.8 – Агроклиматическое районирование радиационно-светловых и тепловых ресурсов за период с T_d выше 10°C на территории Молдовы. Мезорайоны 1 – 8 (см. табл. 16.5)

Таблица 16.5 – Радиационно-тепловые ресурсы днем на территории Молдовы

Макрорайон	ΣQ , МДж/м ²	ΣQ_{ϕ} , МДж/м ²	$\Sigma T_{\text{д}}$, °С	$\Sigma S_{\text{с}}$, часы
1. Крайний северный, прохладный	<3400	<1700	<3100	<1685
2. Северный, относительно прохладный	3400-3500	1700-1750	3100-3250	1685-1785
3. Северный, относительно прохладный	3500-3600	1750-1800	3250-3400	1765-1845
4. Сравнительно теплый	3600-3700	1800-1850	3400-3550	1845-1925
5. Центральный, относительно теплый	3700-3800	1850-1900	3550-3650	1925-2005
6. Центральный, умеренно теплый	3800-3900	1900-1950	3650-3800	2005-2085
7. Южный, теплый	3900-4000	1250-2000	3600-3900	2085-2165
8. Южный, очень теплый	>4000	>2000	>3900	>2165

показателей в сложном рельефе. При этом учтено влияние другой морфометрической характеристики – расчленение рельефа по вертикали, т.е. базисов эрозии (ΔH_m). Такой методический подход был предложен автором и реализован на примере Молдовы.

Карта была построена в рабочем масштабе 1:200 000. На ней путем проведения изолиний выделено пять макрорайонов, различающихся по $\bar{T}_m$ с 50 % и 10 % обеспеченностью (пять раз и один раз в 10 лет). На рис. 16.9 мезорайоны по типам рельефа и базисам эрозии, выделены различной штриховкой. К ним дана развернутая легенда с выходом на микрорельеф (табл. 16.6). В ней показаны микроклиматические параметры ($\Delta \bar{O}_i$, $\Delta \bar{O}_{\delta}$), представляющие собой величины отклонений зимних температур под влиянием разных форм рельефа по сравнению с открытым ровным местом. С их помощью, пользуясь рис. 16.9 и табл. 16.6, можно определить $\bar{O}_i$ и $\bar{O}_{\delta}$ для разных форм рельефа в конкретном районе страны.

К карте морозоопасности прилагаются расчетные номограммы для определения возможных $\bar{O}_i$ в разных формах рельефа с обеспеченностью в 50 % (климатическая норма), 20 % и 10 %. На рис. 16.10 по оси абсцисс показаны фоновые значения среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ($\bar{T}_m$) для макрорайонов I – V Молдовы; по ординате – возможные $\bar{O}_i$ различной вероятности. В поле графиков даны линии 1–14, характеризующие значения $\bar{O}_i$ в различных местоположениях

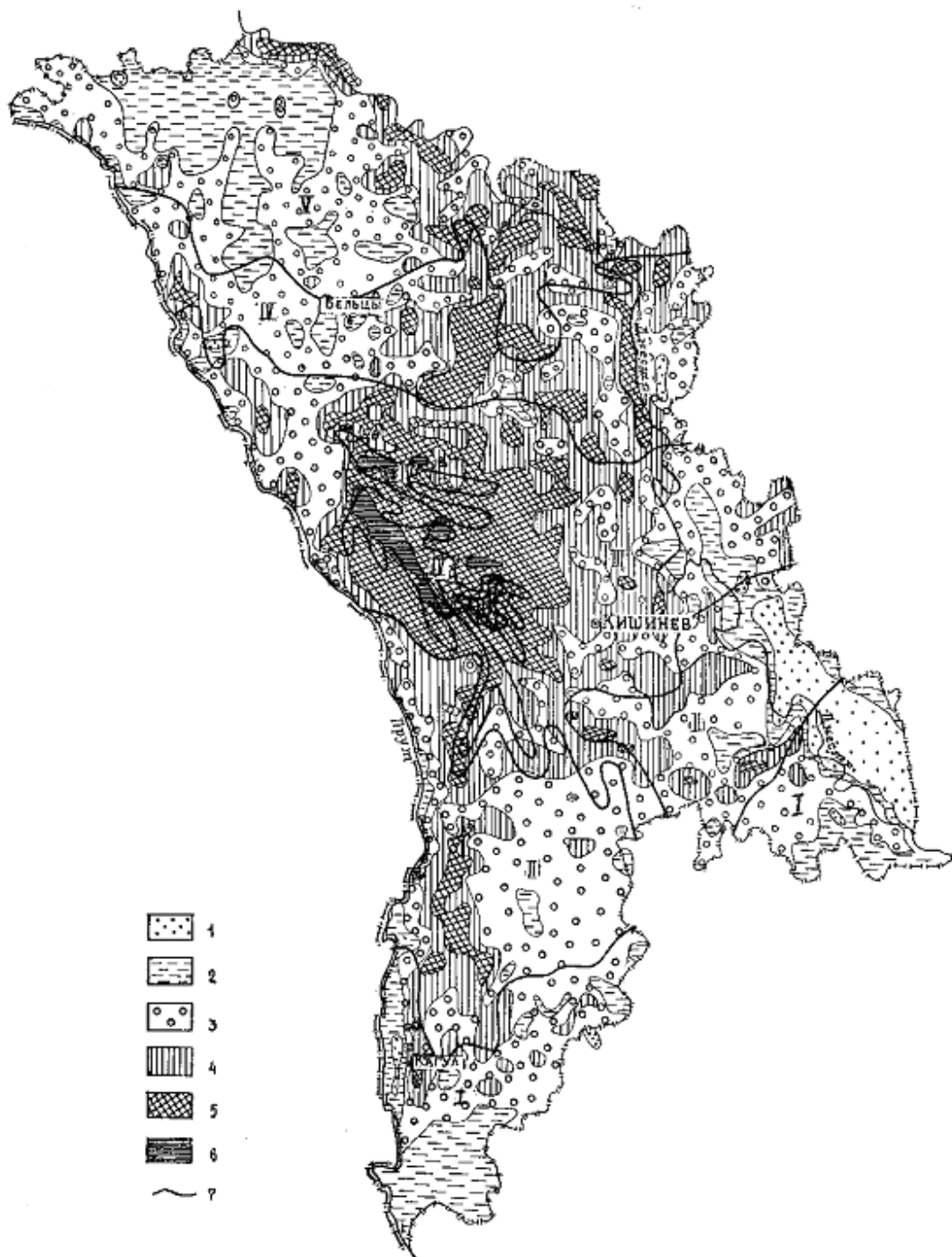


Рис.16.9 – Агроклиматическая карта морозоопасности зимой на территории Молдовы.

Макрорайоны по $\bar{T}_m$ с 50 % и 10 % обеспеченностью ($^{\circ}\text{C}$):

I) -19, -20 и -25, -26; II) -20, -24 и -26, -27; III) -21, -22 и -27, -28;
 IV) -22, -23 и -28, -29; V) -23, -24 и -29 -30. Мезорайоны 1 – 6 (см. легенду в табл.16.6).

Таблица 16.6 – Мезо и микроклиматическая изменчивость среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ($\overline{\Delta T}_m$, °С) и температуры самого холодного месяца (ΔT_{δ}) в сложном рельефе Молдовы.

Мезорайон по базисам эрозии (ΔH)	Ведущие типы микрорельефа				
	Вершина, верхняя треть склона	Середина склона	Широкая долина, подножие склона	Замкнутая узкая долина, котловина	Вершина-котловина
1. Всклопленный рельеф ($\Delta H \leq 60$ м, уклоны $3 - 6^\circ$)	2,5	1	-1	-3,5	6
2. Слабохолмистый рельеф ($\Delta H \approx 60 \dots 100$ м, уклоны $6 - 8^\circ$)	3,	1,5	-1,5	-4	7
3. Холмистый рельеф ($\Delta H \approx 100 \dots 140$ м, уклоны $8 - 12^\circ$)	3,5	2	-2	-4,5	8
4. Холмистый, предгорный рельеф ($\Delta H \approx 140 \dots 180$ м, уклоны $12 - 16^\circ$)	4	2	-2,5	-5	9
5. Низкогорный рельеф ($\Delta H \approx 180 \dots 220$ м, уклоны $16 - 20^\circ$)	4,4	2,5	-3	-5,5	10
6. Низкогорный и горный рельеф ($\Delta H \approx 220 \dots 400$ м, уклоны более 20°)	5	3	-3,5	-6	11

Примечание. Знак «плюс» означает повышение, знак «минус» – понижение $\overline{T}_{мин}, \overline{T}_x$ по сравнению с открытым ровным местом.

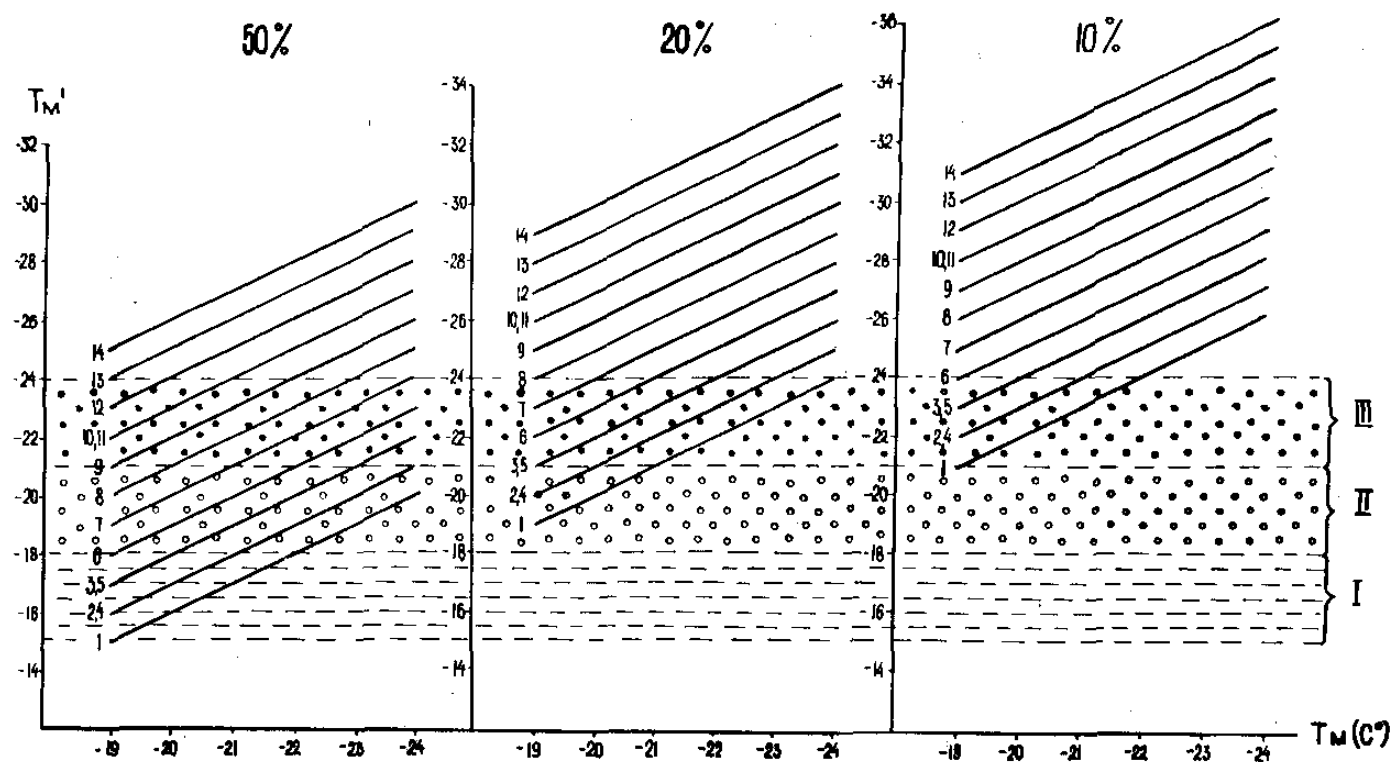


Рис. 16.10 – Номограммы обеспеченности возможных $\bar{O}_i$ с вероятностью 50 %, 20 % и 10 % на территории Молдовы.

Типовой микрорельеф по базисам эрозии (ΔH_m): 1, 2, 3 – вершины, водораздельные плато, верхние части склонов (150 - 300 м, 50 - 150 м, менее 50 м); 4, 5, 6 – середина склонов, долин с уклоном 6 – 12 ° (150 – 300 м, 50 – 150 м, менее 50 м); 7 – открытое ровное место на равнинах, широкие (более 2 км в поперечнике) долины с уклоном 0 – 3 °, средние части пологих склонов; 8 – нижние части склонов всех экспозиций; 9, 10, 11 – широкие долины (1 – 2 км в поперечнике), подножия склонов (менее 50 м, 50 – 150 м, 150 – 300 м), 12, 13, 14 – замкнутые узкие долины, котловины (менее 50 м, 50 – 150 м, 150 – 300 м). Группы сортов винограда по морозостойкости (I - III).

рельефа. Горизонтальные линии отсекают оптимальные местоположения снизу вверх для гарантированного возделывания неукрывным способом трех групп сортов винограда, различающихся по степени морозоопасности. Такие номограммы обеспеченности необходимы для определения экономически оправданной степени риска при возделывании не только винограда, но и плодовых культур, а также выработки оптимальной хозяйственной стратегии в размещении их с учетом микроклимата.



Рис. 16.11 – Среднемасштабная модель тепловых ресурсов на уровне деятельной поверхности для участка на территории Оренбургской области России.

Мезорайоны по $\Sigma T_{дв}$ выше 10°C : 1) 3700-3900, 2) 3900-4100, 3) 4100-4300, 4) 4300-4500, 5) 4500-4700, 6) 4700-4900, 7) 4900-5100, 8) 5100-5300.

При большем масштабе увеличивается возможная детализация агроклиматической карты, расширяется легенда за счет привлечения микроклиматической информации. Средне и крупномасштабное картирование ряда климатических характеристик и агроклиматических показателей по площадям для условий изрезанного рельефа возможно при использовании его морфометрических характеристик и расчетных схем,

отражающих пространственную изменчивость показателей под влиянием микроклимата. Эти схемы применительно к территории СНГ и стран Балтии содержатся в ряде публикаций [60, 63, 70, 85, 86, 87].

Морфометрические карты, детально, отражающие характер рельефа, составляются на основе гипсометрических карт в среднем масштабе (1:50 000 – 1:100 000) или в крупном масштабе (1:5 000 – 1:25 000). Однако готовых таких карт почти нет. Поэтому для микро и агроклиматического картирования ограниченных территорий их приходится составлять собственными силами. Комплекс морфометрических показателей, необходимых для картирования отдельных элементов климата, различен. На рис. 16.11 показан пример мезомасштабной модели тепловых ресурсов, составленной З.А. Мищенко [62, 63], с использованием показателей радиационного нагрева деятельной поверхности – $(T_{dw} - T_d)$, ΣT_{dw} за теплый период с T_d выше 10°C и продолжительности этого периода (N_{dw}) для участка Оренбургской области России. Точечные расчеты выполнены по одной теплобалансовой станции для 98 местоположений в верхних, средних и нижних частях склонов различной экспозиции и крутизны. Для выделения мезорайонов на агроклиматической карте по ΣT_{dw} в рабочем масштабе 1:100 000 использовались совмещенные морфометрические карты углов наклона местности и экспозиции склонов по восьми румбам.

Участок, изображенный на карте, характеризует небольшую территорию около 350 км и входит в один агроклиматический район по тепловым ресурсам с T_d выше 10°C около 3100°C , а на карте выделено восемь мезорайонов, значительно различающихся по ресурсам тепла на уровне деятельной поверхности. Днем в нижних частях северных склонов крутизной $15-20^\circ$ ΣT_{dw} не превышают $3700-3900^\circ\text{C}$ (мезорайон 1). На верхних частях южных юго-восточных склонов той же крутизны ΣT_{dw} увеличиваются до $5100-5300^\circ\text{C}$ (мезорайон 8). Диапазон мезо и микроклиматических различий в ресурсах тепла значителен и составляет $1400-1600^\circ\text{C}$. для практического использования отдельными хозяйствами, расположенными на рассматриваемой территории, мезомасштабная модель ресурсов тепла недостаточна. Поэтому к карте прилагается легенда в виде графиков для определения $(T_{dw} - T_d)$, ΣT_{dw} и N_{dw} в 48 местоположениях рельефа.

Глава 17. ОБЩЕЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ МИРА, КОНТИНЕТОВ И СТРАН

Климатические ресурсы являются одним из основных природных факторов, определяющих условия развития сельского хозяйства. Одной из центральных задач агроклиматологии является оценка агроклиматических ресурсов и районирование их на территориях разного масштаба. Развитие сельского хозяйства в пределах СНГ и в странах дальнего зарубежья требует оптимального размещения по территории отдельных его отраслей, продвижения культурных растений и домашних животных в новые районы, интродукции новых растений и приемов земледелия, наилучшего использования ресурсов климата в целях получения наибольшей продукции сельского хозяйства и высокого её качества.

В настоящее время на Земле культурной растительностью занято около 1 млрд. гектар – около 7 % площади всей суши на нашей планете, из которых свыше 200 млн. га приходится на территории СНГ и стран Балтии. Культурные основные растения возникли давно. Пшеница, рис и кукуруза возделывались человеком в Азии, Америки, Европе с незапамятных времен. Многие культурные растения внедрены в практику недавно. Например, на территории СНГ подсолнечник выращивается около 100 лет, сахарная свекла 200 лет. Многие культуры получили вторую родину, так как климатические условия новых районов в основные периоды вегетации оказались близкими. Например, кофейное дерево из Эфиопии и Аравии стало главной культурой Бразилии; картофель из Южной Америки – важнейшей культурой северного полушария; какао из Южной Америки выращивают сейчас в Африке; подсолнечник – растение Америки занимает ныне наибольшие площади на территории СНГ. Продвижение культур в северные широты характерно и для последнего времени. Широко проникли на север ячмень и овощные культуры; кукуруза – растение тропического пояса заняла значительные площади в странах умеренного пояса. Многие субтропические культуры (цитрусовые, миндаль, чай) культивируют также в южных районах умеренного пояса. На полях Кубани, юга Украины возделывается рис – культура тропического пояса. В процессе возделывания человек отбирал лучшие формы, улучшая их хозяйственные свойства. Так, сахаристость сахарной свеклы в начале XIX века не превышала 3 %, а в 80-ые годы XX века составляет 20-25 %; масличность подсолнечника была всего 10 %, а к настоящему времени 25 % и выше. Созданы высокоурожайные сорта пшеницы с повышенным количеством белка.

Научно-технический прогресс в сельском хозяйстве в большей мере связан с огромными успехами селекции, получившими название «зеленой революции». Однако установлено, что несмотря на повышение культуры

земледелия, зависимость сельского хозяйства от климата в современных условиях не уменьшилась, а в абсолютном выражении даже возросла. Поэтому детальный учет агроклиматических ресурсов на той или иной территории является необходимой основой для оптимизации размещения сельскохозяйственных культур с целью получения высоких и стабильных урожаев.

17.1. Общие вопросы теории и методики агроклиматического районирования

Выявление агроклиматических ресурсов территорий и сравнительная оценка их по степени благоприятности для объектов сельского хозяйства является целью агроклиматического районирования. Основные задачи последнего сводятся к выделению таксономических агроклиматических единиц (поясов, зон, областей, районов и т.д.), различающихся между собой по агроклиматическим показателям и условиям сельскохозяйственного производства, к установлению их географических границ и составлению карт агроклиматического районирования разного масштаба – от мировых до карт для отдельного хозяйства. В процессе районирования можно выявить территории, находящиеся далеко друг от друга, но имеющие аналогичные агроклиматические ресурсы.

Г.Т. Селяниновым [1, 93], П.И. Колосковым [42], Ф.Ф. Давитая [30], С.А. Сапожниковой [95], Д.И. Шашко [115] и др. разработана теория и методика общего и специального агроклиматического районирования. Общее агроклиматическое районирование даст возможность оценить в целом агроклиматические ресурсы для сельского хозяйства. Оно предполагает деление территории с учетом интересов всех или большинства отраслей сельского хозяйства. Специальное или частное агроклиматическое районирование осуществляется применительно к отдельным культурам и их сортам, приемам агротехники и т.д. Оба вида районирования осуществляются на основе учета требований культур к климату и оценке соответствия климата этим требованиям.

Методика общего и специального агроклиматического районирования достаточно разработана, усовершенствована применительно к мелкомасштабным картам и находит широкое применение, как на территории СНГ, так и в странах Европы, США и др. В качестве основного показателя теплообеспеченности при районировании культур принята сумма среднесуточных температур воздуха выше 10 °С, характеризующая период активной вегетации большинства растений. Выделение крупных агроклиматических единиц – термических поясов – проводится по суммам температур. Границы поясов и их названия

увязываются с природными физико-географическими зонами. Каждый термический пояс делится на термические подпояса обычно с интервалом сумм температур для равнинной территории через 200°C и для гор 400°C (например, для равнин 2000, 2200, 2400 $^{\circ}\text{C}$ и т.д., для гор соответственно 2000, 2400 $^{\circ}\text{C}$ и т.д.).

Дифференциация территории на зоны и подзоны увлажнения обычно производится по показателю увлажнения, который наиболее часто представляет собой отношение осадков и испаряемости. Из большого числа предложенных разыми учеными показателей, методы расчета которых были изложены в главе 7, наиболее широкого применяются гидрометрический коэффициент Селянинова, показатели увлажнения Колоскова, Шашко, Сапожниковой, а также физически обоснованные показатели увлажнения Торнтвейта, Будыко, Пенмана, Тюрка [17, 36, 124].

Для оценки условий морозоопасности и выделения районов с различной степенью благополучия перезимовки озимых культур и многолетних насаждений обычно используют температуру самого холодного месяца (T_x), средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха и почвы (T_m , $T_{мп}$) на глубине узла кущения для озимых и на глубине 20-40 см для винограда и плодовых культур.

После получения массовых данных по указанным показателям они наносятся в отдельности на гипсометрическую бланковую карту. Далее проводится анализ изменения каждого из агроклиматических показателей в зависимости от широты, долготы и высоты места. С учетом влияния всех физико-географических условий составляются карты в изолиниях по соответствующим показателям. Комплексная агроклиматическая карта строится путем наложения друг на друга карт главнейших показателей. Затем производится разделение или объединение районов по признаку их сходства и различия. По такому принципу выделяют агроклиматические районы и определяют их границы. К этой карте составляют подробное описание выделенных районов с указанием количественных значений агроклиматических показателей в каждом из них.

Агроклиматическое районирование территории не является самоцелью, оно направлено на решение конкретных задач агроклиматического обеспечения сельского хозяйства. Поэтому теория и методика агроклиматического районирования непрерывно уточняется и совершенствуется по мере развития сельского хозяйства. Например, в последние 20 лет при агроклиматическом районировании отдельных стран на территории СНГ и Европы применяется широкий набор климатических показателей помимо или вместо вышеуказанных. К их числу относятся: продолжительность солнечного сияния за теплый период (ΣS_c), суммы суммарной и фотосинтетически активной радиации за теплый период (ΣQ , ΣQ_{ϕ}), показатели континентальности климата, показатели заморозкоопасности весной и осенью, дневные и ночные температуры

воздуха и их суммы (ΣT_d , ΣT_n) за теплый период, запасы продуктивной влаги в почве и др.

Анализ методики агроклиматического районирования по отдельным показателям климата показал, что границы природных зон определяются не только климатическими, но и многими другими факторами, в том числе хозяйственной деятельностью человека. Поэтому при выделении агроклиматических районов на карте важно использовать показатели, имеющие хорошую экономическую интерпретацию. В связи с этим появилось такое понятие как сельскохозяйственный бонитет климата – сравнительная оценка его продуктивности, выраженная в абсолютных величинах (урожай, ц/га) или в относительных величинах (баллы). Показатели сельскохозяйственного бонитета климата (СБК) и биоклиматического потенциала (БКП) были разработаны С.А. Сапожниковой [4, 90] и Д.И. Шашко [115] и применены ими при агроклиматическом районировании территории СНГ и Мира в мелком масштабе.

Позднее Х.Тооминг [105] на основе концепции максимальной продуктивности посевов разработал физико-статистическую модель «Климат-урожай» и предложил методику расчета потенциально-возможных и действительно возможных урожаев ($Y_{пт}$, $Y_{дв}$) по таким агроклиматическим показателям как суммы ФАР (ΣQ_ϕ) за период вегетации сельскохозяйственных культур и их влагообеспеченности в виде E/E_0 . Это открыло дорогу к развитию методик агроклиматического районирования не только в мелком, но и среднем масштабе с привлечением указанных показателей.

Следует упомянуть исследования В.А. Жукова и С.А. Даниелова [38], предложивших иной подход к решению задачи агроклиматического обоснования размещения сельскохозяйственных культур. При этом в качестве показателя климатических особенностей выбрано математическое ожидание потерь урожая культур из-за неблагоприятных условий погоды в отдельные декады их развития. Оценка метеорологической ситуации периода вегетации на формальном уровне осуществляется путем построения модели распознавания образов с использованием ЭВМ. Расчет вероятности появления неблагоприятных ситуаций с декадным шагом и математических ожиданий потерь урожая сводится к построению моделей конкурирующих рисков.

Оптимизация структуры посевных площадей решается как задача линейного программирования с целевой функцией, минимизирующей потери валового урожая, например, зерновых культур на территории Нечерноземья России. Недостатком указанного метода является то обстоятельство, что с его помощью невозможно оптимизировать размещение основных сельскохозяйственных культур территориально внутри конкретной административной области или района с учетом

местных почвенно-климатических условий. Это объясняется тем, что на выходе метода дается распределение посевных площадей в процентах по крупным экономическим районам без увязки с географическим распределением агроклиматических показателей тепла и влаги.

Можно ожидать, что в ближайшие годы получат развитие методики агроклиматического районирования в среднем и крупном масштабах с широким использованием в качестве картографических основ морфометрических карт рельефа, а также почвенно-ландшафтных карт. При этом должны учитываться, как зональные особенности почвенно-климатических условий на ограниченной территории (административная область, район, отдельное хозяйство) так и влияние микроклимата. В исследованиях И.А. Гольцберг, З.А. Мищенко, Е.Н. Романовой, А.П. Сляднева и др. [27, 66, 67, 70, 87, 124] изложены научно-методические подходы по созданию моделей агроклиматического районирования в разном масштабе с учетом микроклимата.

17.2. Агроклиматическое районирование Мира, континентов

Агроклиматическое районирование Мира впервые было произведено в 1937 году Г.Т. Селяниновым. В этом же году был опубликован «Мировой агроклиматический справочник», составленный группой агроклиматологов России (г. Санкт-Петербург) под его руководством. В этом справочнике были даны основные агроклиматические показатели тепло и влагообеспеченности вегетационного периода и оценены условия перезимовки сельскохозяйственных культур по всем земледельческим территориям земного шара. На основе данных «Справочника» Селяниновым составлена «Агроклиматическая карта мира». В цветном варианте карта была опубликована в 1966 году и вошла в первый «Агроклиматический атлас мира», изданный в 1972 году [1].

Автор разделил климаты земного шара по теплообеспеченности сельскохозяйственных культур и экологическим особенностям на пять агроклиматических поясов: арктический, полярный, умеренный, субтропический и тропический. В основу сельскохозяйственной оценки климатов была положена сумма активных температур воздуха за период с устойчивой температурой выше 10 °С при гидротермическом коэффициенте, превышающим 0,5. Для каждого пояса дается видовой состав культурных растений с указанием особенностей приемов земледелия. Каждый пояс делится на термические подпояса, различающиеся на 150-200 °С, в которых обеспечивается теплом определенный набор культур. Краткая характеристика поясов приводится ниже.

1. Арктический пояс. Для него характерны очень низкие температуры лета. Средняя температура воздуха самого теплого месяца изменяется от 0 до 10 °С, а ΣТ выше 10 °С менее 300 °С. Поэтому культурные растения не могут произрастать здесь в открытом грунте. В летние месяцы часто бывают длительные похолодания с понижением температуры до 0 °С и ниже. Продолжительность дня в летние месяцы составляет 20-24 часа. Возможно земледелие закрытого грунта.

2. Полярный пояс имеет небольшие ресурсы тепла, поэтому состав культурных растений здесь ограничен. Для растений этого пояса характерны скороспелость, малая требовательность к теплу, способность переносить понижения температуры ниже 0 °С. заморозки здесь возможны в продолжении всего периода вегетации. Сумма активных температур воздуха изменяется в пределах 300-1000 °С. Непрерывный день летом до некоторой степени компенсирует низкий уровень температуры.

Земледелие в этом поясе очаговое. Произрастают наиболее скороспелые культуры северной границы умеренного пояса – листовые овощи, некоторые корнеплоды, ранний картофель, местами ячмень. Дикая растительность низкорослая.

3. Умеренный пояс. Характеризуется одним летним вегетационным периодом и «нерабочим» зимним сезоном. В основном за год обеспечен один урожай за исключением южных районов степной зоны, где возможно получение второго урожая за счет пожнивных культур. Состав культурной растительности более разнообразен, чем в перечисленных выше поясах, основные культуры здесь злаковые (озимые и яровые) и корнеплоды, а из древесных – плодовые. Полевые работы весной, летом и осенью очень напряженные.

Климат пояса характеризуется большим разнообразием. Продолжительность вегетационного периода изменяется от 40 дней на северной границе до 200 дней и более на южной. Средняя температура самого теплого месяца несколько выше 15 °С. Сумма активных температур от 1000 °С на северной границе пояса до 3500-4000 °С на южной. Снежный покров в основном устойчивый (неустойчив только в районах, прилегающих к южной границе пояса). Средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха на южной границе – 10 °С, а в северных районах пояса ниже – 50 °С. Годовая сумма осадков резко изменяется по территории пояса.

Растения, начиная вегетацию при температурах около 5-10 °С, в последующие фазы развития требуют более высоких температур (порядка 15-20 °С); они обладают большей устойчивостью к заморозкам в начале развития. В основном это растения длинного дня. Зимующие злаковые (озимые) и древесные отличаются высокой морозостойкостью.

В пределах умеренного пояса выделено три термических подпояса. В первом самом северном при ΣТ_c выше 10 °С порядка 1000-2500 °С

выращивают картофель, корнеплоды, яровые и озимые зерновые культуры, сахарную свеклу, кукурузу на силос; плодово-ягодные культуры. Во втором подпоясе при ΣT_c 2500-3500 °С культивируют подсолнечник, кукурузу, позднеспелые сорта сахарной свеклы, раннеспелые сорта риса, сои. В третьем подпоясе, переходном к субтропическому поясу с ΣT_c 3500-4000 °С и более выращивают теплолюбивые культуры: виноград (поздние сорта), рис, хлопчатник, цитрусовые и пр.

4. Субтропический пояс. Характеризуется наличием двух вегетационных периодов – летнего и зимнего. В летний период полевые работы более напряжены; во многих частях территории необходимо орошение. Зимой культуры растут без орошения, напряжение полевых работ меньше. Культуры теплого и холодного вегетационных периодов различны по экологическим признакам. В этом поясе произрастает множество многолетников. В году собирают не менее двух урожаев – весной и осенью. В составе культурных растений летнего периода большая часть однолетних растений (хлопчатник, соя, кукуруза, рис и т.п.). Из древесных характерны шелковица, тунг, чай, цитрусовые, виноград, грецкий орех и др.

Для этого пояса характерно отсутствие устойчивого снежного покрова. Средняя температура воздуха самого холодного месяца выше 0 °С: средний из абсолютных годовых минимумов выше – 10 °С. Зимой морозы носят характер заморозков умеренного пояса. Средняя температура самого теплого месяца выше 20 °С. Суммы температуры воздуха не бывают ниже 3500 °С и варьируют по территории в больших пределах. Количество осадков за год и годовой ход их значительно изменяются по территории пояса.

В субтропическом поясе выделено четыре термических подпоясов с ΣT_c выше 10 °С: 1) от 3500-4000 °С и до 6000 °С; 2) от 6000 °С до 8000 °С; 3) от 8000 °С до 10000 °С и 4) выше 10000 °С. Для первых двух подпоясов в летний период характерными являются хлопчатник, кукуруза поздних сортов, маслины, цитрусовые, чай, тунга и др. Последние два подпояса являются переходными к тропическому поясу и отличаются от него наличием не ежегодных заморозков, большими суточными амплитудами температуры, большой длительностью сухого периода, местами охватывающего весь год (например, в Сахаре и на Аравийском полуострове).

Экологические признаки растений субтропического пояса следующие: многолетние растения имеют хорошо выраженный период вегетативного покоя. Древесная растительность – вечнозеленая и только у северной границы пояса появляются листопадные деревья (тунг, инжир, орех). Морозостойкость растений у северной границы пояса не более – 20 °С. Субтропические однолетние культуры теплого сезона не вегетируют при

температурах ниже 10-15 °С, не переносят заморозков и требуют за период вегетации суммы активных температур от 3000-3500 до 6000 °С.

Культуры холодного сезона обладают относительно высокой морозостойкостью, используют положительные температуры зимнего периода, не прекращая вегетации, отличаются потребностью к низким температурам (ниже 10 °С) в первые периоды развития. За период вегетации им необходима сумма активных температур воздуха до 2000 °С. Растения требовательны к влаге.

5. Тропический пояс. Характеризуется большими термическими ресурсами в течении всего года, обеспечивающими при наличии влаги непрерывную вегетацию растений. Состав культур очень разнообразен. Земледелие строится на основе культуры многолетних растений: чая, хинного дерева, кофе, какао, многолетнего хлопчатника, бананов, ананасов и др. Однолетние посевы дают несколько урожаев в год. Виды посевных работ и их напряжение неизменны в течении года.

В тропическом поясе температура не опускается до нуля и ниже ни в воздухе ни на почве (за исключением высокогорных районов). Средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха выше 5 °С; средняя температура самого холодного месяца 15-20 °С. Годовая амплитуда температуры воздуха невелика (5-8 °С) при довольно большой ее суточной амплитуде. По суммам температуры воздуха выше 10 °С выделено два термических подпояса: 1) от 6000 до 8000 °С на обширных плоскогорьях и в пограничных с субтропическим поясом районах; 2) 8000-10000 °С на низменностях экваториальной зоны. По обеспеченности осадками в тропическом поясе выделяются районы избыточного увлажнения в течении года и обширные районы, для которых характерно чередование сухих и дождливых периодов различной длительности. Годовая сумма осадков по территории пояса очень изменчива – от 100-150 мм в тропических пустынях до 10000-12000 мм в зонах избыточного увлажнения.

Экологическими особенностями растений тропического пояса являются: неспособность растений переносить понижения температуры ниже 5 °С; одинаковая требовательность их к теплу и свету во все фазы развития; незаконченность циклов развития у многолетних растений (т.е. существование наряду с созревшими плодами почек, цветов и созревающих плодов); затягивание вегетации при удлинении дня для однолетних растений.

По характеру увлажнения термические пояса разделены на зоны с определенными приемами земледелия по регулированию влажности почвы: 1) избыточно влажная зона с ГТК выше 1,5-2,0 (необходим дренаж; 2) зона достаточно влажная с ГТК от 1,0 до 1,5; 3) зона засушливая с ГТК 0,8-1,0; 4) сухая зона, ГТК 0,5-0,8 (орошение, богара); 5) очень сухая зона, ГТК ниже 0,5 (необходимо орошение). Дополнительно к ГТК

предложен показатель засушливости в виде отношения суммы температур, обеспеченной осадками, к сумме температур за вегетационный период. Этот показатель, выражающийся в процентах, позволяет четко выделить районы пустынь (где он равен 100 %) и районы круглогодичного избыточного увлажнения в тропической зоне, где он равен 0 %. По годовому ходу осадков выделены подзоны зимних осадков с сухим летом (средиземноморский), летних осадков с сухой зимой (муссонный), периодического увлажнения, полупустынь и пустынь.

Условия зимовки оценены Селяниновым по среднему из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха и средней температуре самого холодного месяца. На карте границы областей даны по T_x . Например, в умеренном поясе выделено пять областей: А) самый теплый район, где полевые работы ведутся круглый год ($T_x > 0$ °С); Б) – район с мягкой зимой, частыми оттепелями и малой высотой снежного покрова ($T_x \approx 0, -5$ °С); В) район с холодной зимой, но зимовка озимых и плодовых культур обеспечена ($T_x \approx -5, -15$ °С); Г) район с суровой зимой, возможно вымерзание озимых и плодовых культур ($T_x \approx -15, -20$ °С); Д) район с очень суровой зимой, озимые и плодовые культуры не выращиваются ($T_x < -20$ °С).

В целом многоцветная «Агроклиматическая карта мира» Селянинова дает возможность сравнивать отдельные территории по особенностям и сходству климатических ресурсов в целях их использования для сельскохозяйственного производства. Недостатком карты является мелкий масштаб (1:60 000 000), что затрудняет ее более широкое практическое использование. Это замечание в равной мере относится к разработкам других авторов.

Аналогичная карта в 1962 году была опубликована П.И. Колосковым [42]. Для оценки теплообеспеченности сельскохозяйственных культур он принял сумму температур воздуха выше 0 °С; для оценки влагообеспеченности – показатель увлажнения в виде

$$W = K \frac{P}{(E - e)} \quad (17.1)$$

где P - годовое количество осадков;

$(E - e)$ - сумма месячных величин дефицита влажности воздуха (мб), а для оценки условий перезимовки – температуру самого холодного месяца (T_x).

На комплексной агроклиматической карте пояса, зоны и области выделены путем наложения отдельных карт, составленных по вышеуказанным трем показателям, изолинии которых удваиваются при продвижении с севера на юг (например, по ΣT_c : 1000 °С, 2000, 4000, 8000 °С).

В результате такого районирования суша земного шара разделена Колосковым на ряд районов, относящихся к пяти поясам по суммам положительных температур воздуха (I, II, III, IV, V), к шести зонам по степени увлажненности территории (А, Б, В, Г, Д, Е) и к двенадцати областям (1-12) по температуре самого холодного месяца. Каждый агроклиматический район, обозначен трехзначной формулой, представляющей комбинацию из трех вышеуказанных показателей климата.

На территории земного шара выделены следующие тепловые пояса.

I. Арктический пояс. Годовая сумма положительных температур воздуха здесь менее 1000 °С. Сельское хозяйство в открытом грунте невозможно.

II. Полярный пояс. Суммы положительных температур воздуха составляют 1000-2000 °С. Температура самого холодного месяца в пределах этого пояса варьирует от -10 °С до -40 °С. Земледелие развито в большей степени в западных районах.

III. Умеренный пояс. Суммы положительных температур воздуха составляют здесь 2000-4000 °С. На всем пространстве умеренного пояса температура самого холодного месяца варьирует в пределах +5 °С (крайний запад Франции) и до -25, -30 °С (в Забайкалье Восточной Сибири России). Почти вся территория этого пояса входит в состав зоны достаточного увлажнения.

IV. Субтропический пояс. Он охватывает небольшие территории в странах Европы, Северной Америки, в Малой и Средней Азии. Суммы положительных температур воздуха составляют 4000-8000 °С. Температура самого холодного месяца колеблется в пределах от 0 °С до +10 °С. Условия увлажнения весьма разнообразные (от областей с избыточным увлажнением до засушливых и сухих).

V. Тропический пояс. Он является наиболее богатым по природным условиям и разнообразию культурных растений. Суммы положительных температур 8000-10000 °С. Температура самого холодного месяца изменяется в пределах от 10-15 °С до 15-20 °С и выше. Для большей части этого пояса характерны достаточные и избыточные условия увлажнения. Но есть отдельные районы с недостаточным увлажнением и даже очень сухие.

Карта Колоскова дает очень дробное деление суши земного шара на ряд небольших районов. Автор, к сожалению, не произвел комплексного анализа полученных агроклиматических районов. Неудачным является использование для оценки теплообеспеченности сельскохозяйственных культур суммы температур выше 0 °С – уровня, при котором, особенно на севере, учитывается большой процент неактивных для жизни растений температур.

В 1967 году была опубликована «Агроклиматическая карта мира», составленная Д.И. Шашко [116]. На этой карте для оценки теплообеспеченности сельскохозяйственных культур автор принял суммы температур воздуха выше 10 °С, причем градации их несколько отличаются от принятых Г.Т. Селяниновым. В целом Шашко на агроклиматической карте мира выделил четыре термических пояса, которые далее разделил на подпояса (Рис. 17.1).

1. Пояс холодный. Суммы температур воздуха выше 10 °С составляют 400-1200 °С. В нем два подпояса: X_0 – очень холодный (ΣT_c менее 400 °С) или культур закрытого и полужакрытого грунта и скороспелой овощной зелени в грунте; x – холодный (ΣT_c от 400 до 1200 °С) или ранних овощных культур с пониженными требованиями к теплу.

2. Пояс умеренный. Суммы температур воздуха выше 10 °С составляют здесь 1200-4000 °С. В нем два подпояса: Y_x – холодно-умеренный (ΣT_c от 1200 до 2200 °С) или культур умеренного пояса с пониженными требованиями к теплу (серые хлеба, пшеница, зернобобовые и др.); Y – умеренный (ΣT_c от 2200-4000 °С) или культур умеренного пояса со сравнительно повышенными требованиями к теплу (кукуруза на зерно, соя, рис, сахарная свекла и др.).

3. Пояс теплый. Суммы температур воздуха выше 10 °С составляют 4000-8000 °С. В нем два подпояса: T_y – умеренно-теплый (ΣT_c от 4000 до 6000 °С) или однолетних теплолюбивых культур с длинным вегетационным периодом (рис, хлопчатник и др.) и культур умеренного пояса в холодную половину года (озимая пшеница и др.); T – теплый (ΣT_c от 6000 до 8000 °С) или субтропических многолетних культур.

4. Пояс жаркий. Суммы температур воздуха выше 10 °С составляют здесь 8000 °С и более. Здесь самый разнообразный набор культур возделывается круглогодично. Это пояс тропических культур (кофе, какао, бананы и др.).

Влагообеспеченность территории автор определил по показателю увлажнения (KU), который рассчитывается по формуле

$$\hat{E}O = \frac{P}{\Sigma(E - e)}, \quad (17.2)$$

где P – количество осадков за год (мм);

$\Sigma(E - e)$ – сумма средних суточных дефицитов влажности воздуха за год (в мм).

По этому показателю выделены три зоны с рядом подзон различающихся по годовому ходу влагообеспеченности. Д – зона достаточного увлажнения, в ней подзона избыточно влажная ($KU > 1,33$) и

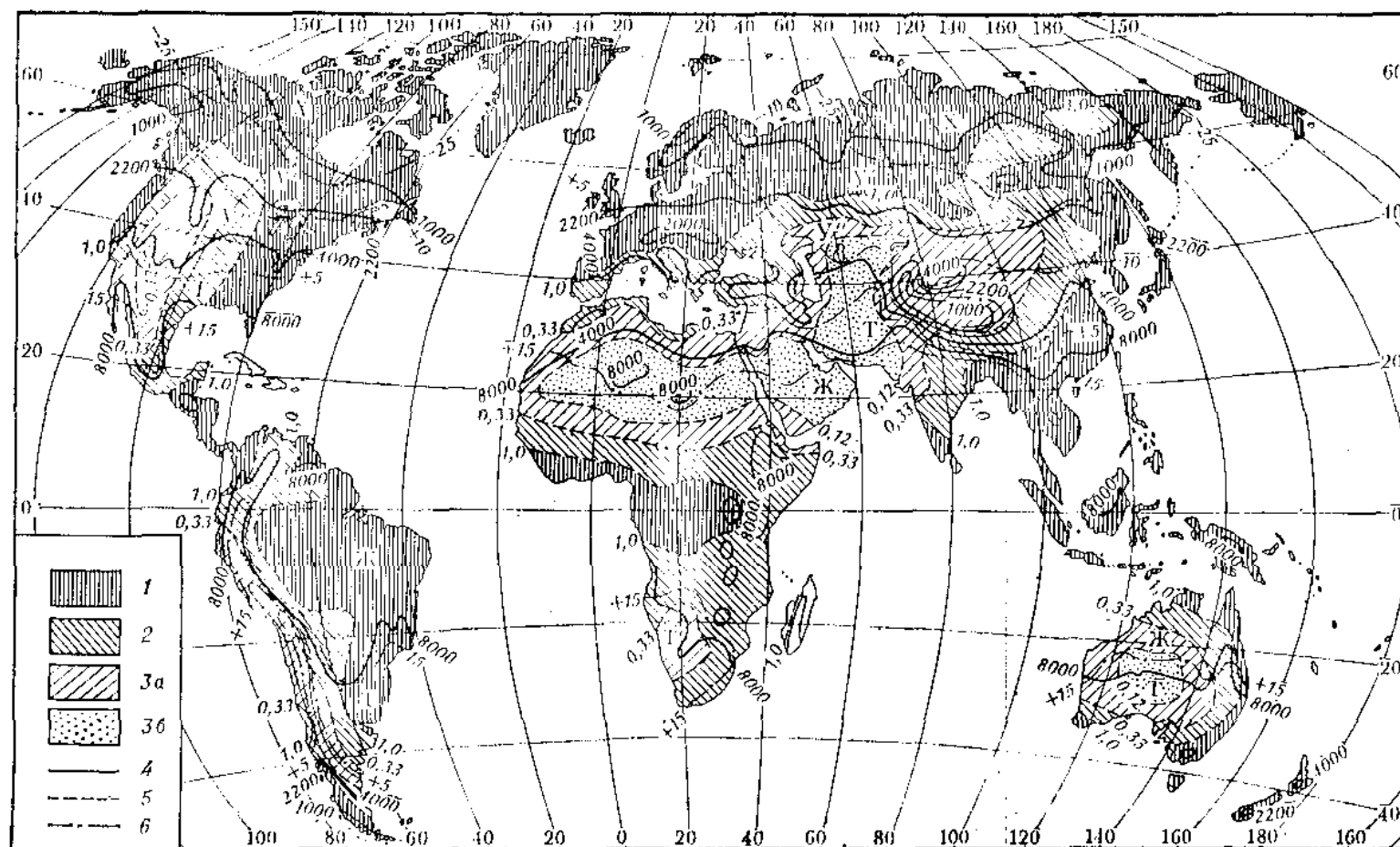


Рис. 17.1 - Агроклиматическая карта мира

Обеспеченность растений теплом (тепловые пояса и подпояса)

Холодный пояс – короткий период вегетации с летними заморозками; $\Sigma T > 10^{\circ}\text{C} < 1000^{\circ}\text{C}$; овощеводство закрытого грунта; очаговое земледелие, малотребовательные к теплу овощные культуры – редис, шпинат, лук на перо, репа, ранний картофель.

Умеренный пояс – земледелие в теплый период года. *Холодно-умеренный подпояс* – культуры с коротким вегетационным периодом - $\Sigma T > 10^{\circ}\text{C} = 1000 \dots 2200^{\circ}\text{C}$; серые хлеба, пшеница, зернобобовые, лен, картофель, плодовые, ягодники. *Умеренный подпояс* - $\Sigma T > 10^{\circ}\text{C} = 2200 \dots 4000^{\circ}\text{C}$; культуры со среднепродолжительным и длинным вегетационным периодом – поздние сорта зерновых, кукуруза на зерно, подсолнечник, сахарная свекла, в южной части подпояса хлопчатник, соя, арахис, виноград.

Теплый (субтропический) пояс - $\Sigma T > 10^{\circ}\text{C} = 4000-8000^{\circ}\text{C}$; теплолюбивые культуры с очень длинным вегетационным периодом – хлопчатник, кукуруза поздняя, маслины, цитрусовые, чай, табак, местами финиковая пальма и др.

Жаркий (тропический) – пояс - $\Sigma T > 10^{\circ}\text{C} > 8000^{\circ}\text{C}$; непрерывная вегетация растений в течение всего года (может прерываться сухим периодом); сбор нескольких урожаев за год; теплолюбивые многолетние и однолетние культуры с наиболее длинным периодом вегетации – сахарный тростник, кофе, какао, хинное дерево, каучуконосы и др.

Обеспеченность растений влагой (зоны увлажнения)

Влажная зона (1) – осадки за год превышают испаряемость или возможное испарение; $KУ > 1,0$. **Засушливая зона** (2) – осадки меньше испаряемости, $KУ = 1,0 \dots 0,33$. **Сухая зона** – испаряемость значительно превышает количества осадков; $KУ < 0,33$ полусухая и сухая зоны (3а) – $KУ = 0,12 \dots 0,33$, очень сухая зона (3б) - $KУ < 0,12$; 4 – суммы температур выше 10°C ; 5 – коэффициент годового атмосферного увлажнения ($KУ = P/\Sigma d$); 6 – температура самого холодного месяца.

Типы зимы (по температуре самого холодного месяца в году)

Зима отсутствует – $T_x < 15^{\circ}\text{C}$, теплая зима – $T_x = 15 \dots 5^{\circ}\text{C}$, мягкая зима – $T_x = 5 \dots -10^{\circ}\text{C}$, холодная зима – $T_x = -10 \dots -25^{\circ}\text{C}$, суровая зима – $T_x = -25 \dots -40^{\circ}\text{C}$, очень суровая зима – $T_x > 40^{\circ}\text{C}$.

подзона достаточно влажная ($KУ$ от 1,0 до 1,33), Н – зона недостаточного увлажнения; в ней подзона слабозасушливая ($KУ$ от 0,55 до 1,0) и подзона засушливая ($KУ$ от 0,33 до 0,55). С – зона незначительного увлажнения; в ней подзона сухая ($KУ$ от 0,12 до 0,33) и подзона очень сухая ($KУ < 0,12$).

Условия морозоопасности для зимующих культур Шашко определил по температуре самого холодного месяца (T_x) с учетом снежности зимы. На карте выделено шесть областей с разным типом зим по T_x и шесть секторов по снежности зимы. По вышеуказанным показателям климата автор выделил на территории суши земного шара 53 агроклиматических типа, обозначения которых дал сочетанием букв, цифр и условной штриховки, что позволяет в принципе легко определять на карте районы со сходными агроклиматическими условиями (рис.17.1).

Достоинством карты Шашко является оценка продуктивности климатов различных стран, впервые разработанная автором в мировом масштабе [116]. Показатели бонитета климата были определены для четырех термических поясов с помощью биоклиматического потенциала (методика расчетов БКП и Бк изложена в §11.2 главы 1.1). В табл. 17.2 представлены в обобщенном виде показатели бонитета климата на территории суши земного шара применительно к зерновым культурам.

Таблица 17.1 – Показатели бонитета климата территории суши земного шара для зерновых культур (по Шашко Д.И.)

Тепловой пояс	БКП	Бк, баллы	Урожай (ц/га)
1. Холодный пояс	1,3-1,2	23-84	5-17
2. Умеренный пояс	0,8-4,0	55-284	11-57
3. Теплый пояс	3,1-8,0	208-568	42-114
4. Жаркий пояс	6,3-10,0	416-710	86-140

Холодный пояс беден видовым составом культурных растений и мало продуктивен. Жаркий пояс богат видовым составом растений и отличается высокой продуктивностью климата. Однако следует иметь в виду, что получение высоких и устойчивых урожаев в различных регионах этих тепловых поясов возможно с применением дифференцированных мелиоративных мероприятий, направленных на оптимизацию агроклиматических условий.

17.3. Мировые агроклиматические аналоги

Одной из основных задач агроклиматического районирования мира и континентов является определение территорий со сходными условиями климата, обеспечивающими возможность заимствования и акклиматизации сельскохозяйственных культур, а также приемов земледелия. Чем ближе почвенно-климатические условия района к тем местам откуда растения завозятся, тем больше вероятность успешной интродукции, тем легче растения акклиматизируются. Первые работы по агроклиматическим аналогам принадлежат Маири и Павари. Эти авторы при установлении аналогов исходили из сравнения общеклиматических условий района без учета специфических требований конкретных культур и сельскохозяйственного производства. Поэтому растениеводы подвергли эти работы справедливой критики и показали, что такой общий подход не может обеспечить практику работ по акклиматизации растений. Еще в 1932 году академик Н.И. Вавилов указал, что вопрос о климатических аналогах нельзя рассматривать упрощенно. Полных климатических и почвенных аналогов не существует, поэтому проведение аналогий по общим климатическим характеристикам для сельскохозяйственного производства не достигает цели.

Г.Т. Селянинов [93] предложил находить агроклиматические аналоги для отдельных групп сельскохозяйственных культур по учету ведущих агроклиматических показателей, определяющих возможность произрастания данной культуры. Для многолетних и озимых культур необходим учет климатических условий, как вегетационного периода, так и зимовки их по показателям, ограничивающим возможность произрастания растений. Для однолетних культур можно обойтись установлением агроклиматических аналогов для их вегетационного периода, для культур холодной части года можно учитывать показатели только периода их вегетации.

Таким образом, установление агроклиматических аналогов для отдельных сельскохозяйственных культур сводится к выявлению подобия климатических условий тех ограниченных отрезков времени, которые существенны в жизни растений. В остальное время года климаты сравниваемых районов могут значительно различаться.

Селянинов показал, что нет ничего удивительного в том, что абиссинская пшеница, произрастающая у себя на родине при средних месячных температурах около 15 °С и «укладывающаяся» в относительно короткий вегетационный период, ограниченный большим дождливым периодом, созревает под Ленинградом (в настоящее время г. Санкт-Петербург). Это объясняется тем, что суммы температур за вегетационный период в горных районах Эфиопии и под Ленинградом очень близки (около 1700 °С) а увлажнение достаточно в обоих местах. Основное

различие в условиях произрастания пшеницы заключается в длительности дня. Но абиссинская пшеница сохраняет особенности растения длинного дня и ускоряет развитие при продвижении на север. Поэтому вызревание абиссинской пшеницы под Ленинградом не является экологическим парадоксом.

Попытки внедрения новых культур без удовлетворения требований их, в частности, к климату, приводят обычно к серьезным неудачам. Сюда относятся, например, попытки разведения чая на Дальнем Востоке и в Средней Азии, маслин в долине р. Дебет, хлопчатника на Украине, кукурузы в Вологодской и Кировской областях, в Забайкалье России и т.п.

Исходя из теоретических положений Селянинова, для установления агроклиматических аналогов необходимо: 1) выделение ведущих элементов климата, ограничивающих произрастание и акклиматизацию культуры на новом месте; 2) определение по фенологическим данным периода, для которого надо проводить сравнение агроклиматических условий территорий, особенно для однолетних сельскохозяйственных культур.

Теоретические положения Селянинова об агроклиматических аналогах подтверждаются почти тридцатилетней практикой интродукции субтропических культур на Черноморском побережье Кавказа, подтвердившей в основном правильность выделения и агроклиматического районирования субтропической зоны этого района.

Следствием дальнейшего развития теории агроклиматических аналогов явилась карта агроклиматических аналогов влажной и сухой субтропических зон бывшего СССР. На ней выделены площади аналогов сухих и влажных субтропиков первой, второй и третьей степени по сходству климатических условий и степени благоприятности для интродукции культур этой зоны. Дифференциация зоны проведена по температуре самого холодного месяца года, суммам температур и уровню температуры за летний вегетационный период, а для сухих субтропиков также по длительности засушливого и сухого периодов. Так, для зимнего периода выявлено сходство агроклиматических условий между северным побережьем Франции и Южной Англии с Черноморским побережьем Кавказа, хотя климаты этих регионов в остальное время года различны.

Мировые агроклиматические аналоги бывшего СССР по условиям произрастания отдельной культуры на примере винограда были определены Ф.Ф. Давитая в 1938 году. Позднее С.А. Сапожникова в 1957 году установила аналоги СССР для кукурузы в Западной Европе и в Северной Америке. По той же методике Г.Н. Ковальчук определила агроклиматические аналоги условий произрастания картофеля на ЕЧ СНГ, в Западной Европе и Северной Америке. В качестве основного критерия сходства она приняла агроклиматические условия периода клубнеобразования.

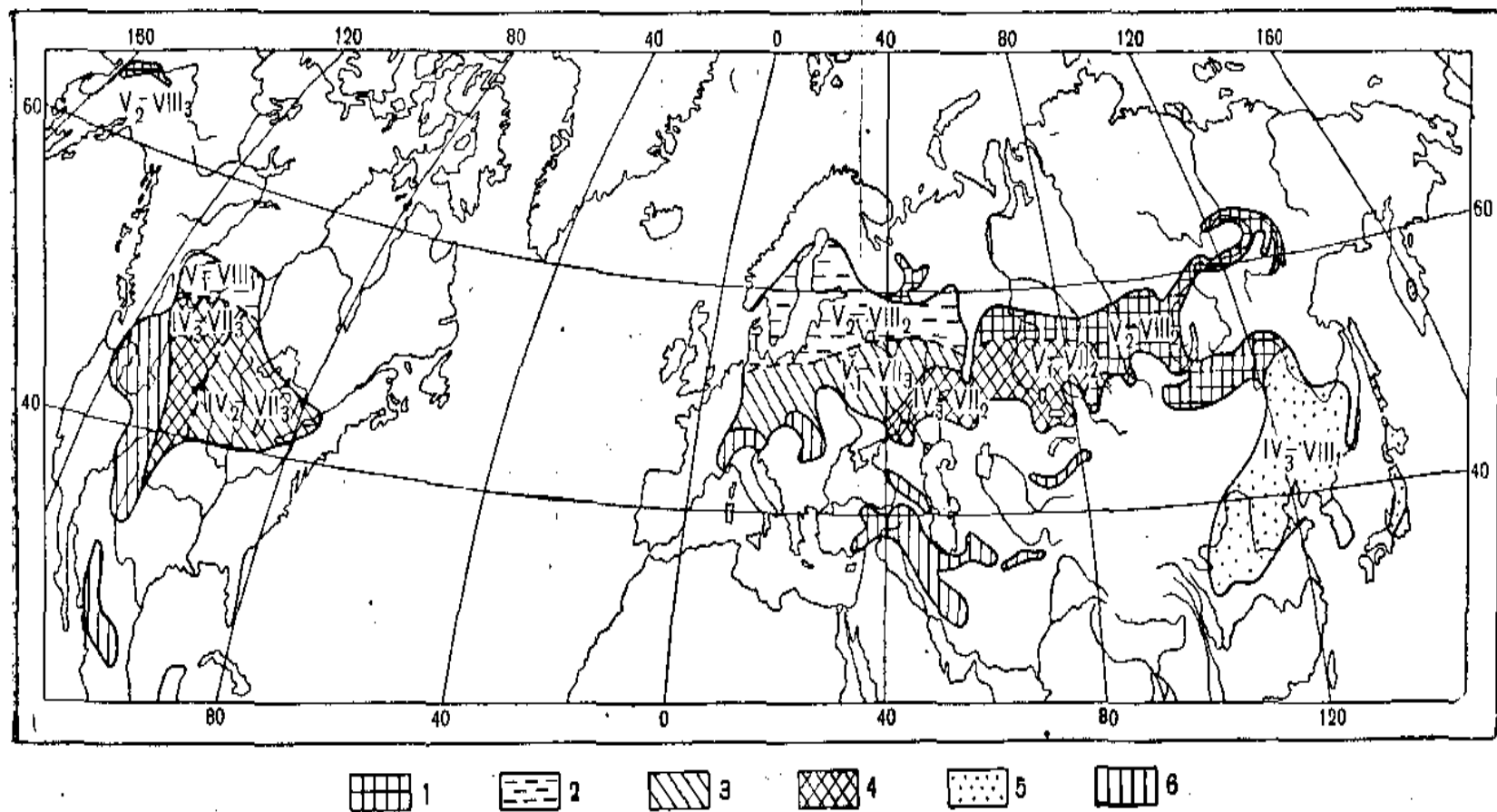


Рис. 17.2. Агроклиматические условия произрастания весенних посевов пшеницы: (районы 1-6 см. в табл. 17.1).

Интересные исследования проведены И.А. Гольцберг [1, 95] по установлению агроклиматических аналогов условий произрастания пшеницы весеннего и осеннего посевов в умеренной зоне СССР соответствующим районам Западной Европы Северной Америки. Для этой цели она построила соответствующие мировые карты в мелком масштабе. Например, на мировой карте весенних посевов пшеницы показано шесть типов районов, по сходству агроклиматических условий произрастания яровой пшеницы (рис.17.2). Основными показателями приняты: продолжительность периода колошения - восковая спелость (N_v) и ГТК в этот период уборки (T_c).

На мировой карте агроклиматических условий произрастания осенних посевов пшеницы Гольцберг выделила три зоны: I) с устойчивым зимним покоем озимой пшеницы; II) с неустойчивым зимним покоем; III) осенних посевов озимой и яровой пшеницы без зимнего покоя растений. В пределах трех зон выделено 14 типов климата с различными характеристиками сезонов года. Например, тип 1 – холодная зима, лето умеренно теплое, влажное; тип 5 – очень мягкая зима, лето жаркое засушливое; тип 10 – теплая зима, небольшие осадки зимой и весной, орошение.

Таблица 17.2 – Агроклиматические условия произрастания весенних посевов пшеницы.

Район	Колошение – восковая спелость		T_c , °C во время уборки
	N_v дни	ГТК	
1. Прохладный с возможными повреждениями пшеницы заморозками в фазу цветение – молочная спелость.	Более 45	1,0-1,2	Ниже 14
2. Умеренно теплый, влажный.	40-45	1,0-1,2	14-17
3. Теплый, влажный.	30-40	1,0-1,5	17-20
4. Теплый, засушливый.	30-40	0,8-1,0	20-22
5. Теплый и сухой весной, летом избыточно влажный.	Около 30	1,5-2,0 и более	20-22
6. Горные районы с высотной зональностью.	—	—	—

Для характеристики типов климата взяты следующие показатели: температура самого холодного месяца (T_x), продолжительность периода со снежным покровом ($N_{сп}$), продолжительность вегетационного периода

(посев-уборка), длительность дня (часы) за вегетационный период, ГТК, температура воздуха в период уборки.

Большие исследования в этой области проведены американским ученым М.И. Нутансеном [124]. Им установлены агроклиматические аналоги ряда зерновых культур с учетом фенологических данных о вегетационном периоде изучаемой культуры. Но оценка климатических условий произведена весьма приближенно с использованием только средних месячных температур воздуха и количества осадков. В результате этой большой работы автор составил серию мировых карт агроклиматических аналогов для ряда зерновых культур.

17.4. Общее агроклиматическое районирование территорий СНГ и стран Балтии

Задача агроклиматического районирования относительно ограниченной территории отдельных стран заключается в разделении ее по чертам климата, важным для сельского хозяйства, и выделению регионов, характеризующихся специфическими особенностями. Применительно к территории бывшего СССР карта общего агроклиматического районирования впервые была составлена Г.Т. Селяниновым, а опубликована в 1955 году [93]. Основное внимание он обратил на изучение пространственной изменчивости каждого из трех основных показателей районирования ($\Sigma T_c > 10^\circ\text{C}$, ГТК, $\bar{T}_m$). Ведущей на этой карте явилась оценка теплообеспеченности территории по суммам активных среднесуточных температур воздуха выше 10°C , на основе, которой было выделено четыре термических пояса – арктический, полярный, умеренный и субтропический.

Краткое описание термических поясов следующее.

I. Арктический пояс. Средняя температура самого теплого месяца ниже 10°C , ΣT_c не более $300\text{--}400^\circ\text{C}$. Земледелие осуществляется лишь в закрытом грунте. Развито оленеводство и охота.

II. Полярный пояс. Средняя температура самого теплого месяца ниже 15°C , ΣT_c выше 10°C на южной границе $1000\text{--}1200^\circ\text{C}$. Вегетационный период менее 100 дней. Круглосуточный день в июне способствует ускоренному развитию растений. В открытом грунте произрастают нетребовательные к теплу и культурные скороспелые растения: листовые овощи, корнеплоды, капуста, ранний картофель. В закрытом грунте культивируют теплолюбивые овощи (огурцы, томаты и др). Повсеместно развито оленеводство и охота.

III. Умеренный пояс. Занимает большую часть территории. Основная часть производительного сельского хозяйства находится в этом и следующем поясе. Суммы активных температур воздуха от северной границы пояса до южной изменяются примерно в три раза: от 1000-1200 °С до 3600 °С. В июне на северной границе день длится 20 часов, на южной – 15 часов. В этом поясе хорошо выражены четыре времени года. Сельское хозяйство представлено ассортиментом яровых и озимых культур, корнеплодов, овощей. В южной части территории культивируют бахчевые, плодовые и виноград. Развито животноводство мясо-молочного направления, требующие значительной заготовки кормов на зиму.

IV. Субтропический пояс. Характеризуется лишь двумя временами года – теплым и холодным; продолжительность дня в июне менее 15 часов, в декабре – около 9 часов. Суммы активных температур воздуха выше 10 °С 3600-4000 °С и более. Вегетация растений продолжается весь год. Обычно собирают два урожая: один в начале лета, другой – осенью. В холодный период произрастают озимые злаковые, овощи, в теплый – субтропические однолетние и многолетние растения (хлопчатник, рис, табак, чай, цитрусовые, южные плодовые и др.).

Агроклиматические пояса автор разделил на широтные и высотные зоны по сумме температур через 200-400 °С. По режиму увлажнения термические пояса подразделяются на 16 областей, различающиеся по годовому ходу обеспеченности влагой культурных растений, характеру осадков, повторяемости и времени наступления бездождных периодов, среднему значению *ГТК* за период июнь-август, весенним запасам влаги в почве, интенсивности стока и испарения. В том числе умеренный пояс разделен на 5 областей, а субтропический на 7 областей.

Агроклиматические области Селянинов разделил на 32 провинции по степени континентальности климата, которая определяется продолжительностью вегетационного периода, отношением возможного периода с температурой выше 10 °С и безморозковому периоду в виде $N_{вп}/N_{бп}$, повторяемостью засух, а также условиями перезимовки (морозоопасность по $\bar{T}_m$ за первую половину зимы, устойчивость и высота снежного покрова).

Всего на карте районирования выделено 52 агроклиматических районов. В легенде к карте дан перечень сельскохозяйственных культур, обеспеченных теплом в каждом термическом поясе и зоне. При этом подразумевалось, что во всех тепловых зонах вызревание культур более холодной зоны и обеспечено полностью. Название зон и подзон дано по преобладающей культуре (например, льняно-картофельная подзона со злаками, зерновая зона) или по особенностям возделывания культурных растений (подзона сухого земледелия, хлопковая неполивная подзона, зона ирригации и т.д.).

Следует особо отметить работы П.И. Колоскова [42, 95] по агроклиматическому районированию СССР. Цветная карта районирования была составлена в мелком масштабе (1:20 000 000) и опубликована в 1958 году. В отличие от Селянинова он использовал для оценки теплообеспеченности вегетационного периода суммы температур выше 0°C , для оценки суровости зимы – суммы температур ниже 0°C , и высоту снежного покрова в третьей декаде февраля. Влагообеспеченность Колосков оценивал по особому показателю увлажнения (см. формулу 17.1), рассчитанному в среднем за год.

На карте автор выделил цветом четыре тепловых пояса: арктический с $\Sigma T_c > 0^{\circ}\text{C}$ менее 1000°C ; полярный (северная часть с $\Sigma T_c \approx 1000-1500^{\circ}\text{C}$, южная часть с $\Sigma T_c \approx 1500-2000^{\circ}\text{C}$); умеренный (северная часть с $\Sigma T_c \approx 2000-3000^{\circ}\text{C}$, южная часть с $\Sigma T_c \approx 3000-4000^{\circ}\text{C}$); субтропическая с $\Sigma T_c \approx 4000-8000^{\circ}\text{C}$. Причем суммы температур воздуха выше 0°C от пояса к поясу возрастают в два раза.

Зоны увлажнения даны второй нагрузкой на карте в виде различных штриховок. Выделено 6 зон увлажнения: А – сухая (менее 2); Б – засушливая (2-4); В – недостаточного увлажнения (4-8); Г – умеренного увлажнения (16-32); Е – избыточного увлажнения (более 32). От одной зоны и другой показатель увлажнения также возрастает в два раза (табл. 17.3).

Таблица 17.3 – Зоны увлажнения на территории СНГ и стран Балтии (по П.И. Колоскову)

Зоны	Степень увлажнения	Географическое наименование	Почвы	Климатическая характеристика	
				$\frac{P}{(E - e)}$, мб	ПБДП (%)
А	Сухая зона	Пустыня	Пустынные	2	70
Б	Засушливая зона	Полупустыня	Бурые	2-4	45-70
В	Недостаточное увлажнение	Степь	Каштановые	4-8	30-45
Г	Умеренное увлажнение	Лесостепь	Черноземные	8-12	10-30
Д	Достаточное увлажнение	Лес	Подзолистые	12-24	<10
Е	Избыточное увлажнение	Болото, тундра	Болотные, тундровые	24-32	0

Примечание. ПБДП – повторяемость бездождных периодов за апрель-июнь продолжительнее 50 дней (%).

Колосков выделил 7 областей, характеризующих условия морозоопасности зимой по ΣT_c ниже 0°C : 1 – очень мягкая ($-500, -1000^\circ\text{C}$); 3 – типично русская ($-1000, -1500^\circ\text{C}$); 4 – более холодная ($-1500, -2000^\circ\text{C}$); 5 – холодная ($-2000, -4000^\circ\text{C}$); 6 – суровая ($-4000, -6000^\circ\text{C}$); 7 – жесткая (более -6000°C). Кроме того, выделено 7 округов по снежности зимы, обозначив их буквами (а, б, в, г, д, е). В качестве показателя взята высота снежного покрова за третью декаду февраля.

Каждый из показателей автор обозначил определенным шифром, что позволило ему характеризовать агроклиматические особенности любого района особым индексом. На основе климатического районирования им выделено семь агроклиматических регионов не только по обеспеченности произрастания видов и сортов сельскохозяйственных культур, но и по основной специфике сельского хозяйства в каждом из них: 1) оленеводство и охотничий промысел; 2) лесной промысел; 3) травопольно-луговая система земледелия; 4) комплексное сельское хозяйство, плодосменная система земледелия; 5) травопольно-степная система земледелия; 6) пастбищное животноводство с мелко-оазисными базами; 7) комплексное сельское хозяйство субтропиков.

Агроклиматическое районирование территории бывшего СССР, выполненного С.А. Сапожниковой [22] впервые содержит оценку потенциальной продуктивности климатов умеренного пояса для зернового хозяйства. На карте мелкого масштаба (1:20 000 000) она выделила агроклиматические пояса и подпояса по термическому показателю – по суммам активных температур воздуха выше 10°C . К их числу относятся: А – арктический, Б – субарктический, В – умеренный (в нем пять подпоясов), Г – субтропический (рис. 17.3). По показателю увлажнения – ГТК Селянинова на карте выделены три зоны: I – влажная, II – засушливая (в ней три подзоны), III – сухая. По среднему из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха и почвы выделены области и подобласти, различающиеся по условиям перезимовки.

Установленная Сапожниковой зависимость урожайности зерновых культур от климатических условий позволила ей дать балловую оценку продуктивности (бонитета) климата, которая представлена в табл. 17.4. Из этих данных следует, что возможная продуктивность климата возрастает от умеренно теплого к теплому и жаркому подпоясам в условиях оптимального увлажнения от 3^x до 10 баллов. С возрастанием засушливости почти в два раза снижается продуктивность климата.

Наиболее полное и детальное агроклиматическое районирование территории бывшего СССР в цветном варианте было выполнено Д.И. Шашко [115] в рабочем масштабе 1:4 000 000. Он уделил особое внимание бонитировке и экономической оценке климатических условий, а также определению мировых агроклиматических аналогов. О сущности и принципах сельскохозяйственной бонитировки климатов, а также оценке

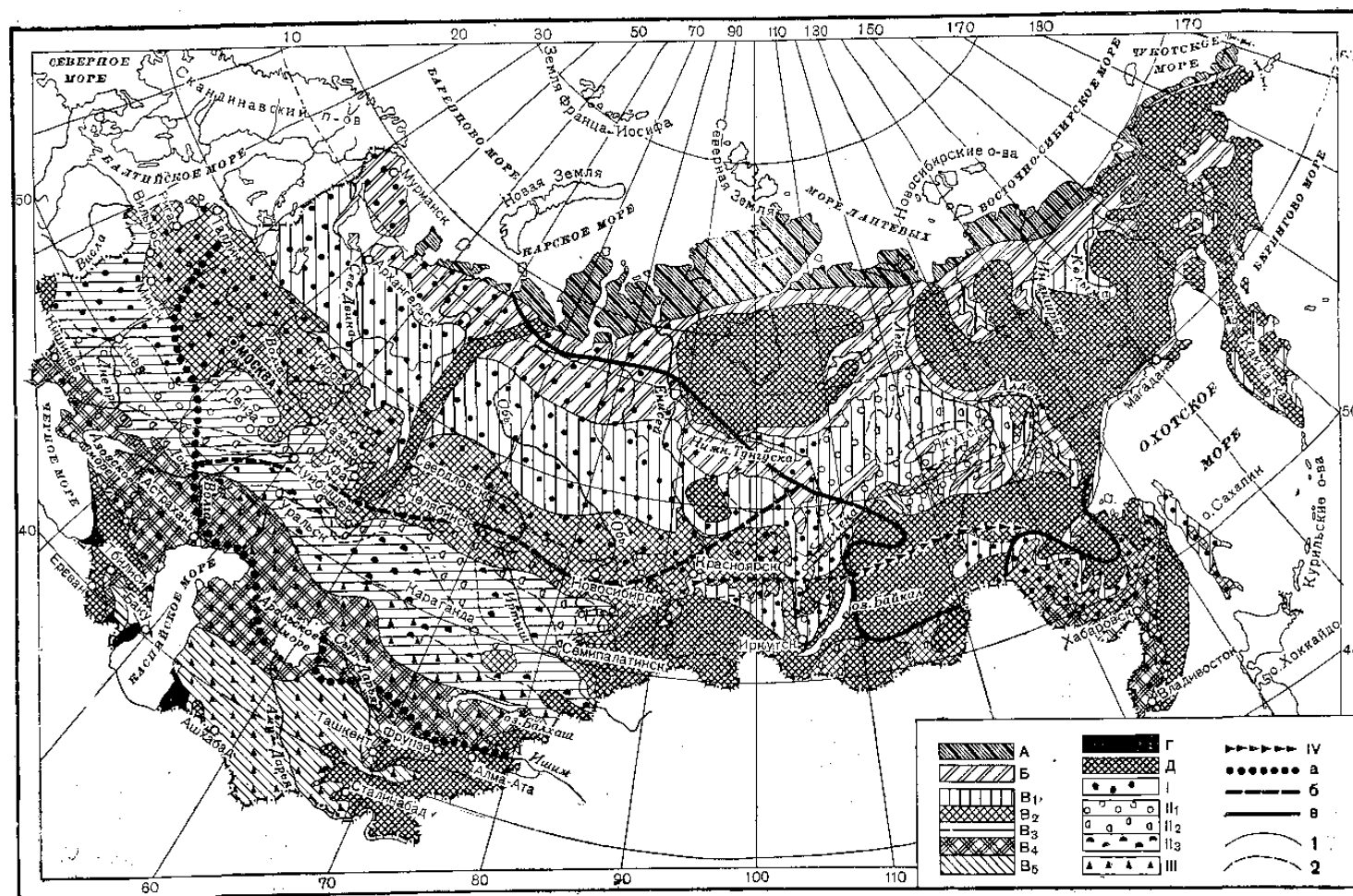


Рис. 17.3 – Агроклиматическое районирование территории СНГ и стран Балтии по С.А. Сапожниковой.

Таблица 17.4 – Потенциальная продуктивность зернового хозяйства
(в баллах)

Зоны и подзоны увлажнения	Термические подпояса		
	умеренно теплый	теплый	жаркий
Влажная	3	5	10
Засушливая			
незначительно засушливая	3	4	9
засушливая	2	4	8
очень засушливая	2	3	6

биоклиматического потенциала территории сказано в главе 11. Поэтому здесь рассмотрим показатели и структуру агроклиматического районирования территории СССР.

По данным автора все климаты на этой территории «укладываются» в три тепловые агроклиматические пояса, которые подразделяются на шесть подпоясов. Граница поясов и подпоясов проведена по определенным величинам ΣT_c выше 10°C (рис. 17.4 и табл 17.4). Для каждого подпояса указан набор культурных растений с учетом обеспеченности их биологическими суммами средних суточных температур воздуха на 90 % (т.е. 9 раз в 10 лет).

Далее автором выделены три области по годовому показателю увлажнения (осадки, отнесенные к годовой величине испаряемости – P/f): Д – достаточного увлажнения; Н – недостаточного; С – незначительного увлажнения; К – комплексные, преимущественно горные области. В пределах каждой области выделены подобласти по соотношению осадков теплого периода (апрель-сентябрь) и холодного (октябрь-март) полугодий. Подобласти обозначены на карте в виде: Д – 3, Н – 4 [2] и т.п.

Следующая таксономическая единица агроклиматического деления – агроклиматическая зона, под которой Шашко понимает территорию области или подобласти, однородную по увлажнению. Агроклиматические зоны примерно совпадают с природными зонами (тайга, лесостепь, степь и т.д.). На карте выделено пять зон (пояснение к ним дано в табл.17.5). По комплексу климатических условий, от которых зависят виды и породы произрастающих растений, зоны разделены на провинции. На территории СНГ и стран Балтии выделено 67 агроклиматических провинций (территории со сравнительно однородным режимом элементов климата в теплое и холодное полугодие).

Далее при более детальном делении провинции расчленяются на сектора, различающиеся по суровости зимы. Последние делятся на округа, различающиеся по снежности зимы и районы. Это позволяет в принципе переходить от макроклиматического к региональному районированию.

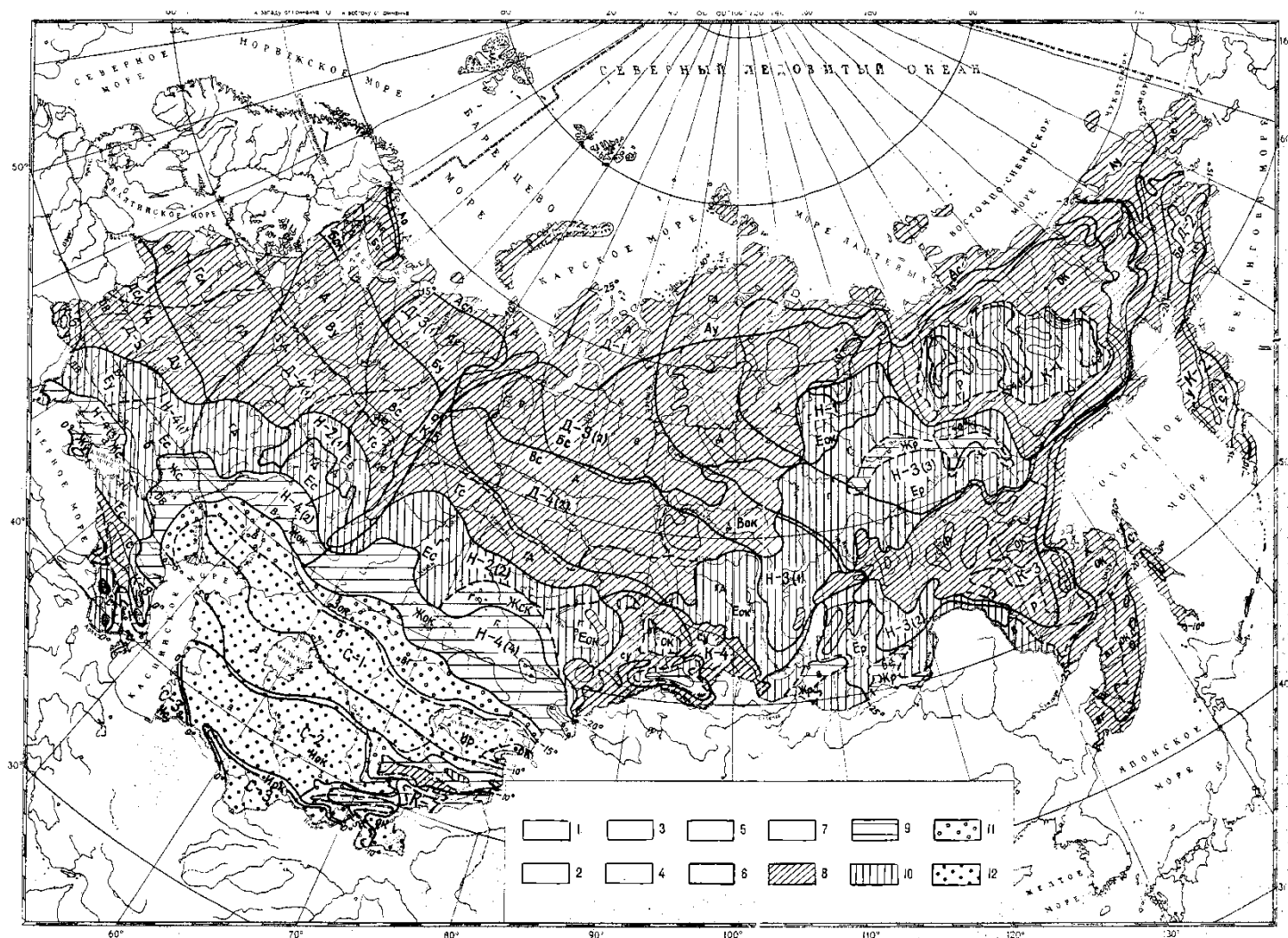


Рис.17.4 – Агроклиматическое районирование территории СНГ и стран Балтии по Д.И.Шашко
(пояснения см. в табл. 17.4-17.6)

Таблица 17.5 – Агроклиматические тепловые пояса и подпояса, выделенные по ΣT_c выше 10 °С

Пояс, подпояс	$\Sigma T_c > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$
<u>Пояс холодный</u> 1. Подпояс очень холодный или культур закрытого, полужакрытого грунта и скороспелой овощной зелени в грунте. 2. Подпояс холодный или малотребовательных к теплу ранних овощных культур.	менее 400 400-1200
<u>Пояс умеренный</u> 3. Подпояс холодно-умеренный или ранних культур умеренного пояса со сравнительно пониженными требованиями к теплу (зерновые колосовые, зернобобовые, картофель, лен и др.). 4. Подпояс умеренный или средних и поздних культур умеренного пояса со сравнительно повышенными требованиями к теплу (кукуруза на зерно, подсолнечник на семена, сахарная свекла на сахар, соя, рис и др.).	1200-2200 2200-4000
<u>Пояс теплый</u> 5. Подпояс умеренно теплый или однолетних теплолюбивых культур с длинным вегетационным периодом (хлопчатник). Зима мягкая. 6. Подпояс теплый или субтропических многолетников. Зима очень мягкая и теплая. 7. Горы с нерасчлененной вертикальной поясностью.	более 4000 4000-5000 и более

Таблица 17.6 – Агроклиматические зоны, выделенные по годовому показателю увлажнения

Агроклиматическая зона	P/f
8. <u>Влажная</u> А – Тундровая, Б – Северотаежная, В – Среднетаежная, Г – Южнотаежная, Д – Широколиственных лесов.	более 1,00
9. <u>Слабозасушливая</u> Е – Лесостепная и степная на обыкновенных черноземах; в восточных районах страны таежно-лесная (северо-, средне- и южно таежная).	0,55-1,00
10. <u>Засушливая</u> Ж – Степная на южных черноземах и каштановых почвах, в восточных районах лесостепная, степная и таежно-лесная.	0,33-0,55
11. <u>Полусухая</u> З – Полупустынная.	0,22-0,33
12. <u>Сухая</u> И – Пустынная.	менее 0,22

Таблица 17.7 – Агроклиматические сектора и округа, различающиеся по суровости снежности зимы

Суровость зимы по T_x °С	Снежность зимы посреди зимы (см)
Т – теплая выше 5 ОМ – очень мягкая 5-0 М – мягкая 0, -5 УМ – умеренно мягкая -5, -10 УХ – умеренно холодная -10, -15 Х – холодная -15, - -20 ОХ – очень холодная -20, - -25 УС – умеренно суровая -25, - -30 С – суровая -30 - -35 ОС – очень суровая -35, - -40 Ж – жестокая -40 - -45 ОЖ – очень жестокая ниже -45	А –бесснежная менее 5 Б – очень малоснежная 5-10 В – малоснежная 10-20 Г – умеренно-снежная 20-40 Д – достаточно-снежная 40-60 Е – многоснежная более 60
-25 Изолинии температуры самого холодного месяца	

Однако мелкий масштаб агроклиматической карты (рис 17.4) ограничивает реальную возможность выполнить мезоклиматическое районирование в пределах отдельных регионов. Кроме того, для этих целей необходима картографическая основа в более крупном масштабе, максимально приближенная к среднему, а также введение агроклиматических показателей, чувствительных к микроклимату.

Глава 18. СПЕЦИАЛЬНОЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ОТДЕЛЬНЫМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ КУЛЬТУРАМ

Успешное развитие адаптивного растениеводства в любой стране требует научного обоснования рационального размещения культурных растений и их сортов по территории. Знание общих агроклиматических ресурсов отдельных районов и страны в целом для таких целей недостаточно. Поэтому проводятся соответствующие агроклиматические исследования условий произрастания отдельных сельскохозяйственных культур и агроклиматическое районирование территории применительно к конкретным культурам и их сортам. Подобные разработки необходимы также при дифференцированном подходе к различным приемам возделывания сельскохозяйственных культур.

Агроклиматическому районированию конкретной сельскохозяйственной культуре, как и общему районированию предшествует определение агроклиматических показателей, являющихся основой для районирования. Агроклиматические ресурсы территории и выявленные показатели конкретной культуры выражают одними и теми же характеристиками. Сопоставляя их, выделяют зоны, подзоны и районы с различной степенью благоприятствования возделыванию отдельной культуры или с различной обеспеченностью определенного уровня урожайности и качества продукции.

Одним из основных факторов, определяющих возможность произрастания любой культуры, являются ресурсы тепла. В большинстве работ по специальному районированию ресурсы тепла и потребность в них сельскохозяйственных культур выражают суммой активных температур воздуха выше 5 или 10 °C.

Влага также является основным фактором для оптимального развития растений, поскольку лишь при оптимальном увлажнении растения могут наиболее эффективно использовать тепло для создания максимального урожая. При районировании отдельных культур по влагообеспеченности в качестве показателей последней используют различные коэффициенты увлажнения, рассмотренные в главе 7. Из этих коэффициентов наиболее часто используют ГТК или его различные модификации.

Для зимующих культур необходима дополнительная оценка климата в холодное время года по условиям морозоопасности. Она проводится на основе общих положений, изложенных в главе 8. Применительно к отдельным культурам, возделываемых в умеренном и субтропическом поясе, дается оценка условий заморозкоопасности весной и осенью. Выбор

агроклиматических показателей при этом определяется спецификой культуры и особенностями климата на той или иной территории.

Агроклиматическое районирование отдельных культур по продуктивности проводят на основе показателей, связывающих величину урожая с агроклиматическими факторами. К таким факторам относят главным образом солнечную радиацию, тепло, влагу и некоторые другие. Оценка продуктивности культуры может быть дана непосредственно в ц/га или условно в баллах.

К настоящему времени для отдельных регионов территории СНГ, а также стран дальнего зарубежья произведено агроклиматическое районирование довольно большого числа культур: яровой и озимой пшеницы, кукурузы, винограда, картофеля, сахарной свеклы, подсолнечника, сои проса, риса и пр. Здесь нет необходимости рассматривать районирование всех культур, так как это не является задачей учебника. При выборе рассматриваемых ниже культур автор исходит из двух основных принципов: культура имеет существенное значение в сельскохозяйственном производстве в пределах стран СНГ и Европы: районирование культуры произведено с учетом современных достижений агроклиматологии.

18.1. Агроклиматическое районирование яровой и озимой пшеницы

Яровая пшеница – одна из основных зерновых культур. Она произрастает на территории земного шара в самых разнообразных климатических условиях, что объясняется в основном коротким ее вегетационным периодом, а также многообразием ее сортов с различными экологическими признаками. Несмотря на то, что среди зерновых культур пшеница занимает первое место, агроклиматическое районирование ее для территории СНГ, а также стран дальнего зарубежья на уровне современных требований еще не закончено.

В исследованиях Г.Т. Селянинова [92] выявлены основные требования различных сортов пшеницы к климату. В ареале произрастания сев яровой пшеницы проводится при средних суточных температурах от 5 до 10 °С, колошение проходит при температуре от 15 до 18 °С, созревание – в пределах 22 – 12 °С. В районах, где созревание наблюдается при температурах ниже 15 °С, пшеница, как правило, не дозревает. В течении вегетации устойчивость пшеницы к низким температурам резко меняется. Если в начале развития она не повреждается даже при -10 °С, то в период колошения повреждение наступает уже при температуре несколько ниже 0 °С. Зерно пшеницы в стадии зеленой спелости повреждается при

температуре порядка -3°C , а в стадии молочной и восковой спелости - при $-5, -10^{\circ}\text{C}$.

Длительность вегетационного периода разных сортов пшеницы колеблется от 75 до 120 дней. Для одного и того же сорта пшеницы она может существенно изменяться в зависимости от длины дня и уровня температур. Селянинов отмечает, что влияние температуры на продолжительность вегетационного периода не меньше, чем влияние сортовых различий.

В целом на средней широте своего ареала яровая пшеница типа Гарнет требует для созревания 1450°C , среднеспелые сорта типа Мелянопус $69 - 1670^{\circ}\text{C}$, типа Гордейформе – 1700°C , а позднеспелый сорт Германский $74 - 1880^{\circ}\text{C}$. Очень важен вывод Селянинова о том, что суммы активных температур для разных сортов за период вегетации на определенной широте из года в год почти не зависят от изменчивости температур; следовательно различные агроклиматические расчеты, выполненные с использованием этих сумм, надежны.

Для того, чтобы дать более детальную характеристику агроклиматических условий произрастания пшеницы, необходимо проанализировать ресурсы климата по ее главнейшим межфазным периодам. Для этого Селянинов исследовал потребность пшеницы за периоды посев – всходы, всходы – колошение и колошение – созревание. При изучении периода всходы – колошение обнаружено большое влияние температуры и длины дня на продолжительность этого периода. Потребность пшеницы в тепле в этот период уменьшается с увеличением широты. Однако по-прежнему на одной и той же широте потребность пшеницы в тепле остается достаточно постоянной и поэтому суммы температур для этого периода также являются надежным агроклиматическим показателем. Аналогичная закономерность выявлена и для периода колошение – созревание пшеницы.

Им также определена потребность этой культуры во влаге по значениям ГТК за период всходы – колошение. Как видно из табл. 18.1, урожай пшеницы возрастает в три раза с увеличением коэффициента увлажнения от 0,3 до 1,4 – 1,9. При дальнейшем возрастании ГТК до значений порядка 2 – 2,7, характерных для условий избыточного увлажнения происходит существенное снижение урожая. И хотя уровни урожаев, характерные для 30 – 40^{ых} годов прошлого столетия весьма низкие, они весьма убедительно показывают зависимость их от показателей увлажнения.

Исследования показали, что агроклиматические условия произрастания яровой пшеницы на той или иной территории могут быть определены следующими основными показателями: длительностью дня весной (часы), климатическими и биологическими суммами температур, продолжительностью вегетационного периода, ГТК за период колошение –

восковая спелость, температурой периода уборки. Для более детального изучения влияния климата на любую культуру необходимо привлекать дополнительные показатели: суточную амплитуду температуры, дневные и ночные температуры и их суммы, запасы продуктивной влаги в почве, показатели, учитывающие влияние агроклиматических условий на урожай и качество продукции.

Таблица 18.1 - Зависимость урожаев яровой пшеницы Лютесценс 62 в период всходы – колошение

Характеристика	Показатель увлажнения (ГТК)						
	0-3	0,4-0,7	0,8-1,0	1,1-1,3	1,4-1,9	2,0-2,7	3,0
На черноземных почвах							
Средний урожай (ц/га)	4,4	9,6	12,7	13,2	13,0	10,5	10,4
Число случаев	27	51	33	43	20	11	2
На подзолистых почвах							
Средний урожай (ц/га)	4,4	9,8	10,6	11,4	13,3	8,8	
Число случаев	4	18	11	13	21	7	

В качестве примера такого подхода рассмотрим исследования Н.Б. Мещаниновой [95] по агроклиматическому районированию пшеницы в условиях Кулундинской степи России с максимальным приближением их к решению практических задач. Автор установила ряд важных количественных связей: зависимость между количеством образующихся вторичных корней и суммарным испарением влаги из почвы, зависимость между декадным приростом пшеницы в высоту и запасами продуктивной влаги к началу декады, зависимость между конечным урожаем пшеницы и расходом влаги за весь период вегетации и пр.

Выявленные закономерности позволили Мещаниновой дифференцированно произвести агроклиматическое районирование указанной территории, на основе которого по районам определены нормы водопотребления яровой пшеницы в условиях естественного увлажнения, оптимальные оросительные нормы различной климатической обеспеченности, средние прибавки урожая при оптимальных нормах орошения, средние сроки поливов и ряд других агроклиматических показателей и характеристик. Примерно такого же плана работа Л.А. Разумовой по агроклиматической оценке территории Поволжья применительно к яровой пшенице. Проведенное ею агроклиматическое районирование позволило в конечном итоге выделить в Поволжье районы различной климатической эффективности орошения яровой пшеницы.

Озимая пшеница. При агроклиматическом районировании этой культуры необходимо введение показателей, учитывающих осенний период вегетации, период зимнего покоя и весенне-летний период вегетации. Применительно к территории бывшего СССР такой подход осуществили В.А. Моисейчик [71] и Е.С. Уланова [107]. Позднее эти авторы [3] выполнили агроклиматическое районирование озимой пшеницы для территории стран Восточной Европы, включая ЕЧ СНГ. Оно состоит из трех цветных карт, построенных в масштабе 1: 5 000 000.

Агроклиматическая карта осеннего периода вегетации (период от устойчивого понижения температуры воздуха ниже 12 °С до понижения ниже 5 °С осенью, а для континентальной части территории – от 15 °С до 5 °С) построена Е.С. Улановой. В качестве показателей взяты ΣT_c за вышеуказанный период, а также средний многолетний коэффициент кустистости пшеницы (он характеризует связь между темпами кущения и активной суммой температур). По этим показателям на карте цветом выделено 6 макрорайонов, различающихся по ΣT_c от 300 °С и менее до 500 °С и более.

Оценка условий увлажнения выполнена по количеству средних многолетних осадков за периоды: две декады до и две декады после посева пшеницы. Значения осадков были увязаны с показателем увлажнения в виде ГТК Селянинова. Второй нагрузкой на карте в виде разных штриховок выделено 6 зон по Σr за 40-дневный период (две декады до и две декады после перехода T_c через 12 – 15 °С осенью). Количество осадков менее 20 мм характеризуют сухую зону, а осадки более 100 мм – переувлажненную.

Вторая карта условий перезимовки озимой пшеницы была построена В.А. Моисейчик. Для этой цели она разработала комплексный показатель морозоопасности в виде

$$K_{\zeta} = \frac{\bar{I}}{\bar{n}} \cdot \frac{\bar{T}_m}{T_k}, \quad (18.1)$$

где $\bar{H}$ - средняя многолетняя максимальная за зиму глубина промерзания почвы (см);

$\bar{n}$ - средняя продолжительность залегания снежного покрова (дни);

$\bar{T}_m$ - средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха;

T_k - критическая температура вымерзания. Показатель $\hat{E}_{\zeta}$ - был увязан со средней многолетней площадью погибших озимых в результате вымерзания.

В связи с тем, что в ряде стран не известно значение критической температуры вымерзания возделываемых сортов озимой пшеницы Э.И.

Дилковым [4] в формулу (18.1) внесено изменение - исключено значение $T_{\hat{e}\delta}$. В таком случае комплексный показатель суровости зимы $\bar{E}'_{\zeta}$ был вычислен по формуле

$$\bar{E}'_{\zeta} = \frac{\bar{I}}{\bar{n}} \cdot \bar{T}_m. \quad (18.2)$$

Далее используя разработки Моисейчик, автор выполнил балловую оценку агроклиматических условий перезимовки озимой пшеницы с морозостойкостью T_k равной -14 °С, -16, -18, -20, -22 °С при различных значениях $\bar{E}'_{\zeta}$.

В результате обобщения материалов была составлена единая карта, на которой выделены 3 зоны: с хорошими (со значениями $\hat{E}_{\zeta}$ и $\bar{E}'_{\zeta}$, соответствующими оценке 4 и 5 баллов), удовлетворительными (3 балла) и плохими (1 и 2 баллов) условиями перезимовки озимой пшеницы. На этой же карте изолиниями даны границы районов, где по условиям перезимовки возможно возделывание различных по морозостойкости сортов пшеницы ($T_k = -16, -18, -20$ °С). На рассматриваемой территории условия перезимовки озимой пшеницы весьма разнообразны. Наиболее суровыми они являются в континентальных степных районах России.

Районирование агроклиматических условий в период формирования урожайности озимой пшеницы было выполнено Улановой. Она установила, что наилучшая связь между урожайностью этой культуры и агроклиматическими условиями в зоне черноземных почв зависит от двух основных факторов: а) условий влагообеспеченности в весенне-летний период (K_1); б) показателя биологической продуктивности (биомассы) в восковую спелость (K_2). Эти два фактора выражены в следующем виде:

$$K_1 = \frac{W_{\hat{a}} + \Sigma r_{\hat{a}\hat{n}}}{0,01 \cdot \Sigma \dot{O}_{\hat{a}\hat{n}}}, \quad (18.3)$$

$W_{\hat{a}}$ - запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в декаду возобновления вегетации озимой пшеницы весной;

$\Sigma r_{\hat{a}\hat{n}}$ - сумма осадков от возобновления вегетации пшеницы весной до восковой спелости;

$\Sigma \dot{O}_{\hat{a}\hat{n}}$ - сумма средних суточных активных температур воздуха выше 5 °С от возобновления вегетации весной до восковой спелости.

$$K_2 = 0,001(C_{\hat{e}\hat{n}} \cdot \hat{I}), \quad (18.4)$$

где C_{kc} - число колосonoсных стеблей на 1 м² в фазу восковой спелости;
 H - высота посева в эту фазу.

В ряде стран из-за отсутствия данных по запасам продуктивной влаги в почве весной и о состоянии посевов пшеницы во время восковой спелости оказалось невозможным использовать формулу (18.3 и 18.4) для определения общего комплексного показателя K . В таком случае можно использовать формулу (18.3), в которой косвенно определяется весенний запас воды в почве. Таким показателем является сумма осенне-зимних осадков (за период X- III) с коэффициентом 0,5. В этом случае уравнение (18.3) получит следующий вид

$$K_1 = \frac{0,5\sum r_{(X-III)} + \sum r_{вс}}{0,01 \cdot \sum T_{вс}} \quad (18.5)$$

На карте Уланова на основе связи агроклиматического показателя K_1 с урожайностью озимой пшеницы выделила 4 зоны условий формирования урожаев со следующей градацией:

K_1 - <12 – неблагоприятные, плохие условия;

K_1 - от 12 до 18 – недостаточно благоприятные условия;

K_1 - от 18 до 23 – удовлетворительные условия;

K_1 - > 23 – хорошие условия.

Например, наиболее неблагоприятные агроклиматические условия формирования урожайности озимой пшеницы складываются в Нижнем Поволжье России. Там часто в следствие жаркой и сухой погоды бывает значительное снижение урожайности. Хорошими условиями формирования урожайности озимой пшеницы в осенне-летний период характеризуются Краснодарский край России и большая часть черноземной зоны, главным образом районы, находящиеся северо-западнее линии Кишинев, Кировоград, Полтава, Болград, Воронеж и Тамбов. В этих районах часто средние урожаи пшеницы достигают 32 – 38 ц/га и более. Подобные агроклиматические условия имеют место в более высоких районах Болгарии, Карпатской и Закарпатской части Румынии, на большей части территории Чехословакии.

18.2. Агроклиматическое районирование кукурузы

Агроклиматическое районирование кукурузы для территории бывшего СССР впервые было выполнено С.А. Сапожниковой совместно с В.А. Смирновой и М.И. Мель [89]. На карте мелкого масштаба

(1 : 15 000 000) было выделено разной штриховкой 7 термических зон по суммам активных температур воздуха выше 10°C с вероятностной оценкой наступления фаз развития кукурузы на сортовом уровне. Например, в прохладной зоне I при $\Sigma T_c \approx 1000 - 1400^{\circ}\text{C}$ указывается сколько раз из десяти лет возможно выметывание метелки, тоже – для молочно-восковой и хозяйственной спелости. Вторая легенда к карте указывает на возможности пожнивных посевов кукурузы в зонах IV, V, VI, VII по термическим условиям.

Условия увлажнения оценены по ГТК за июнь-август с обеспеченностью числа лет со значениями этого показателя более 0,5. На карте в виде второй нагрузки знаками выделено шесть областей, различающихся по условиям увлажнения. Из полученных авторами результатов особенно важным является определение северной границы возделывания кукурузы на зерно с оценкой обеспеченности урожаев 8 – 9 раз в 10 лет. Практическое значение имеет и выделение термических зон (I, II, III), где можно возделывать кукурузу на силос, а также как пожнивные посевы ее в южных районах.

Позднее Ю.И. Чирков [114] провел глубокое исследование зависимости роста и развития кукурузы от агрометеорологических факторов, уделив в них внимание к агроклиматическому районированию на территории бывшего СССР. Для сравнительной оценки потребности в тепле различных по скороспелости сортов и гибридов кукурузы использован биологический показатель – число листьев на главном стебле. Выявлено, что этот признак скороспелости сорта (гибрида) тесно связан с суммой эффективных температур воздуха выше 10°C ($\Sigma T_{\dot{\phi}}$). На основе выявленной закономерности автором найдены уравнения связи числа листьев, характеризующих скороспелость сорта с $\Sigma T_{\dot{\phi}}$, необходимых для наступления основных фаз развития кукурузы. Эти уравнения представлены в табл. 18.2.

Таблица 18.2 - Связь суммы эффективных температур воздуха с числом листьев ($n_{\text{л}}$) для различных по скороспелости сортов и гибридов кукурузы

Межфазный период	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Посев – выметывание метелки	$\Sigma T_{\dot{\phi}} = 30,2n_{\text{л}} + 31,8$	0,86
Посев – молочная спелость	$\Sigma T_{\dot{\phi}} = 35,2n_{\text{л}} + 241,1$	0,83
Посев – восковая спелость	$\Sigma T_{\dot{\phi}} = 41,6n_{\text{л}} + 290,5$	0,80

Указанные уравнения можно использовать для подсчета $\Sigma T_{\text{эф}}$ в районах возделывания кукурузы, расположенных к северу от июльской изотермы 20 °С. Для более южных, где значительная часть вегетационного периода кукурузы проходит на фоне температур воздуха выше 20 °С, необходимо учитывать так называемую балластную температуру, смысл которой сводится к следующему. Темпы развития кукурузы ускоряются с повышением средней суточной температуры примерно до 19 – 20 °С. Температура же сверх этого предела уже не приводит к ускорению темпов развития кукурузы, поэтому она называется балластной. Для сравнения обеспеченности теплом северных и южных районов возделывания кукурузы рассчитано уравнение, позволяющее переходить от общей суммы эффективных температур выше 10 °С (x) к сумме безбалластных эффективных температур (y). Эта связь представлена уравнением

$$y = 0,74x + 140, \quad (18.6)$$

Пользуясь этим уравнением, можно легко рассчитать эффективные безбалластные суммы тепла для любого периода развития кукурузы в любом районе ее возделывания.

На агроклиматической карте Чирков выделил 7 термических зон в ареале возделывания кукурузы по $\Sigma T_{\text{эф}}$ с 80% - ной обеспеченностью теплом основных фаз развития с учетом скороспелости сортов (рис. 18.1). Условия увлажнения оценены по количеству осадков и запасам продуктивной влаги в метровом слое почвы с 80% - ной обеспеченностью для каждой из термических зон. К карте прилагается легенда в виде табл. 18.3.

Исходя из анализа рис. 18.1 и табл. 18.3, можно сделать следующие практические рекомендации. В 1 и 2-ой зонах при $\Sigma T_{\text{эф}}$ от 400 до 600 °С на 80 – 100 % обеспечено возделывание средне-ранних и среднеспелых сортов кукурузы на зеленый корм и силос. В 3 и 4 зонах при $\Sigma T_{\text{эф}}$ от 600 до 800 °С на 90 – 100 % обеспечено наступление фазы выметывания метелки для сортов разной скороспелости кукурузы с последующим использованием на зеленый корм; наступление молочной спелости обеспечено на 60 – 80% (6 – 8 раз в 10 лет) для среднеранних и среднеспелых сортов с использованием урожая на силос. Получение урожая в виде сухого зерна из средне-ранних сортов обеспечено в 4-ой зоне на 60 – 80% .

В зоне 5 возможно возделывание средне-ранних и среднеспелых сортов кукурузы для получения сухого зерна с обеспеченностью на 80 – 95% и на 60 – 80%. И только на юге в зонах 6 и 7 при $\Sigma T_{\text{эф}}$ от 900 до 1100 °С возможно возделывание кукурузы среднеранних, среднеспелых,

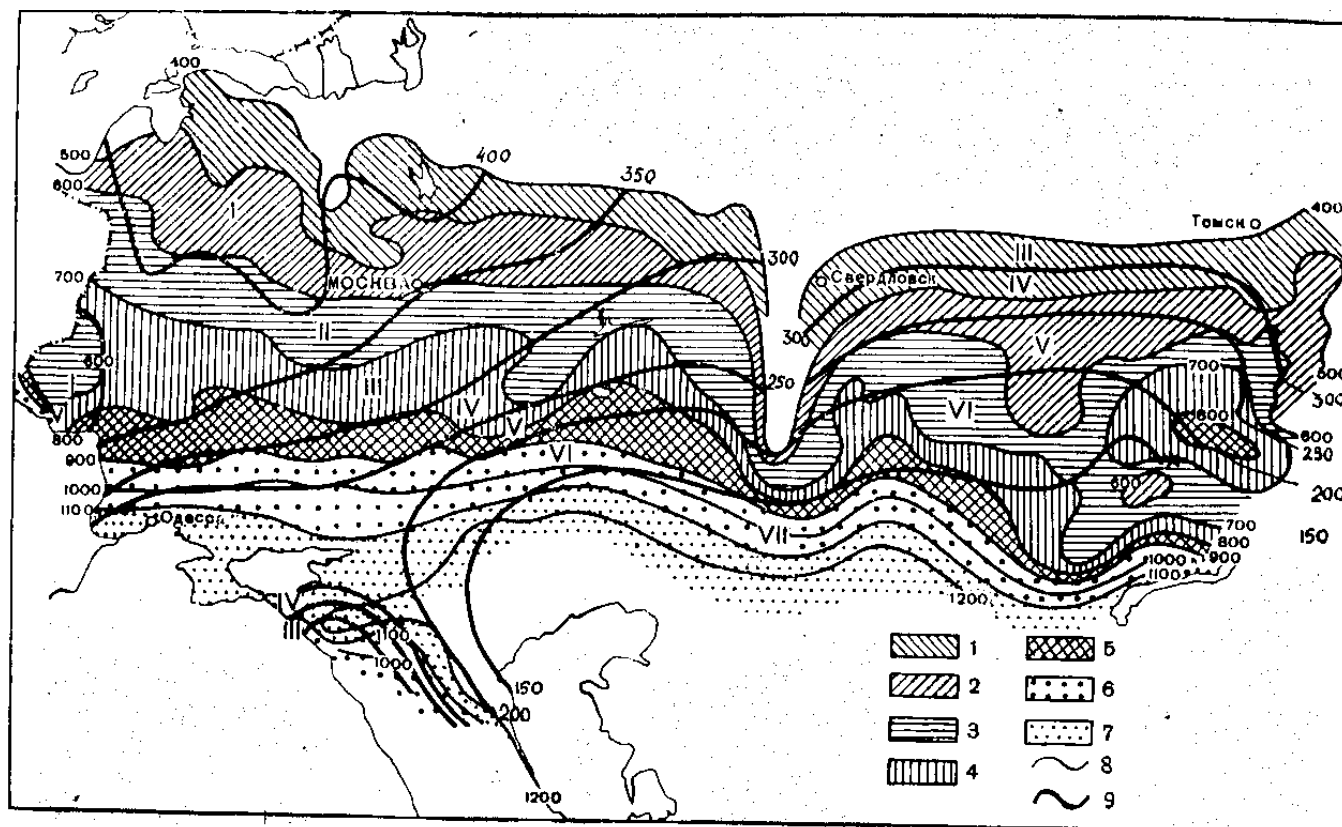


Рис. 18.1 - Зоны обеспеченности теплом и влагой основных фаз развития различных по скороспелости сортов и гибридов кукурузы (1 – 7 см. пояснения в табл. 18.3; 8 – изолинии $\Sigma T_{эф}$ 80% - ной обеспеченности, 9 – изолинии сумм осадков за вегетационный период)

Таблица 18.3 - Агроклиматические зоны обеспеченности теплом (а) и влагой (б) основных фаз развития различных по скороспелости сортов кукурузы)

Термическая зона	$\Sigma T > 10^0 C$, обеспеченные в 80% лет	Фаза развития	Скороспелость сортов и собственное им число листьев			
			Средне-ранние, 13-14	Средне-спелые 15-16	Средне-поздние 17-18	Позднее-спелые 19-20
1	400 – 500	Выметывание	80 – 90	55 – 80	45 – 70	35 – 55
		Молочная спелость	15 – 40	8 – 20	3 – 10	5
		Восковая спелость	5 – 10	5	-	-
2	500 – 600	Выметывание	90 – 100	80 – 98	70 – 90	55 – 75
		Молочная спелость	40 – 60	20 – 40	8 – 25	5 – 10
		Восковая спелость	15 – 35	5 – 10	5	-
3	600 – 700	Выметывание	100	98 – 100	90 – 100	75 – 95
		Молочная спелость	60 – 80	40 – 65	25 – 50	10 – 30
		Восковая спелость	35 – 60	10 – 35	5 – 15	5
4	700 – 800	Выметывание	100	100	100	95 – 100
		Молочная спелость	80 – 95	65 – 80	50 – 70	30 – 55
		Восковая спелость	60 – 80	35 – 60	15 – 40	5 – 15
5	800 – 900	Выметывание	100	100	100	100
		Молочная спелость	95 – 100	80 – 98	70 – 90	55 – 75
		Восковая спелость	80 – 95	60 – 82	40 – 55	15 – 40
6	900 – 1100	Выметывание	100	100	100	100
		Молочная спелость	100	100	90 – 100	75 – 100
		Восковая спелость	100	82 – 100	55 – 90	40 – 80
7	1100	Выметывание	100	100	100	100
		Молочная спелость	100	100	100	100
		Восковая спелость	100	100	90	90

среднепоздних и поздних сортов для получения урожаев сухого зерна с обеспеченностью на 90 – 100 % (т.е. 9 – 10 раз в 10 лет).

б) Ресурсы влаги, обеспеченные в 80% лет (весенние запасы в слое почвы 0 – 100 см + осадки за период вегетации)

Зоны	Ресурсы влаги (мм)
I	400
II	350 – 400
III	300 – 350
IV	250 – 300
V	200 – 250
VI	150 – 200
VII	150

Для привязки к термическим зонам, выделенным на карте, Чирков дает оценку ресурсов влаги по комплексному показателю ($P_{\hat{a}}$), который рассчитывается по формуле

$$P_{\hat{a}} = (W_{\hat{a}} + \Sigma r_{\hat{a}i}), \quad (18.7)$$

где $W_{\hat{a}}$ – запасы продуктивной влаги в слое почвы 0 – 100 см на весну;

$\Sigma r_{\hat{a}i}$ - сумма осадков за период вегетации кукурузы.

В табл. 18.3 (б) дана количественная оценка $P_{\hat{a}}$ для среднепоздних и поздних сортов кукурузы.

При отсутствии данных о влажности почвы оценку режима увлажнения он предложил выполнить с помощью модификационной формулы гидротермического коэффициента в виде

$$K_{\hat{a}} = \frac{0,5\Sigma r_1 + \Sigma r_2}{0,18\Sigma T_{\hat{a}i}}, \quad (18.8)$$

где Σr_1 - ресурсы влаги за вневегетационный холодный период, учтенные коэффициентом 0,5;

Σr_2 - сумма осадков в теплое время года за вегетационный период кукурузы.

Рассчитанные по этой формуле для каждого пункта коэффициент $K_{\hat{a}}$ желательно сопоставить с урожайностью кукурузы с целью выявления количественных связей между последней и условиями увлажнения. Если надежные многолетние данные по урожаю отсутствуют, то в первом

приближении оценку влагообеспеченности произрастания кукурузы при помощи величины $K_{\hat{a}}$ можно дать по следующей шкале:

$K_{\hat{a}}$	Оценка (в баллах)
1,2 – 1,3	5
1,0 – 1,1	4
0,8 – 0,9	3
0,6 – 0,7	2
<1,5	1

При оценке влагообеспеченности в 3 балла необходимы эпизодические поливы кукурузы, при оценке в 1 – 2 балла возделывание кукурузы без орошения нерентабельно.

18.3. Агроклиматическое районирование винограда в разном масштабе

Фундаментальные исследования агроклиматических ресурсов применительно к культуре винограда выполнены Ф.Ф. Давитая [3, 30]. Следует подчеркнуть, что его работы выходят за рамки прикладных задач, ибо наряду с решением последних они представляют собой глубокие теоретические и методические исследования.

Районирование проведено с учетом экологических свойств сортов и их требований к климату. Для этой цели Давитая разработал биоэкологическую классификацию типичных сортов, создаваемых на территории СНГ и стран Европы. Эта классификация основана на изучении сортов по их происхождению, скороспелости, морозостойкости, урожайности и другим признакам. Не вдаваясь в детали, рассмотрим основные биоэкологические показатели сортов винограда.

Средняя температура начала роста (вегетации) винограда практически не меняется по сортам, колеблясь около 10 °С. Физиологическое начало роста определяется началом движения сока в виноградной лозе, набуханием почек. Однако в последующем, в зависимости от скороспелости сортов винограда происходит их дифференциация по потребности в тепле. К концу вегетации потребность винограда в тепле резко различается по сортам.

По биологическим суммам температуры воздуха выше 10 °С (ΣT_6) все сорта винограда разделены автором на пять групп: очень ранние (2100 – 2500 °С), ранние (2500 – 2900 °С), среднеспелые (2900 – 3300 °С); поздние (3300 – 3700 °С); очень поздние (более 3700 °С). Для прохождения отдельных стадий развития и получения качественной продукции

винограда, помимо ΣT_{θ} , необходимо определенное напряжение температуры. В агроклиматологии оно обычно оценивается средней температурой самого теплого месяца.

Оптимальность условий произрастания винограда существенно зависит от условий перезимовки. Поэтому в вышеуказанной классификации выделено пять групп сортов, различающихся по морозостойкости в период покоя винограда: очень слабой (-18, -19 °C); слабой (-19, -20 °C); средней (-20, -21 °C); повышенной (-21, -22 °C); высокой (ниже -22 °C).

Разработанная биоэкологическая классификация сортов винограда по указанным и другим признакам позволили Ф.Ф. Давитая рассмотреть связь урожая с агроклиматическими условиями, изучить ареал культуры винограда и определить границы его в зависимости от условий среды обитания. Впервые агроклиматическое районирование винограда в мелком масштабе (1 : 12 500 000) было выполнено применительно к территории бывшего СССР.

В качестве основных показателей климата были приняты: сумма активных температур воздуха выше 10 °C (ΣT_c); средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ($\bar{T}_m$) и почвы на глубине 25 см ($\bar{T}_{nm}$); гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) и осадки. Границы зон теплообеспеченности винограда уточнялись на основе учета интенсивности и повторяемости весенних и осенних заморозков, а также путем сопоставления беззаморозкового периода ($N_{\theta/n}$) с продолжительностью теплого периода с T_c выше 10 °C, т.е. в виде $\frac{N_{a/i}}{N_{\theta i}}$. Было установлено, что продолжительность беззаморозкового периода менее 150 дней является лимитирующим фактором климата для промышленного виноградарства.

При оценке условий перезимовки винограда с особо суровыми зимами (например, на северной границе рассматриваемой территории и на юго-востоке) необходимо кроме температуры воздуха учитывать и температуру почвы. Это объясняется тем, что виноградное растение, укрытое землей, легко перекосит пониженные температуры до -15, -18 °C, в то время как корни его вымерзают уже при температуре почвы на глубине 25 см равной -8, -10 °C. Поэтому для этих районов, помимо учета $\bar{T}_m$, необходимо ориентироваться на $\bar{T}_{nm}$, увязывая его с повторяемостью температуры почвы ниже критических значений для корневой системы.

В качестве показателя влагообеспеченности периода вегетации винограда автор предложил использовать среднюю за период май – июль величину ГТК, считал, что во всех виноградарских районах весенние запасы воды в почве достаточны для начального развития винограда.

Величина ГТК менее 0,5 за этот период указывает на существенный недостаток влаги, более 2,0 – на избыток влаги. Поэтому изолинию ГТК за период май – июль, равную 0,5, Давитая считает границей между орошаемой и неорошаемой зонами виноградарства.

На рис. 18.2 представлено комплексное районирование винограда с учетом вышеуказанных агроклиматических показателей на территории бывшего СССР. На карте выделено пять агроклиматических зон виноградарства по степени обеспеченности урожая сортов винограда разной скороспелости теплом (ΣT_c выше 10 °С) с различной обеспеченностью в среднем за 10 лет. Здесь же выделены зоны 6, 7, 8 по условиям перезимовки виноградников и способам сохранности винограда зимой. Прерывистой линией дана граница его культуры с орошением.

Особое внимание автор уделил разработке проблемы специализации виноградно-винодельческой продукции применительно к различным районам виноградарства на территории СНГ и стран Восточной Европы. Составленные им карты и табл. 18.4 имеют большое практическое значение и в настоящее время. Для количественной оценки направления сырьевой базы виноградно-винодельческой промышленности взяты следующие агроклиматические показатели: сумма активных температур воздуха выше 10 °С; средняя температура самого теплого месяца; количество осадков (мм) за год и месяц до сбора урожая.

Позднее Ф.Ф. Давитая [3] выполнил более детальное агроклиматическое районирование винограда на территории стран Восточной Европы и ЕЧ СНГ. Авторский макет цветной карты составлен в масштабе 1 : 1 000 000. На ней выделено восемь зон по ΣT_c выше 10 °С, обеспечивающих созревание различных сортов винограда от 70% лет и более. На рассматриваемой территории ресурсы тепла изменяются с севера на юг от 2200 °С до более 3800 °С. Все термические зоны имеют характеристику не только рекомендуемых для возделывания сортов винограда, но и наиболее целесообразного для них направления производства вин, коньяков и других продуктов виноградно-винодельческой промышленности.

Кроме того, на карте по ГТК (в среднем за июнь, июль и август) выделены две подзоны: сухая (ГТК менее 0,5), подзона орошения; засушливая (ГТК от 0,5 до 0,7) подзона эпизодических поливов при глубоком залегании грунтовых вод. По продолжительности беззаморозкового периода (менее 150 дней) обозначены территории, подверженные частым заморозкам (в среднем более 5 раз в 10 лет).

Детально оценена территория по условиям морозоопасности зимой на основе расчета вероятностных характеристик среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ($\bar{T}_m$). Далее была составлена расчетная табл. 18.5 с оценкой повторяемости повреждения винограда

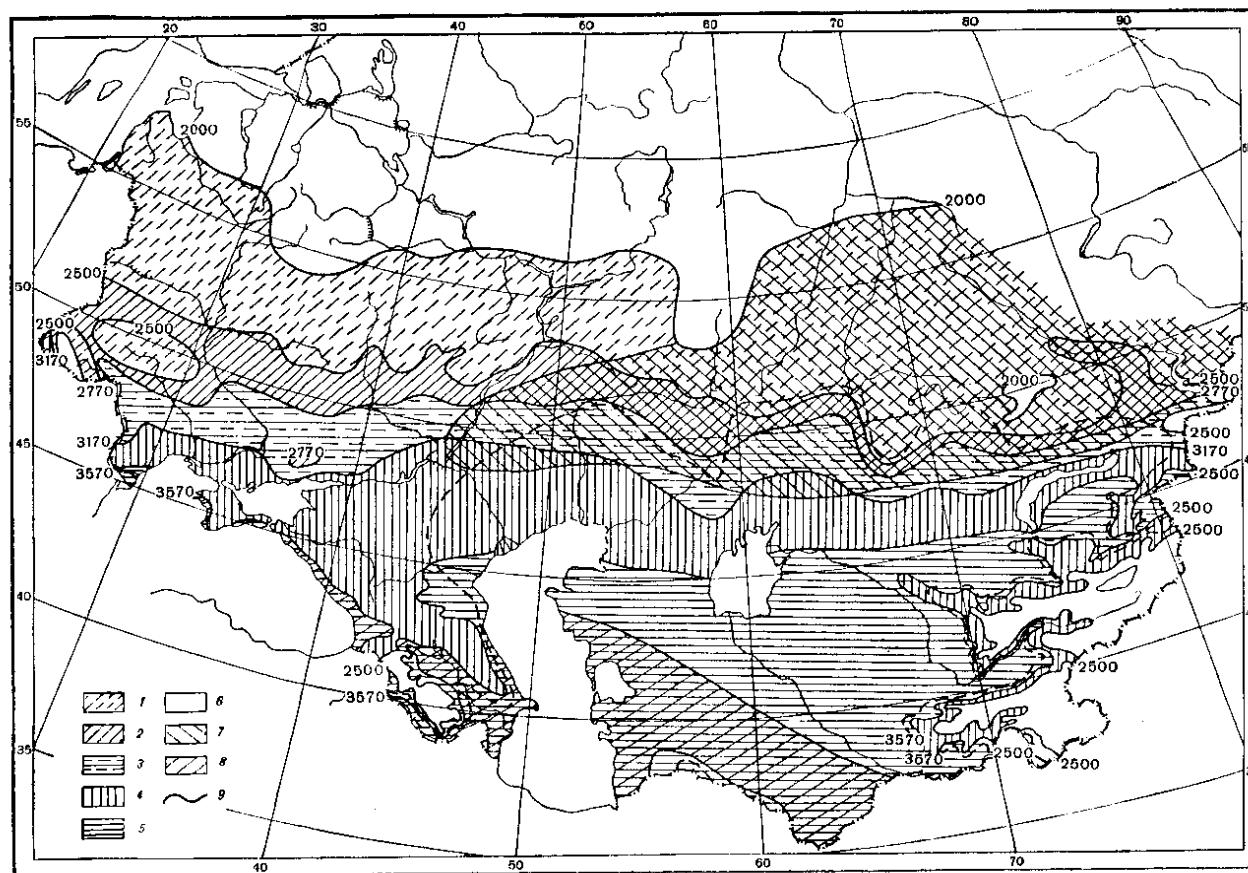


Рис. 18.2 - Агроклиматическое районирование винограда на территории СНГ.

Зоны по степени обеспеченности урожая сортов винограда разной скороспелости теплом в среднем за 10 лет: ранние сорта: 1 – от 1 до 5 раз, 2 – от 5 до 9 раз; средние сорта: 3 – от 5 до 9 раз и полной обеспеченности ранних сортов; поздние сорта: 3 – от 5 до 9 раз и полной обеспеченности средних сортов, 5 – полной обеспеченности теплом всех сортов. Зоны по условиям перезимовки винограда (укрытия на зиму): 6 – с укрытием, 7 – с особым укрытием, 8 – без укрытия; прерывистой линией дана граница виноградарства с орошением.

Таблица 18.4 - Агроклиматические показатели направления сырьевой базы виноградо - винодельческой промышленности

Виноматериалы	$\Sigma T_c \succ 10^0 \tilde{N}$	$\bar{T}$ самого теплого месяца	Количество осадков (мм) за	
			год	месяц до сбора
<i>Шампанские</i>	2500-3600	16-24	400-1200	0-150
- высококислотные	2500-2800	16-18	400-1200	0-50
- легкие, кондиционные	2800-3200	18-22	400-1200	0-100
- недостаточно свежие, тяжелые	3200-3600 и более	22-24 и более 24	400-1200 и более 1200	0-150 до 200
<i>Столовые вина</i>	2800-4100	18-26	400-1200	0-170
- слабоградусные, свежие	2800-3200	16-24	400-1200	0-170
- легкие	3200-3600	20-26	400-1200	0-170
- тяжелые	3600-3800	20-26	400-1200	0-170
- тяжелые, южного типа	3800-4100 и более	20-26 более 22	400-1200 более 1200	0-170 до 200
<i>Десертные крепленые и сладкие вина</i>	Более 3600	20-28	350-800	0-100
- малосахаристые, недостаточно полные материалы, преимущественно для крепких вин	3600-3800	20-25	350-800	0-100
- сахаристые, полные материалы преимущественно для крепких вин	3800-4100	22-27	350-800	0-100
- высокосахаристые материалы преимущественно для десертных сладких, ликерного типа вин	более 4100	более 24	350-800	0-100
<i>Столовый, транспортабельный виноград</i>	Более 3800	Более 22	500-1000	0-100
<i>Сушеный виноград</i>	Более 4000	Более 25	500-700	Менее 20

Таблица 18.5 - Повторяемость (%) повреждения виноградников в среднем за 10 лет

$\bar{T}_m$, °C ниже	Группы сортов винограда по морозостойкости				
	Очень слабая (-18, -19 °)	Слабая (-19, -20 °)	Средняя (-20, -21 °)	Повышенная (-21, -22 °)	Высокая (-22, -23 °)
- 15	10-15	5-10	3-5	2-3	1-2
- 16	15-25	10-15	5-10	3-5	2-3
- 17	25-35	15-25	10-15	5-10	3-5
- 18 до -19	40-50	25-35	15-25	10-15	5-10
- 20	60-70	50-60	40-50	30-40	10-20

зимой. С ее помощью определены границы укрывной и неукрывной культуры винограда для различных групп сортов по их морозостойкости. Принято допустимым повреждение винограда 10 – 25 раз в 100 лет (или 1 – 2 раза в 10 лет). Исходя из этого критерия, изолиния $\bar{T}_m$ от –15 до –16 °C может служить границей между укрывной и неукрывной зонами виноградарства для группы сортов слабой морозостойкости (-18, -19 °C). Для сортов повышенной морозостойкости (-21, -22 °C) такой границей будут служить значения $\bar{T}_m$ от –18 до –20 °C.

В заключение следует заметить, что применительно к виноградарству агроклиматические ресурсы рассмотренных территорий не исчерпаны. Наиболее актуальной задачей является разработка агроклиматических основ микрорайонирования винограда на ограниченных территориях (административная область, район, отдельное хозяйство) с учетом микроклимата. В этом направлении несомненный интерес представляют исследования З.А. Мищенко и Г.В. Ляшенко [54, 65, 66, 67, 70], Т.И. Турманидзе [106], Д.И. Фурсы [110] и др. В этих работах представлены нетрадиционные агроклиматические показатели, усовершенствованы методы разномасштабного районирования их с оценкой продуктивности винограда на основе моделирования.

18.4. Агроклиматическое районирование картофеля

Изучению агроклиматических показателей картофеля и агроклиматических условий его произрастания посвящено множество исследований, среди которых следует отметить работы А.И. Руденко, О.М. Поплавской, М.Д. Злотникова, В.В. Капелюш, Э.Л. Хершкович, Е.А. Цубербиллер. Эти авторы в своих исследованиях приходят к единому

мнению, что за агроклиматический показатель начала роста картофеля можно принять дату устойчивого перехода температуры воздуха 7 – 8 °С. Потребность картофельного растения в тепле не одинакова и зависит от сорта и среднего уровня температур, на фоне которых идет его развитие. Скорость развития картофеля, а вместе с тем и потребность его в тепле за различные межфазные периоды зависит от уровня применяемой агротехники (табл. 18.6). Критическим для формирования урожая картофеля является период интенсивного клубнеобразования (от цветения до начала увядания ботвы. За показатель благоприятности термического

Таблица 18.6 - Сумма среднесуточных активных температур воздуха (°С) за межфазные периоды развития картофеля

Фон удобрений	Межфазные периоды					
	Посев- всходы	Всходы- бутонизация	Бутонизация - цветение	Цветение- увядание ботвы	Посев- увядание ботвы	Всходы- увядание ботвы
Раннеспелые						
Высокий	320	350	220	850	1720	1400
Средний	400	350	200	600	1550	1150
Среднеспелые						
Высокий	320	450	200	1000	1970	1650
Средний	400	450	200	700	1750	1350
Позднеспелые						
Высокий	320	500	200	Вегетируют до заморозков		
Средний	400	500	200	Вегетируют до заморозков		

режима в этот период можно принять среднюю температуру почвы на глубине 20 – 30 см, равную 16 – 18 °С.

Показатель, характеризующий степень благоприятствования условий увлажнения в виде ГТК существенно изменяется в разные межфазные периоды вегетации картофеля, а также под влиянием механического состава почв. Например, благоприятные условия клубнеобразования создаются на легких почвах при средних значениях ГТК порядка 1,6 – 1,7, а на тяжелых более влажных почвах – не более 1,0 – 1,1.

Суммарное влияние тепла и влаги на прирост клубней картофеля в период от цветения до увядания ботвы показано на рис. 18.3. Из него следует, что для обеспечения максимального прироста клубней в этот период необходимы средние температуры воздуха за декаду в 16 – 18 °С, а запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-50 см - в пределах 50 – 80 мм.

Агроклиматическое районирование картофеля в мелком масштабе (1 : 12 500 000) было выполнено А.И. Руденко [95] применительно к территории ЕЧ бывшего СССР. Особое внимание автор уделил периоду

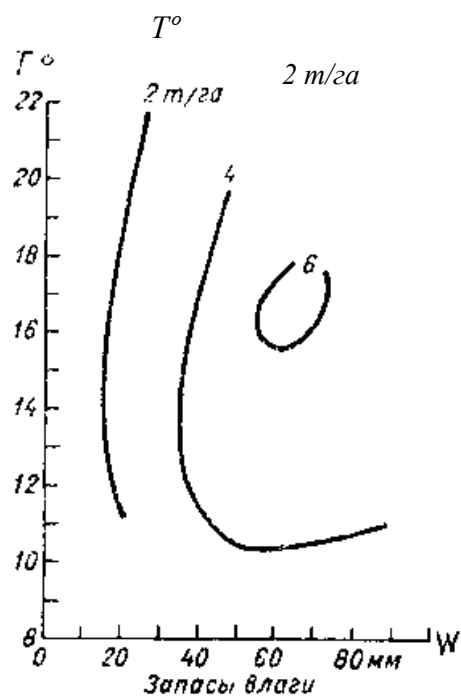


Рис. 18.3 - Прирост клубней за декаду в период от цветения до увядания ботвы при различной средней декадной температуре воздуха и различных запасах влаги в слое почвы 0 – 50 см

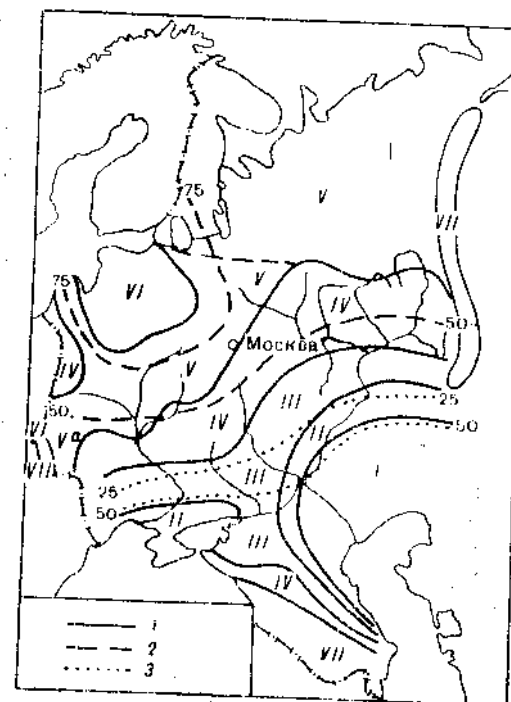


Рис. 18.4 - Агроклиматические зоны картофелеводства на Европейской территории бывшего СССР.
1 – границы зон картофелеводства; 2 – вероятность распространения фитофторы (%); 3 – границы районов распространения вероятного вырождения картофеля(%)

клубнеобразования картофеля. На карте выделено семь зон картофелеводства, различающихся по таким агроклиматическим показателям, как температура воздуха (T_c), количество осадков (Σr_k), ГТК и урожай в сравнении со средним многолетним урожаем по СССР (рис. 18.4). Кроме того, для каждой зоны дана оценка вероятности климатического вырождения картофеля (%). На карте районирования автор выделил и территорию вероятного распространения фитофторы.

Рассмотрим более подробно некоторые аспекты агроклиматического районирования картофеля.

Зона I. Сухой и очень жаркий климат зоны весьма неблагоприятен для картофеля в период клубнеобразования: T_c здесь выше 24°C , осадки менее 30 мм, ГТК ниже 0,5, урожай ниже среднего многолетнего; вероятность климатического вырождения картофеля более 50%.

Зона II. Засушливый и жаркий климат зоны неблагоприятен для картофеля в период клубнеобразования: температура воздуха колеблется в пределах $22 - 24^\circ\text{C}$, осадки составляют 30 – 60 мм, ГТК изменяется в пределах 0,5 – 0,7; урожай ниже среднего многолетнего по СССР; вероятность климатического вырождения картофеля 25 – 50%.

Зона III. Засушливый, умеренно жаркий климат зоны недостаточно благоприятен для картофеля в период клубнеобразования: температура воздуха колеблется от 19 до 21°C , осадки составляют 60 – 80 мм, ГТК изменяется от 0,7 до 1,0, урожай близок к среднему многолетнему по территории ЕЧ СНГ; вероятность климатического вырождения картофеля от 10 до 20%; фитофтора распространена незначительно (10 – 15%).

Зона IV. Недостаточно влажный, очень теплый климат зоны удовлетворителен для развития картофеля в период клубнеобразования; температура воздуха колеблется от 16 до 19°C , осадки составляют 70 – 80 мм, ГТК в пределах 1,0 – 1,5; урожай несколько выше среднего многолетнего; вероятность климатического вырождения картофеля до 10%; фитофтора распространена в пределах 15 – 50%.

Зона V. Умеренно влажный и теплый климат в целом благоприятен для картофеля в период клубнеобразования; урожай в зоне выше среднего многолетнего; вероятность распространения фитофторы составляет 50 – 75%.

Зона VI. Влажный, умеренно теплый климат вполне благоприятствует клубнеобразованию картофеля; температура воздуха колеблется в пределах $16 - 17^\circ\text{C}$, осадки превышают 120 мм; урожай значительно выше среднего многолетнего; вероятность фитофторы свыше 75%.

Зона VII. Климат благоприятен по условиям тепла и влаги, что обеспечивает получение высоких урожаев картофеля и хорошее качество посадочного материала.

Выполненный Руденко агроклиматический анализ условий выращивания картофеля позволил ему дать для указанной территории ряд ценных практических рекомендаций. Так, он предложил всемерно расширять площади под картофелем в зоне VI и отчасти в зонах IV. V и VII. В зонах I. II, III для удовлетворения потребности населения городов картофелем посеvy его необходимо сосредотачивать на низинных, пойменных и орошаемых землях. В зонах IV. V и VI необходимо культивировать устойчивые к фитофторе сорта картофеля.

Позднее Е.Л. Хершкович [3] выполнила детальное агроклиматическое районирование картофеля на территории стран Восточной Европы и ЕЧ СНГ. Авторский макет цветной карты построен в более крупном масштабе (1 : 1 500 000). В качестве основных агроклиматических показателей были приняты: а) дата посадки картофеля; б) средняя температура воздуха в период клубнеобразования; в) сумма осадков за период клубнеобразования; г) баланс атмосферного увлажнения; д) вероятность вредных осадков (более 200 – 250 мм) в период клубнеобразования; е) урожай картофеля.

Автор детально исследовала влияние термических условий на развитие картофеля по отдельным фазам вегетационного периода. Для рассматриваемой территории определена дата посадки картофеля, которая соответствует дате установления средних суточных температур воздуха 8 °С. Оптимальные значения средних температур воздуха за период интенсивного клубнеобразования (от цветения до отмирания ботвы) колеблются в пределах 15 – 20 °С. Количественно оценена взаимосвязь между продолжительностью межфазных периодов вегетации картофеля (N_{ϕ}) и T_c , ΣT_c . Например, регрессионные уравнения связи между N_{ϕ} и ΣT_c имеют следующий вид:

$$N_{\phi 1} = 0,064 \Sigma T_c + 5; \quad r = 0,78 \text{ (посадка – всходы)} \quad (18.9)$$

$$N_{\phi 2} = 0,053 \Sigma T_c + 5,1; \quad r = 0,80 \text{ (всходы - цветение)} \quad (18.10)$$

$$N_{\phi 3} = 0,046 \Sigma T_c + 3; \quad r = 0,96 \text{ (цветение – созревание)} \quad (18.11)$$

Условия влагообеспеченности за период клубнеобразования картофеля определены Хершкович по количеству осадков (Σr_{ϕ}) и балансу атмосферного увлажнения (B_y). Последний представляет собой разность между приходом влаги для растений и ее расходом за данный период. Показатель B_y рассчитывался по формуле

$$\dot{A}_{\phi} = (\Sigma r_{\phi} - \dot{A}_0), \quad (18.12)$$

где E_0 – оптимальное водопотребление культуры или испаряемость. Ее значения рассчитаны по формулу Н.Н. Иванова [95] в виде

$$K_y = \frac{P}{f} \quad (18.13)$$

где K_y – условный показатель увлажнения;

P – количество осадков (мм);

f – испаряемость за период клубнеобразования.

Исследована также связь между полученным урожаем (Y_ϕ , ц/га) картофеля и рядом агроклиматических показателей (за период интенсивного клубнеобразования). Рассчитаны соответствующие уравнения и коэффициенты корреляции (r), в том числе:

$$Y_\phi = -22,8\bar{T}_c + 0,3B_y + 684; \quad r = 0,79, \quad (18.14)$$

$$Y_\phi = -24,6\bar{T}_c + 0,38P + 0,18B_y + 660; \quad r = 0,80, \quad (18.15)$$

где $\bar{T}_c$ – средняя температура воздуха за период клубнеобразования;

B_y – баланс атмосферного увлажнения;

P – сумма осадков за тот же период.

В результате этих исследований на агроклиматической карте выделено семь зон, различающихся по $\bar{T}_c$ ($^{\circ}\text{C}$) за период клубнеобразования картофеля (70 дней) от 11°C до 24°C . Штриховкой показано шесть макрорайонов по значениям B_y за тот же период, который на рассматриваемой территории изменяется от 0 до -400 . Установлено, что наиболее благоприятные климатические условия в период клубнеобразования картофеля складываются при $T_c \approx 15-17^{\circ}\text{C}$, $B_y \approx -100, -200$ мм, $\Sigma r_e \approx 150-100$ мм (обширная зона 4). При этих условиях возможен урожай клубней картофеля от 250 до 350 ц/га.

Неблагоприятные климатические условия для среднепоздних сортов картофеля складываются на юге в зонах 6, 7, где $\bar{T}_c$ колеблется в пределах $20 - 21^{\circ}\text{C}$, B_y превышает $-300, -400$ мм, а Σr_e составляет $50 - 100$ мм. В этих условиях урожай клубней картофеля может быть не выше $100 - 150$ ц/га. Однако следует отметить, что почти во всех зонах имеется большой резерв увеличения урожая картофеля за счет оптимизации размещения сортов, совершенствования технологии возделывания, борьбы с болезнями и вредителями, осуществления мелиоративных мероприятий.

18.5. Агроклиматическое районирование сахарной свеклы

Агроклиматическое районирование сахарной свеклы произведено Л.С. Кельчевской [3] применительно к территории ЕЧ бывшего СССР и

стран Восточной Европы. Авторский макет цветной карты составлен в масштабе 1 : 1 500 000. Продуктивность сахарной свеклы зависит от сроков сева, которые в свою очередь определяются агрометеорологическими условиями года. Для обоснования оптимальных сроков посева автором определена температура начала активной вегетации культуры равная 8 °С.

Оптимальные сроки посева сахарной свеклы были определены на основе установленных связей между продолжительностью периода посев - всходы и температурой воздуха за этот период. При достаточном увлажнении почвы уравнение имеет вид

$$N_{i\dot{a}} = \frac{160,7}{\dot{O}_{\tilde{n}}^{1,049}}; \quad r = 0,85 \quad (18.16)$$

Поскольку на формирование мощных всходов оказывает влияние увлажнение почвы ко времени сева сахарной свеклы установлена двухфакторная зависимость $N_{i\dot{a}}$ от $\dot{O}_{\tilde{n}}$ и от количества осадков (P) за 20 дней до посева и за период посев – всходы. Уравнение имеет следующий вид

$$N_{ne} = 41,016 - 3,604T_c - 0,012P + 0,105T_c^2 - 0,001P^2 + 0,003T_c; \quad (18.17)$$

$r=0,75$

Кроме того определена вероятность повреждения всходов сахарной свеклы заморозками интенсивностью –3 °С и ниже. Для этой цели выполнены расчеты дат прекращения таких заморозков весной с 80% вероятностью на дату появления всходов, т.е. 8 раз в 10 лет. Обеспеченность теплом за период активной вегетации сахарной свеклы определена по суммам активных температур воздуха по датам перехода T_c весной через 8 °С, а осенью через 10 °С с 80% вероятностью.

Оценку влагообеспеченности сахарной свеклы автор выполнила с помощью условного показателя увлажнения (K_c), представляющего собой модификацию ГТК. Формула расчетов K_c имеет вид

$$K_c = \frac{e \cdot \Sigma r_1 + \Sigma r_2}{0,1 \cdot \Sigma T_c}, \quad (18.18)$$

где Σr_1 - сумма осадков за период от уборки культуры в предыдущем году до ее посева в последующем;

Σr_2 - сумма осадков за период активной вегетации;

e – коэффициент аккумуляции зимних осадков (принят равным для лесной зоны 0,2 – 0,3, для лесостепной 0,5 и степной 0,6 – 0,7.

Таблица 18.7 - Количественная оценка агроклиматических показателей возделывания сахарной свеклы в различных районах на территории ЕЧ СНГ и стран Восточной Европы

Показатель	Влажный	Оптималь- ного увлажнения	Умеренного увлажнения	Слабо- засушливый	Засуш- ливый	Очень засушливый	Сухой	Очень сухой
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I. Прохладный (ΣT_c 1800 – 2000 °C)								
K_c	1,8-1,6	1,6-1,4	1,4-1,2	1,2-1,0	1,0-0,8			
B_c	60-75	60-70	60-65	60-55	<55			
U_c	200-275	200-250	200-225	200-175	<175			
$\bar{U}_c$	300-375	300-350	300-325	300-275	<275			
II. Умеренно-прохладный (ΣT_c 2000 – 2400 °C)								
K_c	1,8-1,6	1,6-1,4	1,4-1,2	1,2-1,0	1,0-0,8	0,8-0,6		
B_c	75-90	75-85	70-80	65-70	55-80	<55		
U_c	275-350	275-325	250-300	225-250	175-200	<175		
$\bar{U}_c$	375-450	375-425	350-400	325-350	275-300	<275		
III. Умеренно теплый (ΣT_c 2400 – 2800 °C)								
K_c	1,8-1,6	1,6-1,4	1,4-1,2	1,2-1,0	1,0-0,8	0,8-0,6	0,6-0,4	<0,4
B_c	100-105	95-90	85-80	80-70	70-60	60-50	50-45	-
U_c	400-425	375-350	325-300	300-250	250-200	200-150	150-125	-
$\bar{U}_c$	500-525	475-450	425-400	400-350	350-300	300-250	250-225	-

Продолжение таблицы 18.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
IV. Теплый (ΣT_c 2800 – 3200 °C)								
K_c	1,8-1,6	1,6-1,4	1,4-1,2	1,2-1,0	1,0-0,8	0,8-0,6	0,6-0,4	0,4
B_c	115-105	105-95	95-80	85-70	75-60	60-55	55-50	-
Y_c	475-425	425-375	375-300	325-250	275-200	200-175	175-150	-
$\bar{Y}_c$	575-525	525-475	475-400	425-350	375-300	300-275	275-250	-
V. Очень теплый (ΣT_c 3200 – 3600 °C)								
K_c				1,4-1,2	1,2-1,0	1,0-0,8	0,8-0,6	<0,4
B_c				95-80	85-65	70-55	55-50	<40
Y_c				375-300	325-225	250-175	175-150	<40
$\bar{Y}_c$				475-400	425-325	350-275	275-250	<200
VI. Умеренно жаркий (ΣT_c 3600 – 4000 °C)								
K_c					1,2-1,0	1,0-0,8	0,8-0,6	
B_c					80-60	60-50	<40	
Y_c					300-200	200-150	<100	
$\bar{Y}_c$					400-300	300-250	<200	
VII. Жаркий (ΣT_c более 4000 °C)								
K_c						1,0-0,8	0,8-0,6	
B_c						60-50	<40	
Y_c						200-175	<100	
$\bar{Y}_c$						300-275	<200	

Примечание: B_c дан в баллах; Y_c и $\bar{Y}_c$ в ц/га.

Для комплексной оценки условий возделывания сахарной свеклы получена связь урожая клубней с суммой температур воздуха за вегетационный период и показателем увлажнения. Уравнения связи урожая клубней сахарной свеклы (Y_c , ц/га) с ΣT_c и K_c имеют вид:

$$Y_c = -76 + 241K_c - 6 \cdot K_c^2 \text{ для } \Sigma T_c 1800 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (18.19)$$

$$Y_c = -13 + 305K_c - 73 \cdot K_c^2 \text{ для } \Sigma T_c 2000 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (18.20)$$

$$Y_c = -26 + 263K_c - 40 \cdot K_c^2 \text{ для } \Sigma T_c 2400 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (18.21)$$

$$Y_c = 115 + 470K_c - 86 \cdot K_c^2 \text{ для } \Sigma T_c 2800 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (18.22)$$

$$Y_c = -41 + 393K_c - 67 \cdot K_c^2 \text{ для } \Sigma T_c 3200 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (18.23)$$

$$Y_c = -80 + 372K_c - 45 \cdot K_c^2 \text{ для } \Sigma T_c 3600 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (18.24)$$

$$Y_c = -161 + 385K_c - 24 \cdot K_c^2 \text{ для } \Sigma T_c 4000 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (18.25)$$

На комплексной карте районирования сахарной свеклы выделено семь термических зон по ΣT_c (80% обеспеченность), изменяющихся на рассматриваемой территории в направлении с севера на юг от 1800 – 2000 $^\circ\text{C}$ до более 4000 $^\circ\text{C}$. В пределах каждой термической зоны выделены районы, различающиеся по влагообеспеченности культуры (%) и показателю увлажнения (K_c) с 80% обеспеченностью. Легенда к карте представлена в табл. 18.7. В этой таблице дана также количественная оценка продуктивности сахарной свеклы, включающая балл по продуктивности (B_c) с 80% обеспеченностью, урожай Y_c (ц/га) с 80% обеспеченностью (на высоком уровне агротехники), средний многолетний урожай $\bar{Y}_c$ (ц/га).

Наиболее благоприятные условия для возделывания сахарной свеклы (B_k в пределах 115 – 100 баллов) складываются в III и IV термических зонах с умеренно теплым и теплым климатом в районах с оптимальным увлажнением вегетационного периода. Такие условия наблюдаются в Румынии, в западных и центральных районах Украины, в Краснодарском Крае России и небольшими участками в других частях рассматриваемой территории. Получение высоких урожаев сахарной свеклы возможно также в V и VI очень теплой и умеренно жаркой зонах на орошаемых землях.

18.6. Агроклиматическое районирование подсолнечника

Подсолнечник является основной масличной культурой, возделываемой на больших площадях в пределах территории СНГ, в том

числе России и Украине. Подсолнечное масло является высококалорийным пищевым продуктом. Семена этой культуры также являются весьма полезными. Однако, несмотря на ценность этой культуры, вопросам агроклиматического районирования территории СНГ с учетом урожайности и масличности подсолнечника посвящено ограниченное число работ. Среди них заслуживают внимания исследования В.А. Смирновой [97], П.Е. Миусского [72], Ю.С. Мельника [57] и др. авторов.

Подсолнечник является теплолюбивым растением. По потребности в тепле, необходимом для достижения фазы созревания все сорта разделены на четыре группы: 1) раннеспелые, требующие от посева до созревания 1850 °С; 2) среднеспелые – 2100 °С; 3) среднепоздние – 2300 °С; 4) позднеспелые – 2450 °С. За биологический минимум температуры воздуха для начала роста принято считать 8 °С, а в период созревания 10 °С [95, 115].

Подсолнечник требователен и к условиям увлажнения, несмотря на то, что он считается засухоустойчивым растением. Эта культура характеризуется высоким потреблением влаги на единицу сухого вещества. Высокие урожаи подсолнечника возможны при условии оптимальной обеспеченности растений влагой в течении всего вегетационного периода. Общий расход воды этой культуры за вегетационный период в засушливые годы составляет 280 – 290 мм, во влажные – около 400 мм.

Наиболее значительные результаты по агроклиматическому районированию подсолнечника были получены Ю.С. Мельником [57]. Районирование выполнено в мелком масштабе (1 : 5 000 000) применительно к территории ЕЧ бывшего СССР. Оценка термических ресурсов заключалась в установлении северной границы возможного возделывания подсолнечника по 80%-ной обеспеченности групп сортов. Для этой цели использовались суммы биоклиматических температур воздуха, а также климатические ΣT_c выше 10 °С. По этим агроклиматическим показателям автор выделил на карте шесть термических зон с интервалом 200 °С. Ресурсы тепла возрастают с севера на юг от 2000 – 2200 °С до более 3000 °С (рис. 18.5).

Для оценки влагообеспеченности подсолнечника автор предложил показатель увлажнения (K_n), который рассчитывается по формуле

$$K_n = \frac{0,6\Sigma r_1 + \Sigma r_2}{\Sigma T_c \div 10}, \quad (18.25)$$

где Σr_1 - сумма осадков за вневегетационный период (считая от даты перехода осенью средней суточной температуры воздуха через 5 °С до

даты ее перехода через 10°C весной следующего года с коэффициентом 0,6);

Σr_2 - сумма осадков за вегетационный период (считая от даты перехода T_c через 10°C весной до даты созревания подсолнечника);

ΣT_c - сумма температур воздуха за период вегетации.

На карте штриховкой выделено 5 секторов, различающихся по условиям увлажнения: сухой ($K_{\Pi} < 0,6$), засушливый ($K_{\Pi} \approx 0,6-0,9$); недостаточного увлажнения ($K_{\Pi} \approx 1,0-1,3$); умеренно-влажный ($K_{\Pi} \approx 1,4-1,7$); влажный ($K_{\Pi} \approx 1,8-2,1$).

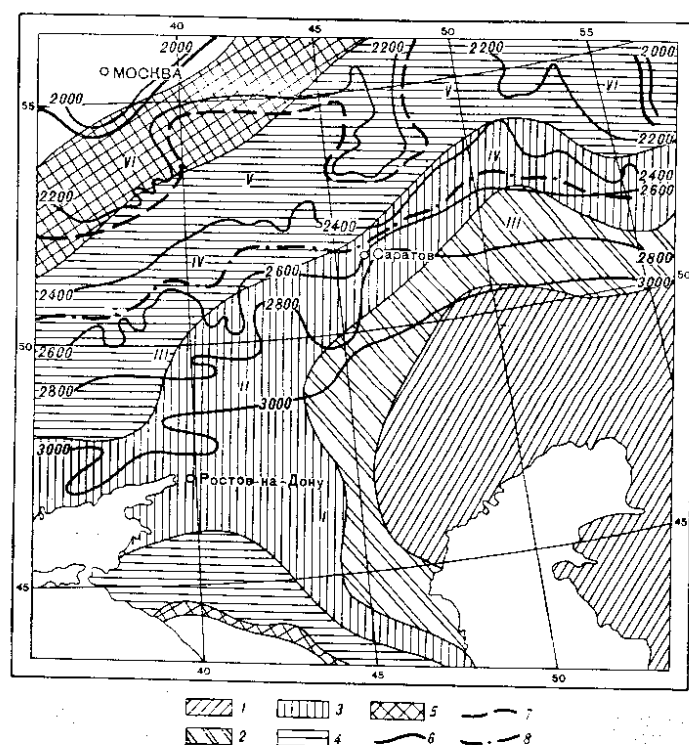


Рис. 18.5 - Агроклиматическое районирование подсолнечника на территории ЕЧ СНГ.

Термические зоны и сектора по увлажнению 1-5 (см. табл. 18.8). Северная граница 80%-ной обеспеченности теплом сортов: 6 - среднескороспелых, 7 - среднеспелых, 8 - среднепозднеспелых.

К карте районирования прилагается легенда в виде табл. 18.8 с количественной характеристикой макрорайонов, различающихся по ресурсам тепла и влаги на рассматриваемой территории. В этой таблице также дана оценка урожая семян подсолнечника и выхода подсолнечного масла (кг/га) на основе установленных автором зависимостей этих показателей от сумм температур за вегетационный период и показателя увлажнения. На рис. 18.6 в качестве примера показан комплексный график, характеризующий связь урожая семян подсолнечника от ΣT_c и показателя

увлажнения (K_n). В поле графика нанесены точками средние многолетние данные отдельных метеорологических станций и госсортоучастков.

Таблица 18.8 - Количественная оценка агроклиматических районов применительно к подсолнечнику на территории ЕЧ СНГ

Агроклиматический район	Показатель увлажнения (K_n)	Урожай семян (ц/га)	Сбор масла (кг/га)
1. Жаркий ($>3000\text{ }^{\circ}\text{C}$)			
сухой	$<0,6$	<5	300
засушливый	0,6-0,9	5-12	300-500
недостаточного увлажнения	1,0-1,3	12-19	600-1000
умеренно-влажный	1,4-1,7	19-27	1000-1300
влажный	1,8-2,1	>27	>1300
2. Умеренно-жаркий (2800-3000 $^{\circ}\text{C}$)			
засушливый	0,6-0,9	6-13	300-600
недостаточного увлажнения	1,0-1,3	13-21	700-1000
умеренно-влажный	1,4-1,7	>21	1000-1300
3. Теплый (2600-2800 $^{\circ}\text{C}$)			
засушливый	0,6-0,9	8-15	300-600
недостаточного увлажнения	1,0-1,3	15-23	700-1000
умеренно-влажный	1,4-1,7	>23	1000-1500
4. Умеренно-теплый (2400-2600 $^{\circ}\text{C}$)			
недостаточного увлажнения	1,0-1,3	17-23	700-1000
умеренно-влажный	1,4-1,7	>24	1000-1200
5. Умеренно-прохладный (2200-2400 $^{\circ}\text{C}$)			
недостаточного увлажнения	1,0-1,3	16-22	600-900
умеренно-влажный	1,4-1,7	22-24	900-1200
влажный	1,8-2,1	<24	<1200
6. Прохладный (2000-2200 $^{\circ}\text{C}$)			
умеренно-влажный	1,4-1,7	15-20	600-900
влажный	1,8-2,1	<15	<600

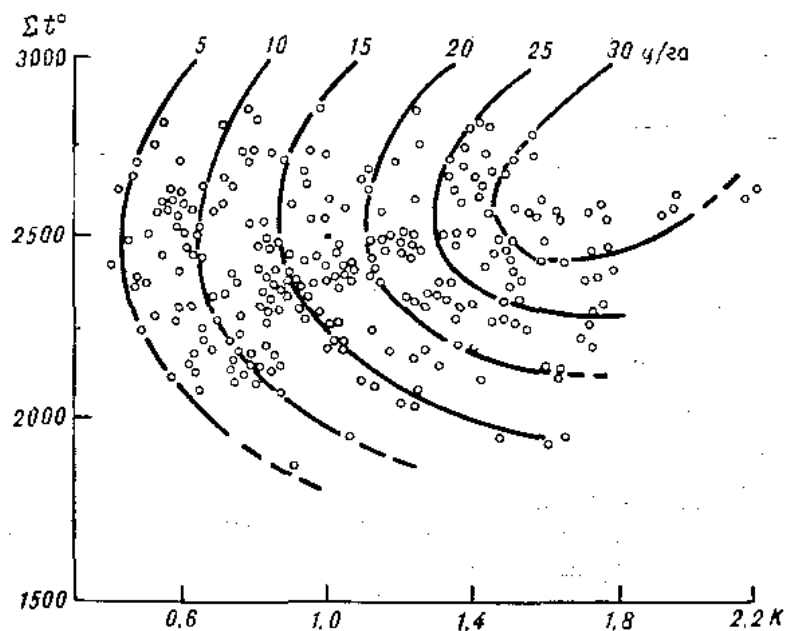


Рис.18.6 - Связь урожая семян подсолнечника (ц/га) с суммой температур за вегетационный период $\Sigma T^{\circ}\text{C}$ и показателем увлажнения K .

Из анализа вышеуказанных материалов можно сделать следующее заключение. С увеличением сумм температур воздуха до оптимального предела и с возрастанием показателя увлажнения ($\hat{E}_i$) до 1,4 – 1,7 и 1,8 – 2,1 почти во всех макрорайонах значительно увеличивается урожай семян подсолнечника и выход подсолнечного масла. Например, в теплом макрорайоне 3 при $\Sigma T_c \approx 2600 - 2800^{\circ}\text{C}$ урожай подсолнечника и сбор масла при $\hat{E}_i$ порядка 1,4 – 1,7 эти показатели увеличиваются до 23 ц/га и до 1000 – 1500 кг/га.

Позднее З.А. Мищенко и Н.В. Кирнасовская [73] выполнили региональную оценку и агроклиматическое районирование подсолнечника на территории Украины в более крупном масштабе (1 : 1 500 000). В качестве основных показателей были взяты: суммарная солнечная радиация за теплый период с T_c выше 10°C (ΣQ) и биологическая сумма ФАР ($\Sigma Q_{\text{фб}}$), фактическое водопотребление культуры (E), оптимальное водопотребление (E_0), влагообеспеченность в виде $\hat{A}/\hat{A}_0$. Для семи выделенных на карте микрорайонов дана оценка потенциальных урожаев ($U_{\text{пт}}$) и действительно возможных урожаев подсолнечника ($U_{\text{дв}}$) при заданных КПД использования ФАР (η) в 1%, 2% и 3%.

Глава 19 АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ОГРАНИЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В СРЕДНЕМ И КРУПНОМ МАСШТАБЕ

В настоящее время завершен крупный этап в развитии агроклиматологии, созданы различные модели общего и специального агроклиматического районирования территорий отдельных стран СНГ, а также дальнего зарубежья. Эти модели, построенные в мелком масштабе (1:2 000 000, 1 : 12 500 000 и мельче), полезны для учреждений, планирующих развитие сельского хозяйства в зональном разрезе. Но, несмотря на их ценность, они все меньше удовлетворяют современные запросы практики на местах в силу реально существующей в природе пестроты микроклиматических ресурсов, возникающих на малых расстояниях под влиянием неоднородностей деятельной поверхности (форма рельефа, экспозиция и крутизна склонов, типы почв, близость морей и крупных водоемов и др.).

Причина заключается в том, что в мелком масштабе невозможно территориально изобразить особенности местного климата и микроклимата в пределах административной области, небольшого района или отдельного хозяйства. Кроме того, большинство традиционных агроклиматических показателей, которые вводятся при этом нечувствительны к микроклимату и характеризуются слабой биологизацией. На основе этого невозможно сделать правильные экологические выводы и разработать научно-обоснованные рекомендации по развитию адаптивного растениеводства с учетом специфики конкретного региона или района страны. Поэтому в последние годы во многих странах успешно развивается региональное направление в агроклиматическом районировании ограниченных территорий [47, 54, 59, 63, 67, 73, 87, 124, 125].

19.1 Специфика агроклиматического районирования ограниченных территорий

В зависимости от запросов сельскохозяйственной практики агроклиматическое районирование ограниченных территорий может быть общим (применительно ко всем культурам) или специальным – для одной культуры. Как правило, картирование осуществляется применительно к небольшой стране или административной области в среднем масштабе (от 1 : 100 000 идо 1 : 750 000). Агроклиматическое районирование для территорий административного района или отдельного хозяйства выполняется на картах крупного масштаба (от 1 : 10 000 идо 1 : 50 000). Целью такого районирования является: учет комплекса природных условий; ориентация на производственные нужды; применение

специальной системы показателей, наилучшим образом отражающих ресурсы климата данной территории для сельскохозяйственного производства.

В ряде случаев применяют новые показатели, чувствительные к микроклимату или раскрывающие с необходимой полнотой сущность лимитирующих факторов климата на конкретной территории. К числу таких агроклиматических показателей относятся: суммарная и фотосинтетически активная радиация; дневная и ночная температуры воздуха и их суммы; суточная амплитуда температуры воздуха; дневная температура деятельной поверхности и её суммы; ряд показателей климата почвы (температура почвы на глубине 10-20 см, даты перехода T_n через 5, 10 °С весной и осенью, продолжительность теплого периода с T_n через 5, 10 °С и ΣT_n ; запасы продуктивной влаги в почве и др.). В этом направлении имеется положительный опыт в Болгарии, Германии, Венгрии, Молдове, Норвегии, Польше, России, Швейцарии, Эстонии и др. странах.

При среднемасштабном и крупномасштабном районировании агроклиматических ресурсов использование фоновой информации о климате с помощью данных наблюдений на сети метеорологических станций является недостаточным. Поэтому все чаще для оценки изменчивости агроклиматических ресурсов на малых площадях под влиянием микроклимата применяют расчетные методы. Суть их заключается в использовании разработанных (например, для территории СНГ) микроклиматических параметров. С их помощью можно определить варьирование агроклиматических показателей на ограниченной территории под влиянием неоднородностей деятельной поверхности [60, 63, 70, 85, 86].

В ряде случаев необходима организация экспериментальных исследований на полигонах для получения микроклиматической информации, а также сведений по темпам развития культурных растений, их урожаю и качеству. При этом широко применяется метод фитоиндикационных обследований территории, особенно для оценки стрессовых состояний у растений под влиянием опасных явлений погоды (заморозки, морозы, засухи, суховеи и др.). Методика проведения микроклиматического и биологического экспериментов на полигонах со сложным рельефом изложена в опубликованных работах [5, 54, 60, 64, 125].

Агроклиматическое районирование небольших территорий в Среднем и крупном масштабе возможно при наличии хорошей гипсометрической основы, а также морфометрических карт рельефа (базисов эрозии, уклонов местности, экспозиции склонов). В большинстве случаев готовые морфометрические карты в вышеуказанных масштабах отсутствуют и их надо создавать. Кроме того, необходимо располагать детальной почвенной

картой с типами почв, различающихся по плодородию и механическому составу. Если ставится практическая задача, связанная с оптимизацией размещения однолетних и многолетних культур, то дополнительно следует располагать картой-схемой существующего землепользования (размещение культур, леса, мелиорируемые земли и др.).

Как при любом агроклиматическом районировании сначала составляются отдельные карты по: а) радиационно-тепловым ресурсам и теплообеспеченности культур; б) ресурсам влаги и влагообеспеченности растений; в) тем или иным лимитирующим факторам климата (заморозки, морозы, засухи). Далее путем последовательного совмещения отдельных карт строится комплексная агроклиматическая карта. Границы макро, мезо и микрорайонов определяются как классическим методом проведения изолиний, так и путем выделения однородных площадей по ресурсам тепла и влаги. Количественная характеристика выделенных мезо и микрорайонов обычно приводится в развернутой легенде к карте часто в табличной форме. При разработке этой легенды исходят из задач, для решения которых составляются карты. Стандарта таких легенд не существует.

19.2 Среднемасштабное районирование агроклиматических ресурсов в пределах небольшой страны, административной области

Методика среднемасштабного агроклиматического районирования находится в стадии развития и научного поиска. Наиболее значительные результаты в этом направлении получены И.А. Гольцберг [27], З.А. Мищенко [63, 66, 67], М.Б. Примо [125], Е.Н. Романовой [85, 87], Г.Т. Селяниновым [91], А.П. Слядневым [79]. Рассмотрим наиболее интересные в научном и практическом отношении примеры агроклиматического районирования в среднем масштабе применительно к небольшой стране или административной области. Например, И.А. Гольцберг построила среднемасштабную агроклиматическую карту (рабочий масштаб 1 : 200 000) для территории, охватывающей северный склон Заилийского Ала-Тау в Казахстане с целью рационального размещения яблоневых садов в горной местности. Эта карта составлена на основе детальной гипсометрической карты с использованием средних многолетних данных всех ближайших метеорологических станций и фенологических наблюдений в садах, расположенных на разных высотах, а также экспедиционных микроклиматических наблюдений. На карте выделено четыре мезоклиматических района по термическим ресурсам в теплое и холодное время года.

Для их оценки взяты следующие показатели климата: средняя температура января, средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха, средняя температура июля, суммы среднесуточных

температур воздуха выше 10 °С, продолжительность беззаморозкового периода. Каждый мезорайон оценен по степени благоприятствования для промышленного возделывания различных сортов яблок с характеристикой вероятности их созревания и возможного повреждения морозами зимой.

Автор определила верхнюю границу культивирования позднеспелых сортов яблони типа Кандиль не выше 1500 м, среднеспелых сортов типа Апорт – около 1600-1650 м с учетом их биологических сумм температур от начала вегетационного периода до созревания яблок (для Кандиля 2900 °С, для Апорта 2700 °С). Но эти ΣT_6 могут быть достигнуты только в благоприятных местоположениях рельефа – на южных склонах не круче 10°, закрытых от холодных ветров. Граница промышленного возделывания Кандиля около 1200 м, Апорта – около 1500 м. На этих высотах вероятность созревания яблок составляет 80-90 %, т.е. получение урожая возможно 8-9 раз из 10 лет.

Аналогичный подход применил М.Б. Примо при составлении агроклиматической карты для территории Швейцарии в рабочем масштабе 1 : 300 000 для размещения кукурузы с оценкой вероятности вызревания её до наступления заморозков, т.е. до 15 октября. На этой карте с большой подробностью учтено (помимо высотного градиента) влияние форм рельефа, экспозиции и крутизны склонов на изменчивость характеристик солнечной радиации, термического режима и условий увлажнения. Показано, что для мезорайонов с юго-западной и юго-восточной экспозицией при наклоне более 7° вероятность созревания кукурузы увеличивается на 5-7 %. На северо-западных и северо-восточных склонах той же крутизны или в замкнутой долине вероятность созревания культуры снижается на 10 %.

Позднее Б. Примо [125] на основе изучения микроклиматов горного Кантона Во в Швейцарии выполнил комплексное районирование в рабочем масштабе 1 : 500 000 для интегрального использования земель под ведущие отрасли сельского хозяйства и сопутствующих отраслей. Как видно из рис. 19.1 на карте выделено восемь зон для рационального размещения крупных земледельческих хозяйств с различным набором сельскохозяйственных культур, а также для скотоводства и земледелия. В основу районирования положены климатологические обобщения стандартной сети метеорологических и фенологических станций, а также специальные микроклиматические наблюдения, особенно в зимний период в течении двух лет.

Учтено распределение на рассматриваемой территории следующих характеристик климата: прямой солнечной радиации и продолжительности солнечного сияния; температуры воздуха и почвы; осадков и показателя увлажнения; скорости и направления ветра; даты заморозков и продолжительности беззаморозкового периода и др. Картирование

производилось на детальной гипсометрической основе с учетом высотных градиентов основных показателей климата в горных районах.

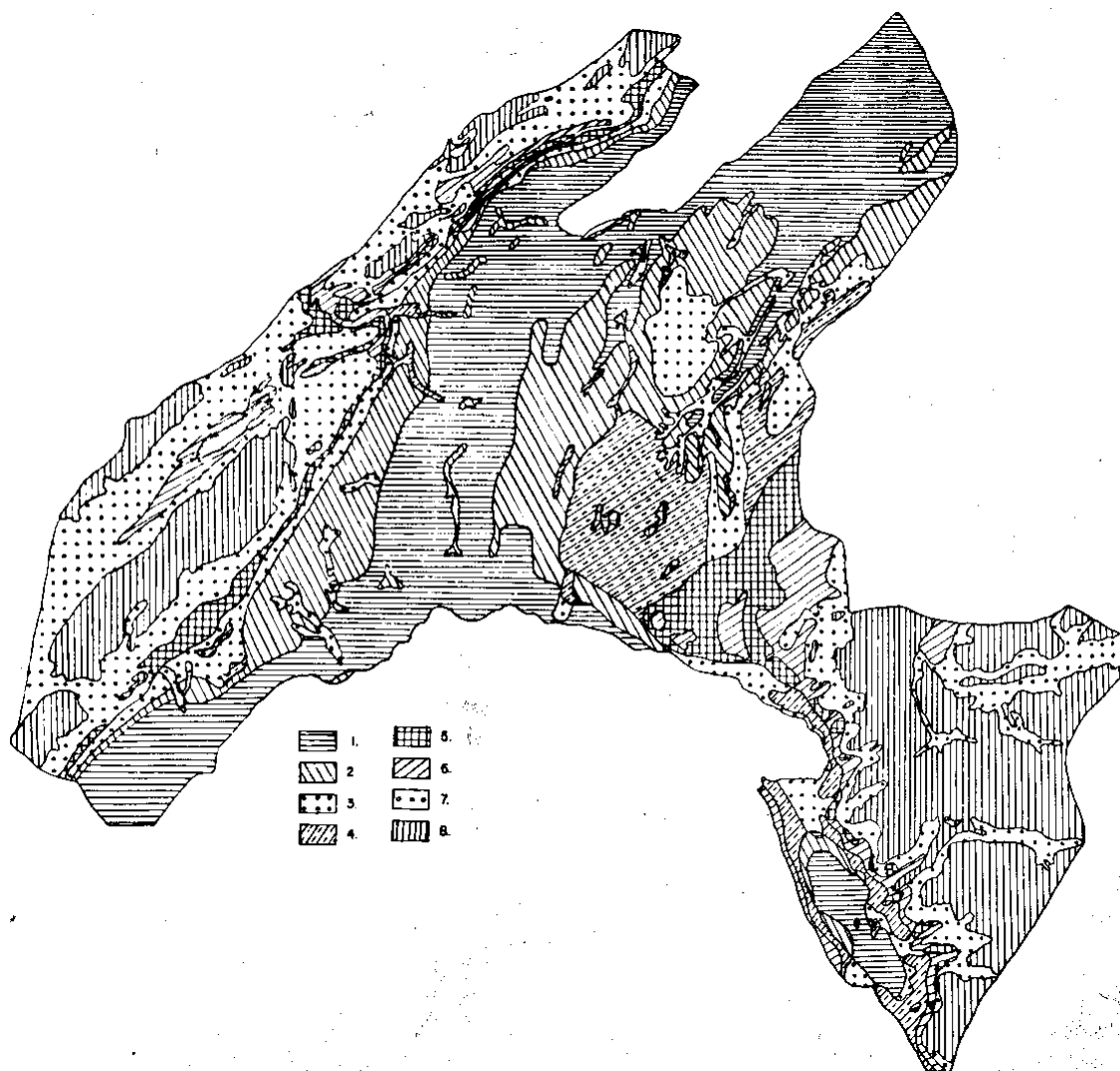


Рис.19.1 – Основные зоны сельскохозяйственных культур на территории Кантона ВО, Швейцария.

- 1- Крупные земельные хозяйства; 2 - то же, с сокращением; 3 – земледелие и скотоводство;
- 4 – то же с сокращением; 5 - скотоводство и земледелие;
- 6 – в основном скотоводство, частично земледелие;
- 7 – скотоводство и заготовка кормов; 8 – пастбища и земли, непригодные для земледелия.

Принимались во внимание не только средние многолетние характеристики климата, но и их вероятностная оценка. В дальнейшем весь богатый цифровой и картографический материал автор использовал для выделения мезорайонов, пригодных для разных аспектов человеческой деятельности. Так появилась серия карт для размещения виноградарства, плодоводства, огородничества, лесных биоценозов и др.

Многообразие климатов и микроклиматов на огромной территории бывшего СССР обусловило развитие географического подхода в изучении микроклиматических ресурсов в различных регионах. К настоящему времени выполнена количественная оценка, типизация и районирование мезо и микроклиматической изменчивости основных показателей климата на рассматриваемой территории под влиянием холмистого и горного рельефа, типов почв, близости морей и водоемов, видов агроценозов. Результаты научных разработок опубликованы в ряде монографий и методических пособий [59, 60, 63, 64, 70, 85, 86 и др.].

Систематизация микроклиматических параметров применительно к территории СНГ и стран Балтии послужила основной для разработки нового метода агроклиматического районирования в разном масштабе с учетом микроклимата. Этот метод был предложен З.А. Мищенко [5, 63, 64] и реализован применительно к небольшой стране со сложным рельефом – Молдове. Новизна и суть метода заключается в системном подходе, основанном на проведении сопряженных микроклиматических и биоэкологических экспериментов в географическом разрезе, агроклиматических расчетах с вероятностной оценкой лимитирующих факторов климата для ведущих форм рельефа, разработке специализированной системы агроклиматических показателей и методик разномасштабного районирования агроклиматических ресурсов с учетом микроклимата.

Региональная оценка агроклиматических ресурсов выполнена путем уточнения фоновой информации о климате системой микроклиматических параметров, которые удобно представлять в относительных величинах. Переход от расчетов в точке на площадь осуществляется путем установления количественных зависимостей между показателями климата, биоты и характеристиками рельефа (экспозиция и крутизна склонов, форма рельефа, глубина расчленения рельефа по вертикали и горизонтали и др.) с последующим картографированием агроклиматических ресурсов на морфометрической основе.

Агроклиматическое районирование территории Молдовы с учетом микроклимата с целью рационального размещения винограда на сортовом уровне и ряда плодовых культур выполнено З.А. Мищенко в среднем масштабе (1 : 500 000). Этой работе предшествовало создание ряда специальных агроклиматических карт в рабочем масштабе от 1 : 200 000

до 1 500 000. К их числу относятся следующие карты для территории страны.

1. Агроклиматическое районирование радиационно-тепловых ресурсов (по ΣQ , ΣQ_{ϕ} , ΣT_{∂} и ΣS_c (см. гл.16). С помощью переходных коэффициентов дана оценка микроклиматической изменчивости сумм суммарной радиации и ФАР на северных, южных, западных и восточных склонах крутизной 5, 10, 15, 20° по сравнению с горизонтальной поверхностью на территории страны.

2. Агроклиматическое районирование тепловых ресурсов дня и ночи. На комплексной карте в рабочем масштабе 1 : 200 000 цветом выделено девять макрорайонов по ΣT_{∂} выше 10 °С, штриховкой – семь макрокрайонов по ΣT_n выше 10 °С. Дополнительно выполнено районирование микроклиматических параметров ($\Delta \Sigma T_{\partial}$, $\Delta \Sigma T_n$) в зависимости в зависимости от базисов эрозии (ΔH_m) и уклонов местности. С его помощью количественно оценены ΣT_{∂} , ΣT_n (°С) для 226 местоположений в сложном рельефе на территории Молдовы.

3. Агроклиматическое районирование показателей заморозкоопасности весной и осенью. На комплексной карте (рабочий масштаб 1 : 400 000) выделено восемь макрорайонов, различающихся по шести показателям – $D_{вз}$, $D_{оз}$, $N_{\partial/n}$, $T_{мв}$, $T_{мо}$, $\Sigma T_{\partial/n}$ на территории страны (см. гл.9). Для каждого макрорайона дана оценка изменчивости этих показателей в разных местоположениях рельефа.

4. Агроклиматическое районирование показателей морозоопасности для оценки перезимовки винограда и плодовых культур. На комплексной карте в рабочем масштабе 1 : 200 000 цветом выделено шесть макрорайонов, различающихся по среднему из абсолютных годовых минимумов температур воздуха с 50 %-ной и 10 %-ной обеспеченностью. Штриховкой выделено шесть мезорайонов по морфометрическим характеристикам рельефа (ΔH_m , уклоны). В легенде к ним даны микроклиматические параметры для ведущих форм рельефа. С их помощью определены значения $\bar{T}_i$ для 248 местоположений в рельефе на территории Молдовы.

Общее агроклиматическое районирование территории Молдовы с учетом микроклимата с целью оптимизации размещения винограда и плодовых культур представлено на рис.19.2. Оно выполнено на основе глубокого анализа и сопоставления вышеуказанных агроклиматических карт. На карте выделено шесть макрорайонов для условий открытого ровного места по основным агроклиматическим показателям, характеризующим теплое и холодное время года. К их числу относятся: суммы суммарной радиации и ФАР за теплый период с T_c выше 10 °С (ΣQ , ΣQ_{ϕ}); суммы среднесуточных, дневных и ночных температур воздуха выше 10 °С (ΣT_c , ΣT_{∂} , ΣT_n); продолжительность теплого и

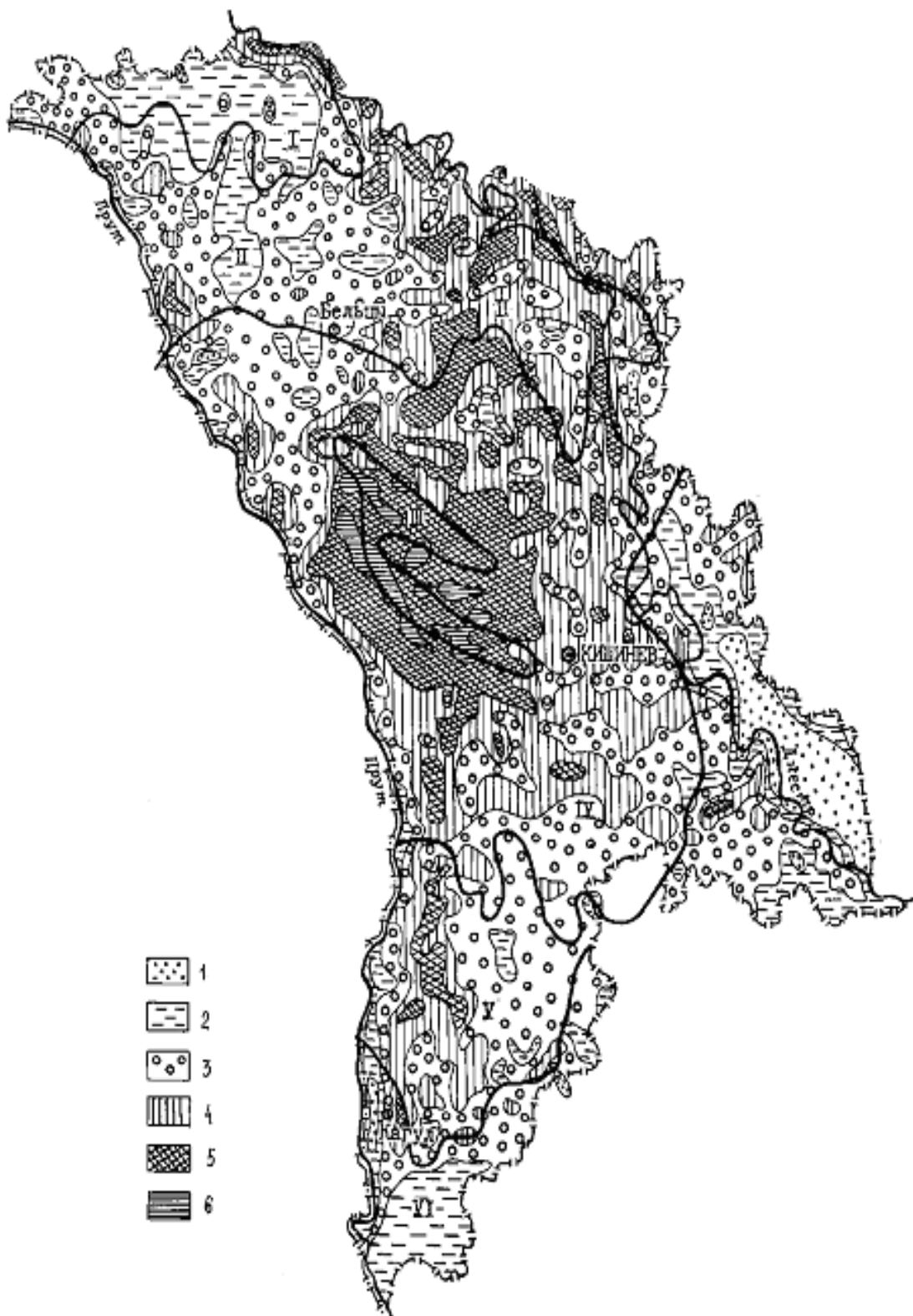


Рис.19.2 - Агроклиматическое районирование территории Молдовы с учетом микроклимата для виноградарства и плодоводства. Макро, мезо и микрорайоны (см. в табл.19.1).

Таблица 19.1 - Количественная оценка агроклиматических макрорайонов на территории Молдовы

Макрорайон	$\Sigma T_{д} > 10^{\circ}\text{C}$ $\Sigma T_{с} > 10^{\circ}\text{C}$ $\Sigma T_{н} > 10^{\circ}\text{C}$	ΣQ , МДж/м ²	$N_{m/n}$ (дни)	$N_{б/n}$ (дни)	$\bar{T}_i$, °C	$ГТК$	Σr , мм
I. Крайне-северный, умеренно-холодный и незначительно засушливый летом; очень холодный зимой	≤ 3300 ≤ 2800 ≤ 2150	3400-3500	≤ 165	≤ 170	-23; -24	$\geq 1,2$	325-350
II. Северный прохладный, слабо-засушливый; очень холодный зимой	3300-3550 2800-3000 2150-2350	3500-3650	165-170	170-175	-22; -23	1-1,2	300-325
III. Центральный в Кодрах, умеренно-прохладный и незначительно засушливый летом; очень холодный зимой	3450-3550 2900-3000 2250-2350	3650-3750	170-175	175-180	-22; -23	1,1-1,2	≥ 325
IV. Центральный, умеренно-теплый, засушливый летом; холодный зимой	3550-3800 3000-3200 2350-2550	3750-3900	175-180	180-190	-21; -22	0,8-1	275-300
V. Юго-восточный, теплый, засушливый летом; умеренно-холодный зимой	3800-3900 3200-3300 2550-2650	3900-4000	180-185	190-195	-20; -21	0,8-0,9	250-275
VI. Южный, очень теплый и очень засушливый летом; умеренно-холодный зимой	> 3900 > 3300 > 2650	> 4000	185-190	195-200	-19; -20	0,7-0,8	< 250

Примечание. ΣQ – суммы суммарной радиации за период с T_c выше 10°C ; $N_{m/n}$ – продолжительность теплого периода с T_c выше 10°C ; $N_{б/n}$ – продолжительность беззаморозкового периода; $\bar{T}_i$ - средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха; $ГТК$ – гидротермический коэффициент за период активной вегетации; Σr – сумма осадков за теплый период с T_c выше 10°C .

беззаморозкового периодов (N_{mn} , $N_{6/n}$); средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ($\bar{T}_i$) с вероятностной оценкой; гидротермический коэффициент ($ГТК$); суммы осадков (Σr) за теплый период с T_c выше 10 °С. Количественная оценка агроклиматических макрорайонов дана в табл.19.1.

На карте разной штриховкой выделено шесть мезоклиматических районов, различающиеся по типам рельефа:

- 1- всхолмленный ($\Delta H \leq 60$ м, уклоны 3-6°);
- 2 - слабо-холмистый ($\Delta H \approx 60-100$ м, уклоны 6-8°);
- 3 - холмистый ($\Delta H \approx 100-140$ м, уклоны 8-12°);
- 4 - холмистый предгорный ($\Delta H \approx 140-180$ м, уклоны 12-16°);
- 5 - низкогорный ($\Delta H \approx 180-220$ м, уклоны 16-20°);
- 6 - низкогорный и среднегорный рельеф ($\Delta H \approx 220-300$ м, уклоны 20° и более).

Далее по морфометрическим характеристикам каждого мезорайона и микроклиматическим параметрам определены абсолютные значения агроклиматических показателей для ведущих форм микрорельефа. Такой прием позволил автору получить агроклиматическую информацию в трех масштабах (макро, мезо, микро) и разработать рекомендации по оптимизации размещения винограда и плодовых культур на территории Молдовы с учетом микроклимата.

Установлено, что макрорайоны I и II по агроклиматическим ресурсам благоприятны для произрастания холодостойких и влаголюбивых семечковых пород плодовых культур (яблоня, груша), а также ряда косточковых (вишня, слива, грецкий орех) и ягодников (рис. 19.2, табл.19.1). В центральной части страны (макрорайоны III и IV) возможно промышленное возделывание ранних и среднеспелых сортов винограда и ряда плодовых культур (яблоня, черешня, грецкий орех, абрикос, персик), включая ягодники. На юге (макрорайоны V и VI) создаются благоприятные условия для произрастания теплолюбивых плодовых культур (айва, груша, абрикос, персик, черешня, миндаль, нектарин и др.), а также для среднеспелых и позднеспелых сортов винограда.

Для перехода к микрорайонированию сортов винограда и пород плодовых культур к карте районирования прилагается вторая легенда в виде табл.19.2. В ней для каждого из шести макроклиматических районов указаны мезорайоны, различающиеся по морфометрическим характеристикам рельефа и оптимальные местоположения по микроклиматическим условиям для возделывания винограда и плодовых культур. Повсеместно в Молдове наиболее благоприятными местоположениями для закладки садов и виноградников являются водораздельные плато, склоны и равнинные земли. Непригодны для этих целей подножия склонов всех экспозиций, дно долин и котловин. Более

Таблица 19.2 – Схема рационального размещения винограда и плодовых культур с учетом агроклиматических и микроклиматических ресурсов Молдовы

Агроклим. макрорайон	Тип рельефа (ΔН _м , уклоны)	Миндаль	Персик	Виноград	Абрикос	Айва	Грецкий орех
I.	Слабо-холмистый рельеф 0-20м, 0-3 ⁰ , 20-60м, 3-6 ⁰	-	-	-	-	-	-
II.	Холмистый рельеф 60-150м, 6-8 и 8-12 ⁰	-	-	БЮ, БЮЗ, ВП, БЮВ, ВЗ, ВВ (р, ср)	БЮ, БЮЗ, БЮВ	ЮЗ, БЮВ	ВП, БЮЗ, БЮВ, ВЗ, ВВ
III.	Слабо-холмистый рельеф 0-60м, 0-3 ⁰ , 3-6 ⁰	-	-	-	-	БЮ, БЮЗ, БЮВ	ВЗ, ВВ, ВП, ВСЗ, ВСВ, БЮЗ, БЮВ
IV.	Холмистый рельеф 60-150м, 6-8 и 8-12 ⁰	БЮЗ, БЮВ	БЮЗ, БЮВ	БЮ, БЮЗ, ВЗ, БЮВ, ВВ, ВП (р, ср)	БЮЗ, БЮВ, ВЗ, ВВ, ВП	СЗ, СВ, ВП, СЮВ, СЮЗ	СС, СЗ, СВ, ССВ, ССЗ, ВП
	Низкогорный Рельеф 150-300м, 12-16 и 16-20 ⁰	БЮЗ, БЮВ ВЗ, ВВ, ВП	БЮЗ, БЮВ ВЗ, ВВ, СЮВ, СЮЗ	БЮ, БЮЗ, ВП, БЮВ, ВЗ, ВВ, СЮ, СЮЗ, СЮВ (р, ср)	БЮЗ, БЮВ, ВЗ, ВВ, ВП	СЗ, СВ, ВП, СЮВ, СЮЗ	СС, ССВ, ССЗ, СЗ, СВ, ВП
V.	Слабо-холмистый рельеф 0-20м, 0-3 ⁰ , 20-60м, 3-6 ⁰	БЮЗ, БЮВ ВП	ВЗ, ВВ, СВЮ, СЗ, СЮЗ, СВ, РМ	БЮ, БЮЗ, ВЗ, БЮВ, ВВ, ВП, РМ, СЮ, СЮЗ, СЮВ (сс, ср)	БЮВ, БЮЗ, ВВ, ВЗ, ВП, СЮЗ, СЮВ, СЗ, СВ	ВЗ, ВВ, СЗ, ВСЗ, ВСВ, СВ, ВП, РМ	ВС, ВСЗ, ВСВ, СЗ, СВ, ССЗ, ССВ, ВП, ВВ, ВЗ, РМ
VI.	Холмистый рельеф 60-150м, 6-8 и 8-12 ⁰	БЮЗ, БЮВ ВЗ, ВВ, СЮЗ, СЮВ	ВВ, ВЗ, СЮВ, СЗ СВ, РМ	БЮ, БЮЗ, ВЗ, БЮВ, ВВ, ВП, СЮ, СЮЗ, СЮВ (сп, пс)	ВВ, ВЗ, ВП, СЮЗ, СЗ, СЮВВ, СВ	СЗ, СВ, ССЗ, ССВ, ВП, РМ	СЗ, СВ, ВП, ССЗ, ССВ, РМ

Продолжение таблицы 19.2

Агроклим. макрорайон	Тип рельефа (ΔН _м ,уклоны)	Черешня	Груша	Вишня	Слива	Яблоня
I.	Слабо-холмистый рельеф 0-20м, 0-3 ⁰ , 20-60м, 3-6 ⁰	ВЮЗ,ВЮВ, ВВ,ВЗ,ВП	ВЮЗ,ВЮВ, ВВ,ВЗ,ВП	ВП,СВ,СС,ССЗ, СВ,СЗ,ВС,ВСЗ, ВСВ,ВЗ,ВВ	НСВ,НСЗ,НЗ, НВ,РМ,НЮЗ, НЮВ	НСЗ,РМ,СС, НС,НСВ,ССВ, ССЗ,СЗ,СВ
II.	Холмистый рельеф 60-150м, 6-8 и 8-12 ⁰	ВЮЗ,ВЮВ,ВП ВВ,ВЗ,СЮЗ, СЮВ,СВ,СЗ	ВВ,ВЗ, СЮЗ,СЮВ, СЗ,СВ	СС,ССЗ,СЗ,ССВ, СВ,ВС, ВЗ,ВВ, ВСВ,ВСЗ,ВП	НС,НСЗ,НСВ, НВ,НЗ,РМ, НЮЗ,НЮВ	НС,НСВ,СС, НСЗ,ССВ,ССЗ СЗ,СВ,РМ
III.	Слабо-холмистый рельеф 0-60м, 0-3 ⁰ , 3-6 ⁰	ВЮЗ,ВЮВ,ВВ, ВЗ,СВ,СЮЗ, СЮВ,СЗ,ВП	ВВ,ВЗ, ВЮЗ,ВЮВ, ВП	СС,ССЗ,ССВ СЗ,СВ,ВС,ВСЗ ВСВ,ВЗ,ВВ,ВП	НС,НСЗ,НСВ, НВ,НЗ,НЮЗ, НЮВ, РМ	НС,НСВ,СС, НСЗ,ССВ,СЗ СВ,РМ,СВ,РМ ССЗ
IV.	Холмистый рельеф 60-150м, 6-8 и 8-12 ⁰	ВВ,ВЗ,СЮЗ, СЮВ,СЗ,СВ,ВП	СЮЗ,СЮВ, СЗ,СВ,ВП	СС, ССВ, ССЗ, СЗ,СВ,ВС,ВВ ВЗ,ВСВ,ВСЗ	НС,НСЗ,НСВ, НВ,НЗ,ССВ,СС, ССЗ	НС,НСВ,СС, НСЗ,ССЗ,СЗ ССВ,СВ,РМ
	Низкогорный рельеф 150-300м, 12-16 и 16-20 ⁰	ВВ,ВЗ, СВ,СЗ,ССЗ,ССВ	СВ,СЗ,ВП, СЮЗ,СЮВ	СС,ССВ,СЗ,СВ, ВС,ВСЗ,ВСВ	НС,НСЗ,НСВ,НВ, НЗ,ССВ,СС,ССЗ	СС,ССВ,СЗ, ССЗ,СВ,ВП
V.	Слабо-холмистый рельеф 0-20м, 0-3 ⁰ , 20-60м, 3-6 ⁰	ВВ,ВЗ, СВ,СЗ,ССЗ, ССВ,ВП,РМ	ВВ,ВЗ,СВ, СЗ,ВПР, ССЗ,ССВ	СС, ССВ, ВС, ССЗ,ВСЗ,ВСВ	НС,НСВ,НСЗ, СС,ССЗ,РМ, ССВ	НС,НСВ,СС, НСЗ,ССВ,ССЗ, РМ
VI.	Холмистый рельеф 60-150м, 6-8 и 8-12 ⁰	СЗ,СВ,РМ, ССЗ,ССВ	СВ,СЗ, ССЗ,ССВ	-	-	-

Примечание. ВП – водораздельное плато; РМ – равнинные земли; НЮВ, СВ, ВЮВ – соответственно низ, середина, верх юго-восточного склона; НЮ, СЮ, ВЮ - низ, середина, верх южного склона; НС, СС, ВС - низ, середина, верх северного склона; НЮЗ, СЮЗ, ВЮЗ - низ, середина, верх юго-западного склона; НСЗ, ССЗ, ВСЗ - низ, середина, верх северо-западного склона; НСВ, ССВ, ВСВ - низ, середина, верх северо-восточного склона; НЗ, СЗ, ВЗ - низ, середина, верх западного склона; НВ, СВ, ВВ - низ, середина, верх восточного склона; р, ср, сс, сп, пс – раннеспелые, среднеспелые, среднеранние, среднепоздние, поздние сорта винограда.

подробный анализ данных табл. 19.2 для научного обоснования микрорайонирования винограда и плодовых культур содержится в опубликованных работах автора [5, 63, 64].

19.3 Опыт агроклиматического и микроклиматического районирования ограниченных территорий

Специальное агроклиматическое районирование разрабатывается для решения конкретных производственных задач и обычно касается отдельных относительно небольших территорий. Картирование осуществляется чаще всего в рабочем масштабе от 1 : 25 000 до 1 : 100 000. Такой масштаб следует рассматривать как промежуточный между средним и крупномасштабным картированием агроклиматических показателей. В качестве картографической основы используются детальные гипсометрические карты. Для территории с изрезанным рельефом используются и его морфометрические характеристики а также расчетные схемы мезо и микроклиматической изменчивости показателей агроклиматических ресурсов под влиянием форм рельефа, высоты места, экспозиции и крутизны склонов.

Впервые специальное агроклиматическое районирование было произведено под руководством Г.Т. Селянинова [91] при исследовании вопроса о научном обосновании размещения субтропических культур на Черноморском побережье Кавказа. Большая работа по определению агроклиматических показателей для отдельных культур субтропической зоны и изучению пространственной изменчивости этих показателей по территории завершились составлением карты этой зоны, фрагмент которой приведен на рис. 19.3. Рабочий масштаб карты 1 : 25 000. Она охватывает все Черноморское побережье Кавказа до верхней границы субтропической зоны, т.е. до высоты 500 – 600 м. Карта составлена на хорошей гипсометрической основе, позволившей выделить небольшие наиболее теплые зимой участки на склонах и небольших возвышенностях. Фактором, лимитирующим возможное распространение отдельных видов субтропических культур на этой территории, являются условия их перезимовки. Поэтому границы отдельных зон и подзон определялись по средним из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха, территориальное распределение которых очень сложно и зависит от формы рельефа, удаленности от моря, условий стока холодного воздуха по долинам рек и т.д.

Теплообеспеченность летнего вегетационного периода на карте оценена по суммам среднесуточных температур воздуха выше 10 °С,

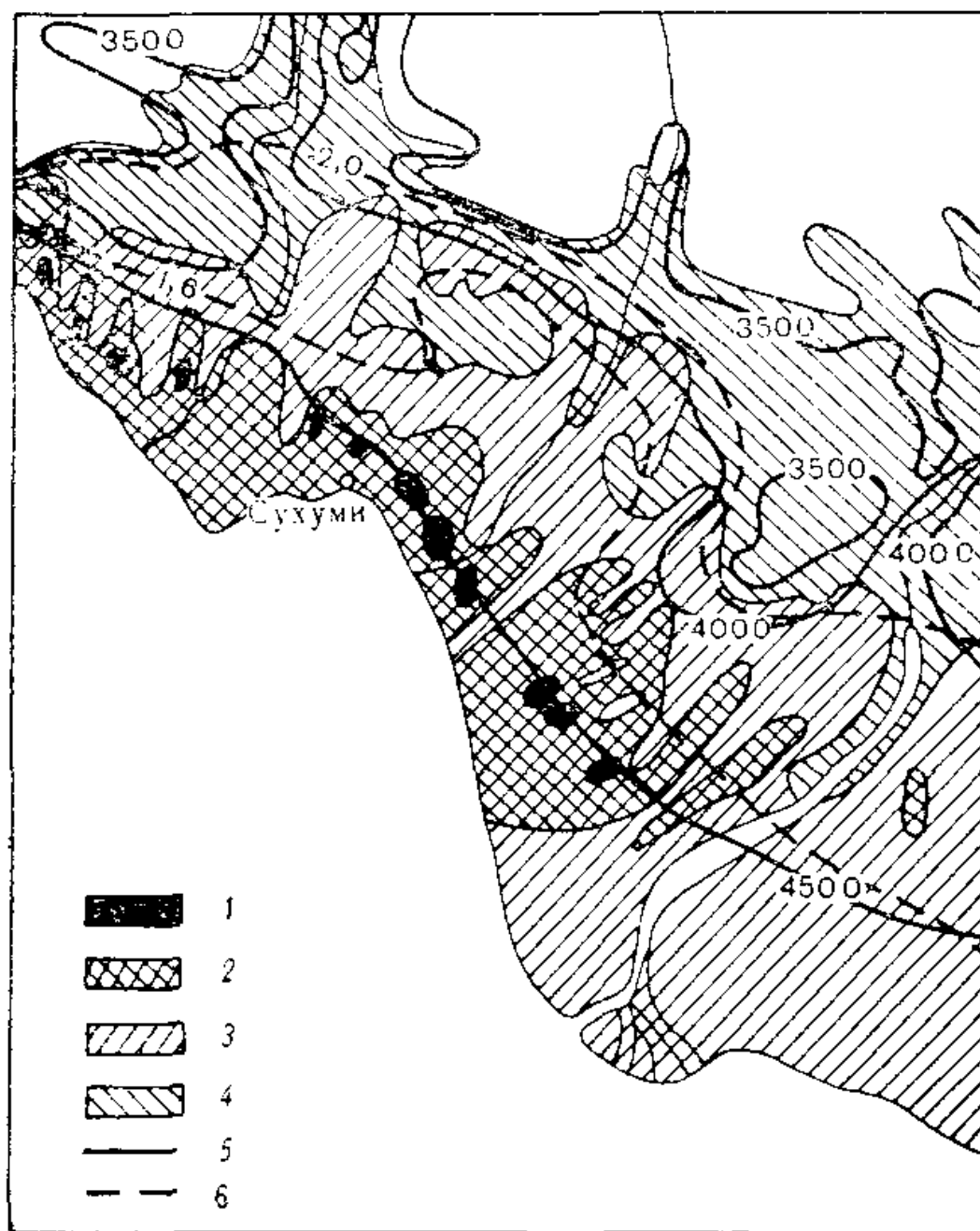


Рис. 19.3 - Фрагмент карты агроклиматического районирования зон субтропиков Западного Закавказья.

Зона цитрусов, тунги, австралийской акации, эвкалиптов: 1 — подзона лимона и апельсина, 2 — подзона мандарина и тунги; 3 — зона лавра; 4 — зона хурмы и пробкового дуба; 5 — сумма температур выше 10 °C; 6 — средний ГТК за июнь, июль, август.

влагообеспеченность – по ГТК. Кроме того, на карте указаны границы распространения восточного сухого ветра, дующего по долине р. Риони и ограничивающего возможности возделывания культуры чая. Карта является первым примером в мировой практике детального агро и микроклиматического районирования территории со сложным рельефом. Как видно из легенды к карте, отдельные участки отводятся под определенный набор культур.

В то время, когда эта карта составлялась опыт освоения территории Черноморского побережья Кавказа под субтропические культуры был невелик. Дальнейшая практика показала, что оценка климата этой территории была сделана достаточно точно и прогноз возможного произрастания субтропических культур здесь вполне оправдался.

Несомненный интерес представляет опыт агроклиматического районирования территории отдельного административного района, выполненного Г.В. Ляшенко [54, 70] на примере Суворовского района Молдовы. Этот район (в настоящее время он называется Штефан – Водэ) занимает площадь в 92 тыс. гектар. Более 85% сельскохозяйственных угодий расположены в слабохолмистом и холмистом рельефе; равнинные земли занимает не более 15%. Вместе с тем на территории района имеется одна метеорологическая станция, фоновая информация которой характеризует ресурсы климата только для равнинных земель.

Поэтому автором были проведены микроклиматические и биоэкологические наблюдения в 1983 – 1987 гг. на типовых формах рельефа в ряде отдельных хозяйств. В результате было получено хорошее согласование расчетных схем мезо и микроклиматической изменчивости основных элементов климата под влиянием сложного рельефа и экспериментальных данных. Было установлено, что даже на территории отдельного хозяйства площадью в 2-3 тыс. гектар диапазон микроклиматических различий для зимних минимальных температур воздуха составил 8 – 9 °С (вершина – узкая долина). Продолжительность беззаморозкового периода на дне долин сокращалась на 15 – 30 дней по сравнению с водораздельными плато. Значительными были микроклиматические различия в ресурсах тепла и влаги.

Ответственным этапом работы явилось составление картографической основы для агроклиматического районирования территории административного района в рабочем масштабе 1 : 50 000. Задача заключалась в составлении синтетической карты природных неоднородностей деятельной поверхности (ПНДП). Для этой цели была использована детальная гипсометрическая карта, с помощью которой Г.В. Ляшенко составила морфометрическую карту уклонов местности, карту экспозиции склонов по восьми румбам, картосхему глубины расчленения рельефа по вертикали (ΔH м). Генерализованы: карта почв

разного механического состава и картосхема землепользования на территории района.

Цветная синтетическая карта ПНДП была составлена путем последовательного наложения вышеуказанных отдельных карт, включая карту почв разного механического состава и карто-схему землепользования. Далее была проведена инвентаризация всех местоположений в рельефе, для которых расчетным путем с помощью микроклиматических параметров были определены абсолютные значения для 12-ти агроклиматических показателей радиационно-тепловых ресурсов (ΣQ , ΣQ_{ϕ} , ΣT_{ϕ} , ΣT_n , A_T), режимы увлажнения по запасам продуктивной влаги в почве (W) и суммарному испарению за вегетационный период (E), условий заморозко и морозоопасности с вероятностной оценкой (T_{mv} , T_{mo} , $N_{\phi/n}$, $\Sigma T_{\phi/n}$ и $\bar{T}_i$).

На рис.19.4 представлено комплексное районирование агроклиматических ресурсов на территории административного района Штефан-Водэ с учетом микроклимата. Выделение районов на карте осуществлено площадным способом по сгруппированным местоположениям в рельефе, однородных по значениям агроклиматических показателей в пределах выбранных интервалов. На карте выделено восемь микрорайонов, значительно различающихся по агроклиматическим ресурсам. К ней прилагается легенда в виде таблицы, содержащей количественную оценку агроклиматических показателей. Она представлена не в полном виде в табл.19.3.

Из таблицы видно, что диапазон микроклиматических различий за счет местоположение в рельефе на территории административного района составляет; в суммах суммарной радиации (ΣQ) за теплый период с T_c выше 10°C 300 МДж/м^2 ; в ΣT_n с T_n выше 10°C – 500°C ; в продолжительности беззаморозкового периода 30 дней. Средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ($\bar{T}_i$) изменяется под влиянием микроклимата на 8°C , запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-50 см ($W_{\phi n}$) в среднем за вегетационный период – на 50-60 мм.

На основе анализа карты агроклиматического районирования материалов к ней и учета требований к климату винограда автор для каждого микрорайона оценила обеспеченность (%) термическими ресурсами для 13-ти сортов винограда, возделываемых на территории района Стефан-Водэ и разработала рекомендации по рациональному размещению их в пределах выделенных на карте микрорайонов.

Методический интерес представляет комплексная карта мезо и микроклиматического районирования, разработанная Б. Обремско-Старкловой [124] в цветном варианте для ограниченной территории со сложным рельефом (водосборные участки р. Ямче и р. Ямче в Польше).

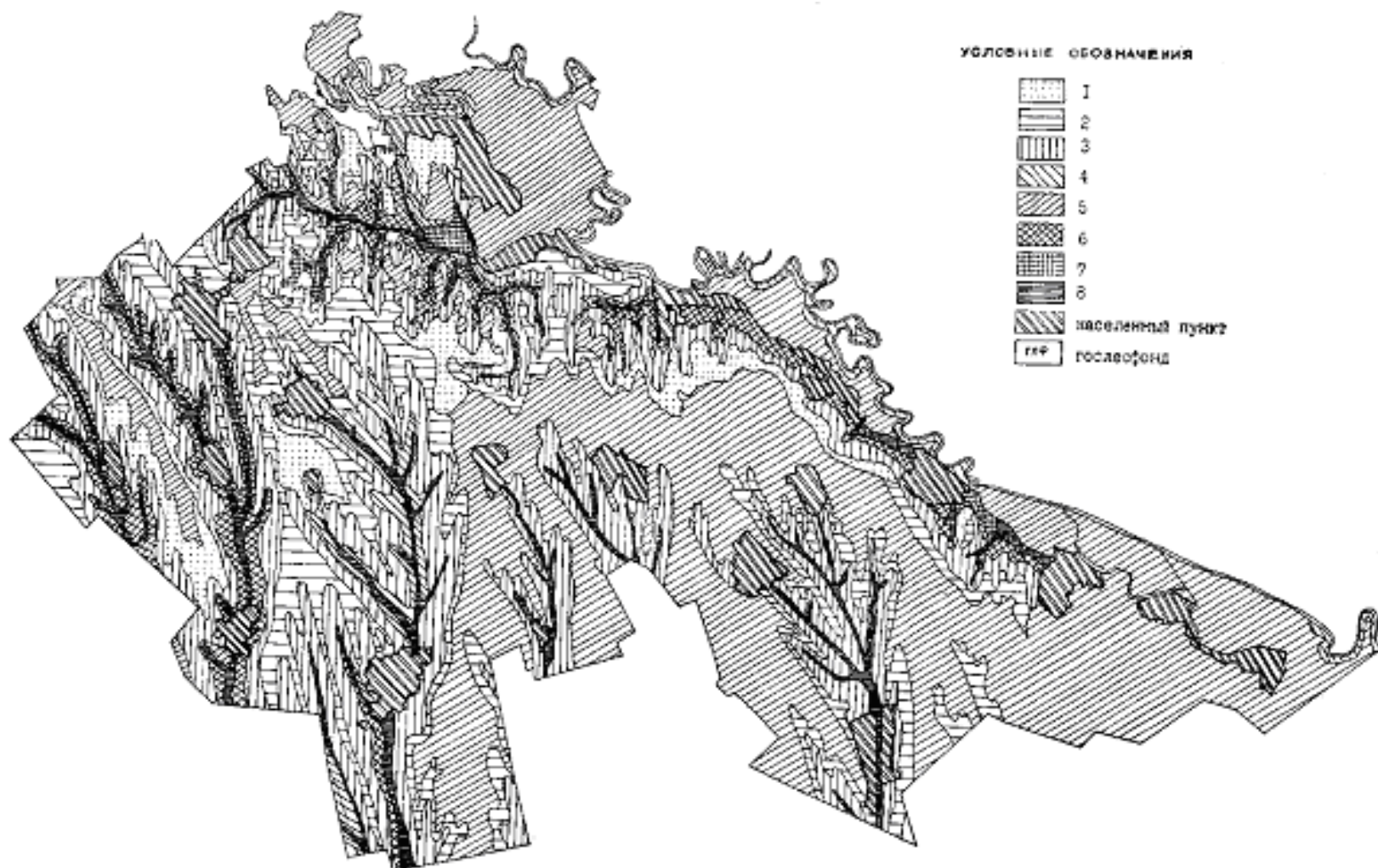


Рис.19.4 - Комплексное районирование агроклиматических ресурсов на территории административного района Штефан-Водэ с учетом микроклимата. Районы 1-8 (см. табл.19.3).

Таблица 19.3 – Количественная оценка агроклиматических показателей на территории административного района Штефан-Водэ

Микрорайон	ΣQ , МДж/м ²	ΣT_{∂} , °C	ΣT_n , °C	$N_{\partial/n}$ (дни)	$\bar{T}_i$, °C	$W_{\partial n}$, мм
1. Самый теплый, неморозоопасный, сухой ($\Delta H=150$ м, уклоны 7-12°)	3550-3650	3650-3400	2800-2900	205-210	-15, -16	≤ 20
2. Очень теплый, неморозоопасный, очень засушливый ($\Delta H \approx 100-150$ м, уклоны 3-7°)	3500-3600	3600-3650	2800-2850	200-205	-16, -17	20-30
3. Теплый, наименее морозоопасный, засушливый ($\Delta H \approx 75-125$ м, уклоны 7-12° и более)	3400-3500	3500-3600	2750-2800	195-200	-17, -18	30-40
4. Теплый, наименее морозоопасный, достаточного увлажнения (прибрежные участки р. Днестр)	3500-3550	3450-3550	2800-2900	200-205	-18, -19	60-70
5. Относительно теплый, слабо засушливый, нормальный по условиям морозоопасности (равнинные земли, средние части склонов)	3500-3550	3350-3400	2700-2800	190-195	-19, -20	30-40
6. Прохладный, морозоопасный, относительно увлажненный ($\Delta H < 60$ м, уклоны 3-7°)	3450-3500	3450-3500	2500-2600	185-190	-20, -21	40-50
7. Холодный, повышенной морозоопасности, увлажненный ($\Delta H \approx 20-30$ м, уклоны до 3°)	3400-3450	3400-3450	2400-2500	180-185	-21, -22	50-60
8. Очень холодный, морозоопасный, влажный ($\Delta H \approx 25-50$ м, дно узких долин, сырые низины)	3350-3400	3350-3400	2300-2400	175-180	-23, -24	70-80

В качестве картографической основы помимо гипсометрической карты использовались морфометрические карты экспозиции и крутизны склонов, а также почвенная и ландшафтная карта в рабочем масштабе 1: 20 000. При этом учтено изменение сумм прямой солнечной радиации и продолжительность освещения, дневных и ночных температур воздуха, суточной амплитуды температуры воздуха, показателей увлажнения. Помимо данных наблюдений метеорологических станций использованы материалы, проведенных микроклиматических наблюдений.

На карте автор выделила три мезоклиматических района: I – открытые вершины водораздельные плато ($H \approx 800-1000$ м); II – верхние и средние части склонов выше слоя микроклиматических инверсий ($H \approx 300-800$ м); III – низины долин и котловин в слое микроклиматических инверсий температуры ($H \approx 100-200$ м). В пределах каждого мезоклиматического района выделены микрорайоны, различающие по форме рельефа, экспозиции склонов и видам ландшафтов, включая сельскохозяйственные угодья.

В результате этой сложной работы на карте выделено более 30-ти микрорайонов, различающихся по климатическим и микроклиматическим показателям. Её прикладное значение заключается в возможности рационального размещения сельскохозяйственных культур, а также в научном обосновании сохранения естественного ландшафта с целью охраны природной среды на ограниченной территории.

19.4 Крупномасштабное агроклиматическое районирование территорий отдельных хозяйств с учетом микроклимата

Отдельные крупные хозяйства для научного ведения сельскохозяйственного производства нуждаются в детальной агроклиматической характеристики своей территории. Для этого в 60-ые годы была разработана методика, по которой агроклиматическая характеристика хозяйства составляется по данным ближайших метеорологических станций и агрометпоста (если он есть в хозяйстве), микроклиматических съемок (если их можно провести) и крупномасштабной карте хозяйства. Обычно такие карты составляются в рабочем масштабе 1 : 5 000 – 1 : 10 000 и до 1 : 25 000 (если ставится задача дать агроклиматическую оценку территории с несколькими хозяйствами).

Характеристика особенностей агроклиматических ресурсов хозяйства включает оценку термических условий вегетационного периода (годовой ход температуры воздуха и почвы, суммы температур, заморозки); оценку условий увлажнения по данным о влажности почвы, по количеству

осадков, испарении, испаряемости и гидротермическому коэффициенту; оценку условий перезимовки озимых и плодовых по данным о среднем из абсолютных годовых минимумов температуры (воздуха и почвы), высоте снежного покрова. Необходим учет темпов развития основных культур и их урожайности. В текстовой части и в легенде к карте отдельного хозяйства указываются средние многолетние значения агроклиматических показателей и их возможные изменения в пределах 10-20 % и 80-90 % обеспеченности.

Методика крупномасштабного агроклиматического районирования совершенствуется и успешно применяется в ряде стран – Болгарии, Венгрии, Молдове, Польше, России, Украине, Эстонии и др. Причем параллельно с общим районированием агроклиматических ресурсов получила развитие методика специального или частного районирования отдельных хозяйств в крупном масштабе. К настоящему времени имеется положительный опыт составления следующих агроклиматических карт крупного масштаба с учетом микроклимата.

1. Комплексная карта районирования показателей радиационно-тепловых ресурсов с целью рационального размещения однолетних и многолетних культур.
2. Комплексная карта районирования показателей заморозкоопасности весной и осенью и морозоопасности зимой для научного обоснования микрорайонирования культурных растений с учетом лимитирующих факторов климата.
3. Комплексная карта районирования показателей ресурсов влаги и режима увлажнения почв для оптимизации размещения сельскохозяйственных культур и обоснования проведения локальных мелиораций.
4. Комплексная карта районирования показателей климата и микроклимата различных почвы для дифференцированного определения сроков сева и обоснования микрорайонирования культурных растений на равнинных землях с различным механическим составом почв.

В качестве примера рассмотрим типовую агроклиматическую карту условий заморозко и морозоопасности, впервые разработанную З.А. Мищенко и И.А. Дымченко [5] для территории отдельного хозяйства (с-з им. Ткаченко в Страшенском районе Молдовы) с холмистым и низкогорным рельефом. Для её составления использовались картографические основы в крупном масштабе (1 : 10 000): 1) гипсометрическая карта, 2) морфометрическая карта базисов эрозии (ΔH_m), 3) карта уклонов местности и экспозиции склонов (Рис. 19.5).

В качестве основных агроклиматических показателей взяты: коэффициент изменения скорости ветра ночью по сравнению с открытым ровным местом (K), средний из абсолютных годовых минимумов

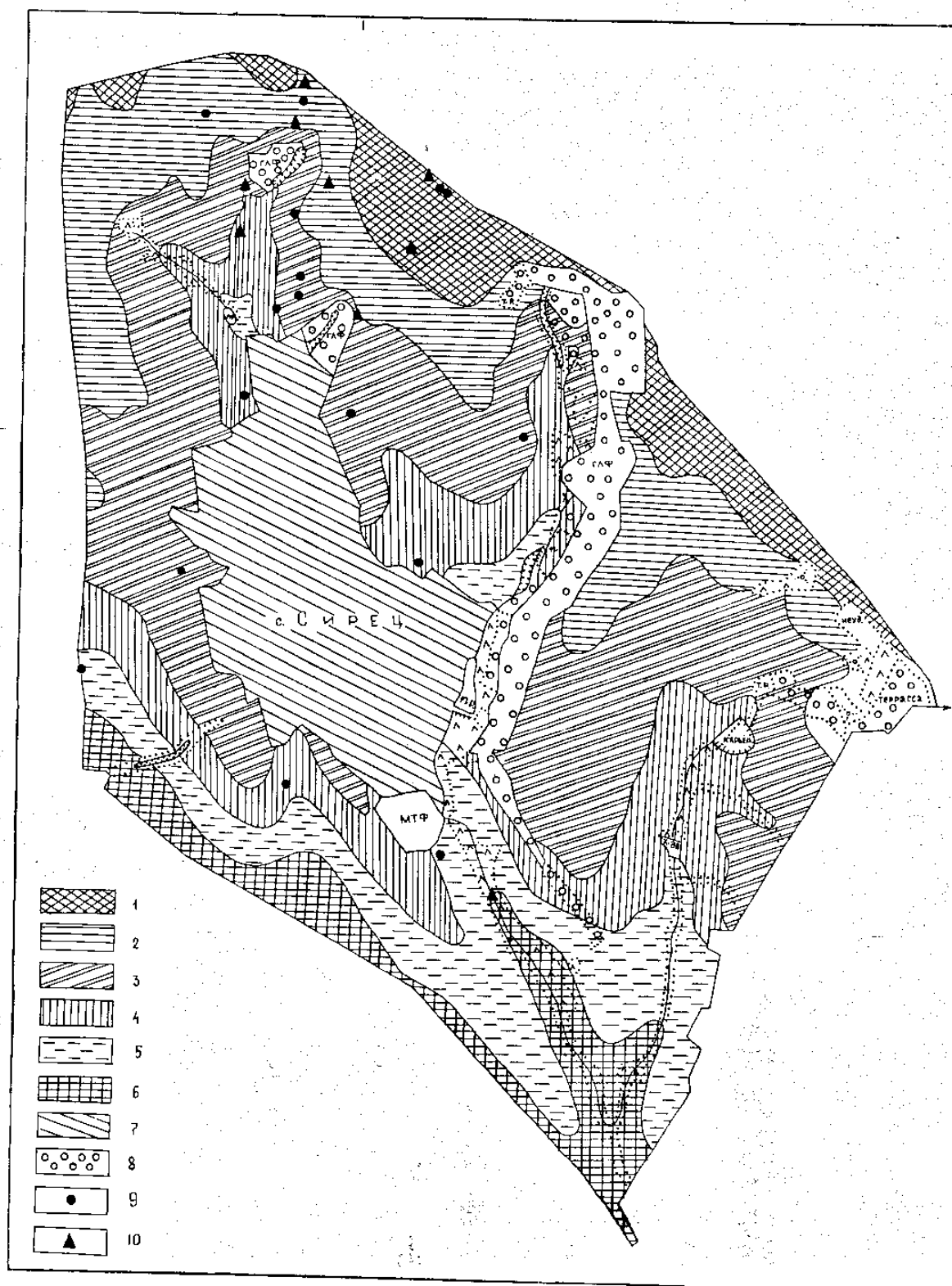


Рис.19.5 – Комплексное районирование показателей заморозко и морозоопасности на территории отдельного хозяйства. Микрорайоны 1-6 (см. в табл.19.4); 7 – населенный пункт; 8 – гослесфонд; 9 – микроточки; 109 – биологические точки; 11- неудобья; 12 – пруд.

Таблица 19.4 – Микроклиматическая оценка условий заморозко- и морозоопасности на территории совхоза-завода им. П. Ткаченко Страшенского района Молдовы

Микрорайоны по сгруппированным местоположениям в рельефе	Воздухо-обмен	Изменение скорости ветра ночью (K)	Морозоопасность			Заморозкоопасность		N _{б/п} (дни)
			T _{м(50%)} ⁰ C	T _{м(10%)} ⁰ C	Гибель глазков винограда, %	T _{мин.} ⁰ C		
						весной (20 %)	осенью (10 %)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.Очень теплый, неморозоопасный: ВП, ВЮ,ВЮЗ, ВЮВ (Н=230-260м, Н=150-180 м, уклоны 1-3 ⁰)	Очень хороший	1,4-1,6	-15, -16	-18, -20	10-20	0, -1	-2, -2	200-205
2.Теплый, менее морозоопасный, засушливый:СЮ,СЮЗ,СЮВ (Н=190-230 м, Н=110-150 м, уклоны 3-6 ⁰)	Хороший	1,2-1,4	-16, -18	-20, -22	20-30	-1, -3	-2, -3	190-200
3.Относительно морозоопасный: СС,ССЗ,СЗ,СВ,ССВ (Н=150-190 м, ΔН=70-100 м, уклоны 9-12 ⁰)	Хороший и нормальный	1,1-1,2	-18, -20	-22, -24	30-50	-3, -4	-3, -5	180-190

Продолжение таблицы 19.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4.Морозоопасный: НС,НСЗ, НВ,ПЮЗ,ПЮ,ПЮВ (Н=120-150 м, ΔН=40-70 м, уклоны 3-6°)	Относительн о плохой	0,9-1,0	-20, -22	-24, -26	50-70	-1, -5	-5, -6	175- 180
5.Повышенной морозоопасности: ПС, ПСВ, ПВ, дно чашеобразной котловины с уклоном 0-2° (Н=90-120 м, ΔН=10-40 м, уклоны 0-2°)	Плохой (ослаблен сток)	0,7-0,9	-22, -24	-26, -28	70-90	-5, -6	-6, -7	170- 175
6.Очень морозоопасный: дно узкой долины со слабым уклоном 0-2° (ширина в поперечнике 400 м, Н=80-90 м)	Очень плохой (стока нет)	0,6-0,7	-24, -26	-28, -30	90-100	-6, -7	-7, -8	165- 170

Примечание: ВЮ, ВЮЗ... - верх южного, юго-западного склонов и т.д.; СЮ, СЮЗ... - середина южного, юго-западного склонов и т.д.; НЮ, НЮЗ... - низ южного, юго-западного склонов и т.д.; ПЮЗ, ПЮ... - подножие юго-западного, южного склонов и т.д.; $K=V_c/V$, где V_c – скорость ветра ночью на склоне, V – скорость на открытом ровном месте; T_m , °С (50 и 10 %) – средний из абсолютных минимумов температуры воздуха зимой; $T_{мин}$, °С – средний из абсолютных минимумов температуры воздуха весной и осенью; $N_{б/п}$ – продолжительность безморозкового периода.

температуры воздуха ($\bar{T}_i$) с 50 и 10 %-ной вероятностью, минимальная температура воздуха ($T_{мин}$) весной с 20 %-ной и осенью с 10 %-ной вероятностью, продолжительность беззаморозкового периода ($N_{б/н}$). Расчеты этих показателей выполнены с использованием данных наблюдений близлежащей метеорологической станции и соответствующих микроклиматических параметров для 28 местоположений в рельефе.

Кроме того, были привлечены данные микроклиматических наблюдений, проводившихся в 1980-1986 гг. круглогодично в характерных точках рельефа, а также материалы биоэкологических обследований на виноградниках (темпы развития, урожай, адаптивные реакции на опасные заморозки и морозы).

Как следует из рис. 19.5, на агроклиматической карте выделено шесть микрорайонов, значительно различающихся по условиям заморозко и морозоопасности для многолетних культур и по воздухообмену в разных местоположениях рельефа. К карте районирования прилагается легенда в виде табл. 19.4 с количественной оценкой микроклиматических районов. В ней также показана вероятность гибели глазков винограда (B_r , %) в морозоопасные зимы.

Например, в микрорайоне 1 самом теплом, неморозоопасном зимой 4-5 раз в 10 лет могут быть морозы силой в $-15, -16^{\circ}\text{C}$ и только. Один раз в 10 лет T_m может понижаться до $-18, -20^{\circ}\text{C}$. Поэтому гибель глазков винограда на водораздельных плато и верхних частях склонов не превышает 10-20 %. Весной и осенью 1-2 раза в 10 лет здесь могут быть слабые заморозки в пределах $0, -2^{\circ}\text{C}$, а беззаморозковый период ($N_{б/н}$) составляет 200-205 дней. В очень морозоопасном микрорайоне 6 воздухообмен плохой, стока холодного воздуха нет. Здесь зимой 4-5 раз в 10 лет $\bar{T}_i$ могут снижаться до $-24, -26^{\circ}\text{C}$, а один раз в 10 лет возможны морозы силой в $-28, -30^{\circ}\text{C}$; гибель глазков винограда возрастает до 90-100 %. Весной и осенью возможны интенсивные заморозки в пределах $-6, -8^{\circ}\text{C}$, а беззаморозковый период сокращается до 165-170 дней.

Под влиянием микроклимата на территории хозяйства наблюдалась большая пестрота в урожае винограда. Например, после морозоопасной зимы в 1985 году сорта Алиготе и Совиньон в самом теплом микрорайоне 1 дали урожай ягод соответственно в 102-114 ц/га и 80-90 ц/га, а в микрорайоне 4 (т.е. в нижних частях склонов и у их подножий) он снизился до 35-60 ц/га и 30-50 ц/га. Сорта слабой морозостойкости не дали урожая вообще и подлежали раскорчевке [5, 64].

Весьма перспективной для практического использования является разработка крупномасштабных моделей агроклиматического районирования многоцелевого назначения:

- 1) усовершенствование существующего микрорайонирования однолетних и многолетних культур на ограниченной территории;

Таблица 19.5 – Агроклиматические и микроклиматические ресурсы на участке Оргеевского района Молдовы.

а) Условия заморозко и морозоопасности

Микрорайоны по сгруппированным местоположениям	Воздухо-обмен, баллов	K_v	Морозоопасность зимой		Заморозкоопасность весной, осенью		
			$T_m, 50 \%$	$T_m, 10 \%$	$T_{мин}, ^\circ C$	$N_{\delta/\delta},$ дней	$\Sigma T_{\delta/\delta},$ дней
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Самый теплый, не морозоопасный, сухой (ВЮ, ВЮЗ, ВЮВ, уклоны $\geq 12^\circ$, $\Delta H \approx 150-200$ м)	Очень хороший, 5	1,1-1,2	-17; - 18	-23; -24	+3	290	3700
2. Очень теплый, неморозоопасный, очень засушливый (ВП, ВХ, ВЗ, ВВ, уклоны $\geq 12^\circ$, $H \approx 200-300$ м, $\Delta H \approx 150-200$ м)	Очень хороший, 5	1,4-1,6	-18; - 19	-24; -25	+2; +3	285-290	3650-3700
3. Теплый, наименее морозоопасный, засушливый (ВС, ВСВ, ВСЗ, СС, СЮ, СВ, СЗ, ССЗ, СЮВ, СЮЗ, уклон $6-12^\circ$, $\Delta H \approx 80-150$ м, $H \approx 150-200$ м)	Хороший, 4	0,9-1,3	-20; - 21	-26; -27	+1; +2	280-285	3600-3650
4. Относительно теплый, слабозасушливый, нормальный по условиям микроклимата (равнинные земли в пойме Реута, $H \approx 40-60$ м)	Нормальный, 3	1	-21; - 22	-27; -28	0	275	3550

Продолжение таблицы 19.5

1	2	3	4	5	6	7	8
5. Прохладный, морозоопасный, относительно увлажненный (НС,НЮ, НВ, НЗ, НСЗ, НСВ, НЮЗ, НЮВ, уклон 3-6°, Н≈100-150 м, ΔН≈50-80 м)	Затрудненны й, 3	0,8-0,9	-23; - 24	-29; -30	-1; -2	265- 270	3450-3500
6. Холодный, повышенной морозоопасности, влажный ДШД,ПС,ПСВ,ПСЗ,ПВ,ПЗ ПЮ, ПЮЗ, ПЮВ, уклон 0-3°, Н≈60-100 м, ΔН≈20-30 м)	Плохой, 2	0,7-0,8	-24; - 25	-30; -31	-2; -3	260- 265	3400-3450
7. Очень холодный, морозоопасный, влажный и избыточно увлажненный (дно узкой долины, сырые низины, Н≈40-80 м)	Очень плохой 1	0,6-0,7	-25; - 26	-31; -32	-3; -4	255- 260	3300-3400

б) Радиационно-тепловые ресурсы и влагозапасы в почве

Микрорайоны по сгруппированным эконишам в рельефе	Солнечная радиация		Тепло- и влагообеспеченность теплого периода				
	K_s , год	ΣQ , МДж/га	A_t , °C	ΣT_{ϕ} 10 °C	ΣT_n 10 °C	ΣT_c 10 °C	W_{ϕ} мм
1. Самый теплый, не морозоопасный, сухой (БЮ, БЮЗ, БЮВ, уклоны $\geq 12^\circ$, $\Delta H \approx 150-200$ м)	1,25-1,38	3700-3730	13-14	3650-3700	2500-2600	3100-3200	50-75
2. Очень теплый, неморозоопасный, очень засушливый (ВП, ВХ, ВЗ, ВВ, уклоны $\geq 12^\circ$, $H \approx 200-300$ м, $\Delta H \approx 150-200$ м)	0,97-1,02	3580-3600	10-11	3350-3400	2500-2600	3000	75-100
3. Теплый, наименее морозоопасный, засушливый (ВС, ВСВ, ВСЗ, СС, СЮ, СВ, СЗ, ССЗ, СЮВ, СЮЗ, уклон $6-12^\circ$, $\Delta H \approx 80-150$ м, $H \approx 150-200$ м)	0,74-1,22	330-3640	12-13	3400-3550	2450-2500	3100-3200	100-125
4. Относительно теплый, слабозасушливый, нормальный по условиям микроклимата (равнинные земли в пойме Реута, $H \approx 40-60$ м)	1	3580	13-14	3550	2300	3150	125

Продолжение таблицы 19.5

5. Прохладный, морозоопасный, относительно увлажненный (НС,НЮ, НВ, НЗ, НСЗ, НСВ, НЮЗ, НЮВ, уклон 3-6°, Н≈100-150 м, ΔН≈50-80 м)	0,87-1,12	3500-3600	14-16	3550-3600	2100-2150	3050-3150	125-150
6. Холодный, повышенной морозоопасности, влажный ДШД, ПС, ПСВ, ПСЗ, ПВ, ПЗ ПЮ, ПЮЗ, ПЮВ, уклон 0-3°, Н≈60-100 м, ΔН≈20-30 м)	0,95-1,06	3580-3600	16-18	3600-3650	2000-2100	3100-3150	150-175
7. Очень холодный, морозоопасный, влажный и избыточно увлажненный (дно узкой долины, сырые низины, Н≈40-80 м)	1	3580	18-19	3650-3700	1900-2000	3150	175

Примечание. ΣQ – суммы суммарной радиации за теплый период с T_c выше 10 °С; A_T – суточная амплитуда температуры воздуха за теплый период; K_v , K_s – отношение скорости ветра (м/сек), сумм прямой солнечной радиации за год в искомом местоположении рельефа относительно ровного места; для $T_{мин}$ знак плюс означает увеличение, а знак минус уменьшение по сравнению с ровным местом.

Таблица 19.6 – Микроклиматическое обоснование размещения многолетних насаждений и травянистых культур, методов их защиты от морозов, заморозков, локальных мелиораций на участке Оргеевского района Молдовы

Размещение многолетних и однолетних культур	Защита винограда от заморозков	T _{мин} , °C	Виды защиты от заморозков	Виды локальных мелиораций
1	2	3	4	5
1. Виноград (РС, СС, СП), персик, абрикос	I, II группы – укрывные, III – группа - неукрывные	0, -1	Защита не требуется Дымление, укрывка	Систематическое орошение
2. Виноград (РС, СС), груша, айва, грецкий орех, питомники	I, II группы – укрывные, III – группа – неукрывные	-1, -2 -2, -4	Дымление, укрывка Дождевание	Периодическое орошение Полезащитные полосы
3. На СВ, СЮВ, СЮЗ виноград (РС, СС), черешня, айва, груша, питомник, на СВ, СЗ грецкий орех, вишня, на СС, ССВ, ССЗ слива	II, III группы – укрывные	-1, -2 -2, -4	Дымление, укрывка Дождевание, открытый обогрев	Периодическое орошение Полезащитные полосы
4. Слива, яблоня, зерновые, овощные, технические культуры	Нерентабельно возделывание винограда	-2 -2, -4 -4, -6	Дымление, Дождевание Открытый обогрев	Поливы в критический период

Продолжение таблицы 19.6

1	2	3	4	5
5. Слива, яблоня, ягодники, зерновые, технические и овощные культуры	То же	-2 -2, -4 -4, -6 и более	Дымление, Дождевание Открытый обогрев	То же
6. Зерновые, овощные, технические культуры, кормовые травы	- " -	-2, -4 -4, -6	Дождевание Открытый обогрев Защита не эффективна	Двухсторонне регулирование (осушение, орошение)
7. Холодостойкие овощные культуры, кормовые трав	- " -	-2, -4 -4, -6 -6, - 8 и более	Защита не эффективна	Сброс воды, осушение

Примечание: Сорта винограда: РС – раннеспелый, СС – среднеспелый; СП – среднепоздний; I группа – слабой морозостойкости (-15, -18°C), II группа – средней морозостойкости (-18, -21°C), III группа – повышенной морозостойкости (-21, -24°C).

- 2) дифференцированная технология возделывания культурных растений (сроки сева и уборки, агротехника, защита от болезней и вредителей);
- 3) оптимальная стратегия по борьбе с заморозками и морозами в сложном рельефе;
- 4) обоснование для проведения локальных мелиораций с целью экономии энергоресурсов и охраны природной среды;
- 5) проведение микроклиматической экспертизы проектов закладки новых и реконструкции старых садов и виноградников.

На рис.19.6 представлена, разработанная З.А. Мищенко [63, 64] крупномасштабная модель агроклиматических ресурсов с учетом микроклимата на участке Оргеевского района Молдовы, на котором размещено несколько отдельных хозяйств. В качестве картографической основы использовалась синтетическая карта природных неоднородностей деятельной поверхности в рабочем масштабе 1 : 20 000. На ней были совмещены: гипсометрическая карта, морфометрические карты экспозиции и крутизны склонов, почвенная карта и схема землепользования. На карте районирования агроклиматических ресурсов выделено площадным способом семь микрорайонов по сгруппированным местоположениям в холмистом и низкогорном рельефе.

К карте прилагается легенда в виде табл. 19.5. В ней дается количественная оценка: а) условий заморозко и морозоопасности; б) радиационно-тепловых ресурсов за теплый период с T_c , T_d , T_n выше 10 °С и влагозапасы в слое почвы 0-100 см на весну (W). Диапазон микроклиматических различий в агроклиматических показателях на рассматриваемой территории значителен и составляет, например, в $\bar{T}_i$ 8 °С, в $N_{\delta/n}$ 30-35 дней, в ΣQ 300-350 МДж/м², в ΣT_n 600 °С, в W_e 100-125 мм (табл.19.5).

На этой основе проведена экспертиза существующего размещения сельскохозяйственных культур и разработаны рекомендации: по микрорайонированию культурных растений с учетом микроклимата, дифференцированным методам борьбы с опасными морозами и заморозками; видам локальных мелиораций. Как видно из табл. 19.5 и 19.6 в самом теплом микрорайоне 1 складываются оптимальные агроклиматические условия для возделывания винограда, персика, абрикоса. Здесь защита от заморозков не требуется. В засушливые годы необходимо орошение. В микрорайоне 4 целесообразно возделывание сливы, яблони, зерновых и технических культур. Необходима защита растений от заморозков интенсивностью в -2, -4, -6 °С. В очень холодном и влажном микрорайоне 7 на дне узкой долины и в сырых низинах велика вероятность опасных морозов зимой, заморозков весной и осенью. Защита от заморозков не эффективна. Почти ежегодно весной необходим сброс

воды, т.е. осушение. Здесь можно размещать холодостойкие овощные культуры и кормовые травы.

Глава 20 ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В ВСЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА ЗЕМЛИ

Изменение агроклиматических ресурсов любого географического района, как и всей планеты в целом, связано с изменениями собственного климата. Доказано, что на протяжении истории Земли вместе с земной природой менялся и ее климат. Показателями этих изменений, часто глубоких, коренных, являются ископаемые флора и фауна, а также пыльца доисторических растений, признаки выветривания и накопления осадочных отложений в слоях различных геологических эпох и прочие факторы.

Будучи непосредственно связано с изменениями климата, изменение агроклиматических ресурсов прежде всего обусловлено результатами хозяйственной деятельности человека. В начальный период эти изменения выразились в уничтожении естественной лесной растительности, что было вызвано необходимостью увеличения площади пашни. Другим видом воздействия человека на агроклиматические ресурсы явилось применение искусственного орошения. Эти и некоторые другие виды деятельности человека в прошлом не оказывали существенного влияния на особенности климата. Поэтому до недавнего времени климат нашей планеты определялся в основном естественными климатообразующими факторами.

Такое положение начало заметно изменяться, начиная с середины XX вследствие быстрого развития промышленности и техники, а также роста населения Земли. Воздействие человека на климат и связанные с этим изменения агроклиматических ресурсов в настоящее время можно разделить на две основные группы:

- 1) воздействие на климат в процессе преобразования природы для нужд ряда отраслей являющимся продуктом сознательной деятельности человека;
- 2) непреднамеренные воздействия на климат в процессе развития производственной деятельности, часто неосознаваемые, которые могут привести к отрицательным результатам.

Известно, что климат Земли определяется двумя основными факторами: солнечной радиацией, приходящей на верхнюю границу атмосферы, характером подстилающей (деятельной) поверхности. Чтобы изменить климат в конкретной местности, необходимо изменить какой-либо из климатообразующих факторов. Поскольку солнечная радиация воздействию человека пока не поддается, целенаправленное изменение климата следует связывать с изменением характера подстилающей поверхности. Это вызывает в основном изменение микроклимата (реже

мезоклимата) тех ограниченных территорий, на которых изменяют характер подстилающей поверхности.

Доказано, что изменчивость агроклиматических ресурсов, связанная с микроклиматическими особенностями, может в несколько раз перекрывать макроклиматическую изменчивость метеорологических элементов в пространстве. Поэтому проблема микроклимата имеет исключительное значение [59, 60, 63, 70, 85, 86]. В настоящее время разработана система различных мероприятий (агротехнические, мелиоративные и пр.), которые существенно меняют микроклимат полей или небольших районов. В ряде опубликованных работ [70, 86, 88, 95, 111, 120] дана оценка влияния на естественный микроклимат орошения, осушения, полезащитных лесных полос, водохранилищ, снежных мелиораций и др. Поэтому нет необходимости этот вопрос подробно рассматривать в данном учебнике.

20.1 Анализ современных сценариев изменения глобального климата

Непреднамеренные изменения климата являющиеся побочным результатом деятельности человека, в отличие от воздействий, направленных на улучшение местного климата, могут существенно влиять на климат Земли и, следовательно, на связанные с ним агроклиматические ресурсы. К таким глобальным изменениям климата следует отнести: увеличение загрязнения атмосферы, изменение ее газового состава, рост производства промышленной энергии.

Прогрессирующее загрязнение атмосферы является одним из следствий быстрого развития техники и энергетики в течении нескольких последних десятилетий. Источником загрязнения являются также сельскохозяйственные поля, особенно в районах с засушливым климатом, где расширение пахотных земель сопровождается усилением ветровой эрозии. Влияние загрязнения атмосферы на климатические условия весьма многообразны [11, 14, 18, 102].

Существенное загрязнение атмосферы, приводя к уменьшению количества коротковолновой солнечной радиации, может вызвать изменение освещенности, где произрастают растения. Загрязнение атмосферы, способствуя конденсации водяного пара, может привести к некоторому увеличению облачности и осадков. По-видимому, при увеличении загрязнения атмосферы будет преобладать тенденция понижения средней температуры в приземном слое воздуха.

Глобальное антропогенное влияние на климат Земли, помимо загрязнения, заметно проявилось в изменении газового состава атмосферы за счет роста промышленной энергии. На основе многих научных

исследований установлено увеличение углекислого газа (CO_2), в атмосфере за последние 40-50 лет на 10-12 %. Это увеличение непосредственно связано с расходом ископаемых горючих материалов (угля, нефти, газа). Ф.Ф. Давитая [11, 95] подсчитал, что во всем мире за время человеческой деятельности безвозвратно израсходовано более 270 млрд. т кислорода, из них около 250 млрд. т за последние 50 лет. Это составляет около 0,02 % свободного кислорода атмосферы и гидросферы. Указанное уменьшение кислорода в современной атмосфере эквивалентно увеличению углекислого газа за 50 последних лет на 12 %.

В настоящее время, по подсчетам Давитая, во всем мире на процессы горения за год расходуется около 13 млрд. т кислорода. Экстраполируя эту величину с учетом ежегодного увеличения расхода кислорода на горение (примерно 10 %), Давитая пришел к заключению, что в ближайшие 100 лет количество кислорода, затраченного на горение, составит около 67 % от общего современного атмосферного запаса.

Процесс участия кислорода в сгорании веществ сопровождается увеличением содержания в атмосфере углекислого газа. А, как известно, главными регуляторами температуры атмосферы планеты является водяной пар и углекислый газ. Последний обладает уникальным свойством беспрепятственно пропускать к поверхности Земли большую часть солнечной радиации и задерживать собственное – тепловое инфракрасное излучение планеты. При этом и возникает известный «парниковый эффект», благодаря которому атмосфера удерживает часть приходящей к ее поверхности энергии [14, 17, 18, 24].

В настоящее время количество углекислоты, поступающее в атмосферу и остающееся в ней, прогрессивно возрастает [14, 50]. И пока человечество не перейдет к использованию других видов энергии и промышленное развитие будет продолжаться, этот процесс будет развиваться. В результате выбросы углекислоты в атмосферу будут расти в среднем (по отношению к современному) в следующее число раз:

Год	2000	2025	2050
Увеличение выброса относительно 1975 г	1,04-1,12	1,12-1,36	1,16-1,68
до индустриального периода	1,28-1,36	1,36-1,68	1,43-2,06

По самым скромным подсчетам к середине будущего столетия её уровень превысит современный в 1,5-2,0 раза. Это может привести к значительному изменению термического режима приземного слоя воздуха в целом для Земли и, следовательно, к существенному изменению агроклиматических ресурсов нашей планеты. Различные модели дают изменение глобальной температуры к 2025-2050 гг от 1,7 до 3,5 °C при удвоении концентрации углекислоты (Манабе, Везеролд). На советско-американском совещании 1982 г. эти величины приняты от 2 до 3 °C, как наиболее вероятные. Тогда изменение температуры воздуха северного

полушария под влиянием концентрации углекислот по сравнению с 1975 г составит:

Год	2000	2025	2050
Изменение температуры, °С	0,2-0,9	0,6-2,1	1,2-3,9

Рассмотренные данные свидетельствуют о глобальном потеплении климата Земли. По мере совершенствования моделей общей циркуляции атмосферы и развития палеоклиматических исследований эти данные несомненно будут уточняться.

В силу сложности климатической системы, включающей атмосферу, океан, поверхность суши с биотой и льды, предсказание ее поведения на 2025-2050 гг всегда будет содержать ту или иную степень приближения. К настоящему времени оформилось три основных метода прогнозирования состояния климатической системы: 1) физико-математического моделирования; 2) палеоклиматических аналогов; 3) статистического анализа временных рядов инструментальных метеорологических наблюдений.

Анализ литературных источников за последние годы показывает, что существуют разные сценарии возможных изменений глобального климата в будущем тысячелетии. Одна из традиционных схем сводится к следующему. Считается, что начавшееся изменение климата в новом столетии приведет к изменению погодных условий и зон осадков. Повышение температуры больше скажется в зимнее время и больше в средних широтах, чем в тропиках. Теплые зимы станут обычным явлением в средней полосе России. Увеличится в целом объем осадков, потому, что с поверхности океанов будет испаряться больше влаги. Предполагается, что в степной и лесостепной зонах, количество осадков может немного уменьшится, а на Украине и в Средней Азии немного увеличится. Начнут таять льды Арктики и Антарктики. К середине будущего столетия океаны начнут захватывать сушу, ибо уровень поднимется на величину до одного метра.

Трудно предугадать, как скажется изменение климатических ресурсов на территории конкретных континентов, стран и регионов. Ясно одно, что изменение средней годовой температуры воздуха даже на 1 °С отразится на состоянии сельского хозяйства и других отраслей народного хозяйства, и будет сопровождаться миллиардными убытками. Например, при понижении этой температуры на планете на 1 °С сократится вегетационный период не менее чем на две недели. А это приведет к смене выращиваемых культур и к изменению границ агроклиматического районирования культурных растений. Такие же отрицательные последствия может вызвать и повышение температуры на 1°С. В этом случае падает производительность труда, возрастают энергоресурсы на охлаждение и конденционирование воздуха, на север продвигаются

болезни, свойственные южной полосе, растет водопотребление культурных растений.

Вышеуказанные сценарии возможных изменений глобального климата к 2030 году в том или ином виде находят подтверждение в ряде опубликованных работ [11, 14, 23, 100, 102 и др.]. В них признается роль «парникового эффекта» в повышении средней годовой температуры воздуха на планете. Например, Т.М. Вигли дает диапазон повышения глобальной температуры на 2030 год в пределах 0,5-2,0 °С. Будыко М.И. [18] считает наиболее вероятным повышение глобальной температуры воздуха к 2050 году порядка 2,5-3,5 °С по сравнению с 1970 годом.

Наиболее противоречивые данные приводятся в сценариях будущего климата планеты по суммам осадков. В зоне 30-50° с. ш. отмечается тенденция к уменьшению осадков. Но последующие данные показали, что пространственное распределение осадков при длительном потеплении отличается от описанного в сторону увеличения осадков. Это подтверждается и палеоклиматическим сценарием, разработанным А.А. Величко [25]. При общей тенденции ощутимо возрастают осадки в районах недостаточного увлажнения, расположенных к югу от 50-ой параллели. На карте автора выделена зона значительного возрастания осадков в юго-западных районах ЕЧ СНГ на 200-300 мм.

Следует остановиться на новых подходах к проблеме глобального климата Земли. Например, Е.Н. Борисенков [14] дал обоснование к использованию метода экспертных оценок и в вероятностной форме предложил сценарий ожидаемых изменений температуры воздуха и количества осадков летнего и зимнего сезонов в широтных поясах Северного полушария, а также форм циркуляции. Рассмотрена тенденция повышения экстремальных значений с изменением элементов климата и относительного веса (%) факторов, влияющих на изменение климата. Показано, что изменения климата будут происходить под влиянием естественных факторов, и вклад антропогенных факторов в эти изменения сравнительно мал.

Интересные результаты получены К.Я. Кондратьевым [14] на основе трехмерной мезомасштабной численной модели, в которой учтены характеристики турбулентности ветра в пограничном слое атмосферы, потоки и притоки длинноволновой и солнечной радиации, теплообмен атмосферы и океана. Обсуждается возможное влияние эволюции аномалий в энергоактивной зоне океана на формирование «малого ледникового периода» и современный тренд климата.

В ряде исследований климат и его возможные изменения рассматриваются как проблема облачности. Показано, что увеличение общего количества облаков должно обусловить похолодание климата. Из анализа данных спутниковых наблюдений следует, что рост количества

облаков приводит к уменьшению радиационного баланса Земли, т.е. «альбедный» эффект облачности преобладает над «парниковым». Результаты численного моделирования в целом согласуются с данными наблюдений. Вместе с тем признается, что надежно прогнозировать климат будущего затруднительно, так как достоверно неизвестно каким образом изменение климата повлияют на количественные характеристики облачности и тип облаков в различных регионах, каков вклад облаков в их воздействии на климат. Исследования ученых Гамбургского университета в Германии указывают на недооценивавшееся до сих пор влияние испарения влаги с поверхности Мирового океана. В случае начинающегося потепления оно должно настолько усилиться, что облачный покров, в значительной мере уплотнившись, интенсифицирует отражение поступающего солнечного излучения назад, в околоземное космическое пространство. Образуется обратная связь, не позволяющая развиваться дальнейшему потеплению климата планеты. Созданная математическая модель таких процессов указывает, что при нередко прогнозируемом увеличении содержания двуокси углерода в атмосфере вдвое к 2050 году количество тепловой энергии, достигающей земной поверхности от Солнца, еще может вырасти на 2 %. В результате средняя температура в глобальном масштабе повысилось бы примерно на 3, 5 °C. Однако, такое потепление немедленно увеличит испарение с поверхности океана в такой мере, что облачность усилится и последующее охлаждение ликвидирует первоначальный эффект разогрева Земли.

Грандиозный характер антропогенных изменений климата Земли, вызванный ростом производства энергии требует их детального изучения на региональном уровне с учетом сезонов года. При этом важное значение имеют исследования по оценке возможных агроклиматических ресурсов в связи с изменением глобального климата, а также ожидаемых последствий для сельского хозяйства.

20.2 Оценка агроклиматических ресурсов на территории России при глобальном потеплении

Прогнозирование агроклиматических ресурсов обычно привязывают к какому-либо сценарию изменения климата Земли. В опубликованных агроклиматических работах Г.В. Менжулина, О.Д. Сиротенко и Е.В. Абашиной [18, 99, 100, 101] использованы сценарии, в основу которых положены расчеты по моделям общей циркуляции и палеоклиматических реконструкций. Будущие агроклиматические ресурсы при этом оцениваются по состоянию на конец периода, задаваемого выбранным сценарием с помощью динамической модели

энергомассообмена и продуктивности, имитирующие с суточным или декадным шагом показатели, характеризующих рост и развитие растений, в том числе динамику влажности почвы, испарение, содержание азота и т.д.

Динамические модели различной сложности, построенные на основе математического моделирования продукционного процесса (фотосинтез, дыхание, транспирация и др.), являются наиболее обоснованным инструментом исследования связей между урожайностью и климатом. Однако степень их достоверности зависит от надежности разработанных сценариев изменения глобального климата. В недавней публикации американские специалисты пришли к выводу, что негативный эффект влияния потепления климата преувеличен из-за недостаточного учета возможной адаптации сельского хозяйства как на территории США так и России.

Поэтому помимо влияния изменения климата на урожайность сельскохозяйственных культур необходимо оценить возможные сдвиги в структуре землепользования в той или иной стране в специализации сельского хозяйства, районировании отдельных культур и т.д. О.Д. Сиротенко и Е.В. Абашина [100, 101] выполнили оценку агроклиматических ресурсов и определили сдвиги в физико-географической зональности на территории России при глобальном потеплении климата. Они использовали при расчетах изменения температуры воздуха и количества осадков к моменту удвоения концентрации парниковых газов два сценария: GFDL - лаборатории геофизической гидродинамики, США, 1994; CCC – центра исследований климата, Канада, 1994.

Далее они составили карто-схемы физико-географической зональности Российской федерации при современных условиях (по Будыко-Григорьеву) и при глобальном потеплении (расчеты по сценарию GFDL). Из их географического анализа следует, что резко сократится площадь полярно-тундровой зоны. Зона хвойных лесов (тайга) сместится к северу и сократится по площади (табл. 20.1). Зона широколиственных лесов продвинется на север и восток, и увеличиться по площади. Степная и лесостепная зоны также расширяться на 2,2-2.1 млн. км² и продвинутся к северу по сценарию GFDL вплоть до южных районов Московской, Владимирской и Нижегородской областей. Сухие степи в Калмыкии и Астраханской области, по-видимому, сменит настоящая пустыня среднеазиатского типа.

Приведенные выше данные свидетельствуют, что предстоящие изменения природной зональности России в целом благоприятны для сельского хозяйства. Это следует из того, что максимальное приращение при потеплении получает зона широколиственных лесов, которая ассоциируется с регионом устойчивого и высокопродуктивного

Таблица 20.1 – Площади S_{π} (тыс. км²) основных типов растительного покрова России при глобальном потеплении по сравнению с современным климатом

	Современный климат	GFDL		CCC	
	S_{π}	S_{π}	ΔS_{π}	S_{π}	ΔS_{π}
Тундра	5355	1584	-3771	917	-4438
Тайга	8898	6384	-2514	7459	-1440
Лиственный лес	1343	5087	3744	5488	4145
Степь, лесостепь	1232	3487	2255	2364	1132
Горная степь	650	206	-444	434	-216
Сухая степь	275	19	-256	97	-178

земледелия, а также зона лесостепи и степи, где возможно эффективное зерновое хозяйство, а также успешное возделывание сопутствующих культур (картофеля, сахарной свеклы, подсолнечника, винограда, плодовых культур и т.д.).

Приняв за основу агроклиматическое районирование территории бывшего СССР, выполненное Д.И. Шашко (см. § 17.3 в главе 17), авторами составлены картосхемы распределения тепловых ресурсов (по суммам средних суточных температур воздуха выше 10 °С) на территории России при современных условиях и при глобальном потеплении (рис. 20.1). Впечатляющим является смещение северной границы земледелия, совпадающей с изолинией ΣT_c равной 1000 °С. Эта граница к 2050 году достигает побережья Белого и Карского морей. Практически вся территория Европейской части России станет пригодной для земледелия. В Западной Сибири северная граница земледелия сдвинется за полярный круг. В Восточной Сибири земледелие станет возможным в значительной части территории, за исключением Таймырского автономного округа и южной части Якутии.

Из данных табл.20.2 следует, что площадь земледельческой зоны России при глобальном потеплении увеличится на 4,7–4,8 млн. км², т.е. в 1,5 раза по сравнению с современной. Если рассматривать отдельные тепловые пояса, то сократятся площади первого (не пригодного для товарного земледелия) и второго поясов, где могут произрастать лишь ранние сорта зерновых культур. Площади всех остальных термических поясов увеличатся. В России появятся земли (не менее 1 млн. га), где ΣT_c превысит 3400 °С (6-й и 7-й пояса). Это означает, что при потеплении климата на Северном Кавказе и в Нижнем Поволжье появится достаточно обширная зона субтропического земледелия.

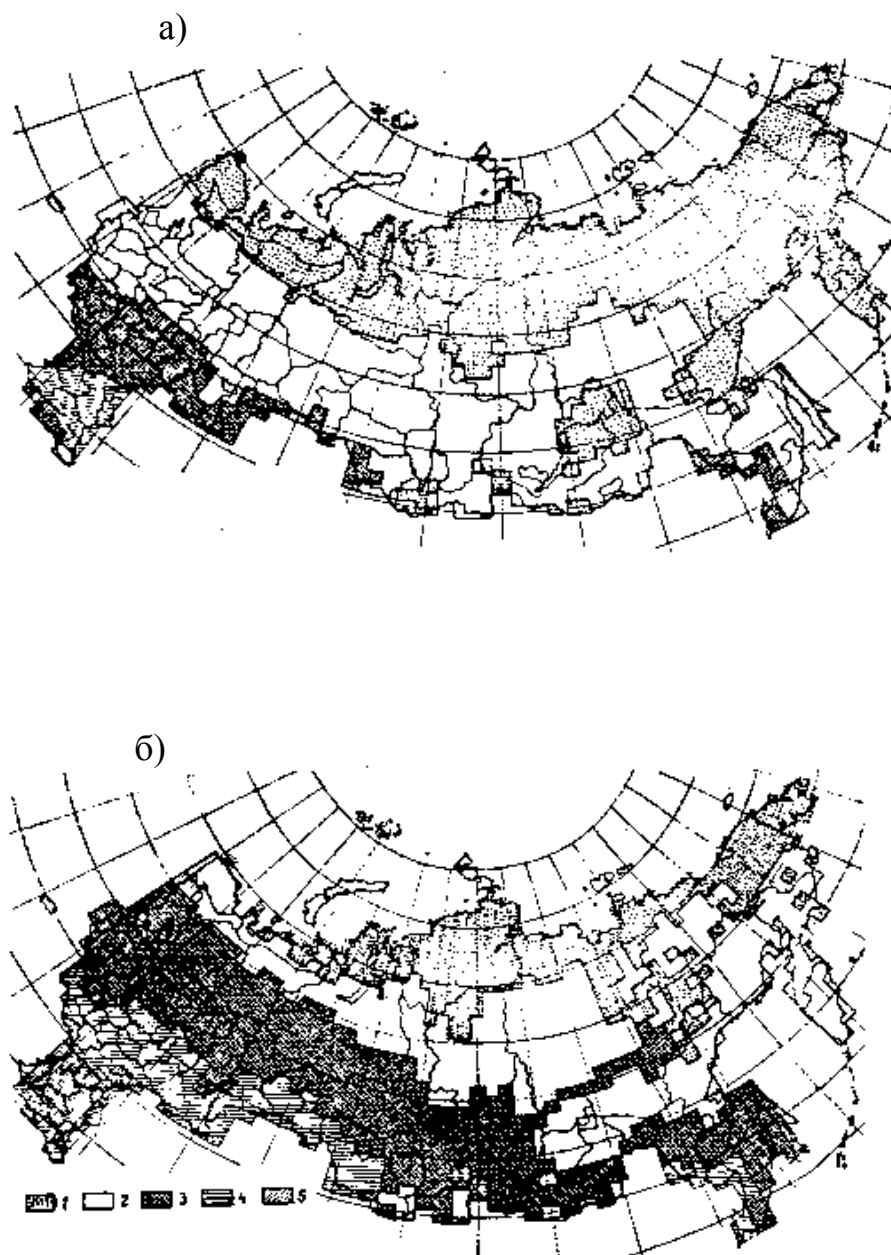


Рис. 20.1 – Картограммы теплообеспеченности растений по ΣT_c выше 10°C в России при современных климатических условиях а) и при глобальном потеплении $^{\circ}\text{C}$ б) 1 – менее 1000°C ; 2 – $1000 - 2000^{\circ}\text{C}$; 3 – $2000 - 3000^{\circ}\text{C}$; 4 – $3000 - 4000^{\circ}\text{C}$; 5 – более 4000°C .

Таблица 20.2 – Площади S (тыс. км²) с различными суммами температур более 10⁰С при глобальном потеплении и их изменение ΔS_n по отношению к современному климату

Номер пояса	Градация сумм температур, °С	Современный климат	GFDL		CCC	
		S_n	S_n	ΔS_n	S_n	ΔS_n
1	<1000	7787	3094	-4693	2922	-4865
2	1000-1600	5974	3230	-2744	3613	-2361
3	1600-2200	2448	4255	1807	5299	2851
4	2200-2800	932	3681	2749	3037	2105
5	2800-3400	439	2259	1820	1699	1260
6	3400-4000	152	603	451	464	312
7	>4000	-	611	611	698	698

Успешность воздействия зимующих культур зависит от холодного периода года. Для оценки условий перезимовки Г.Т. Селянинов предложил использовать средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ($\bar{T}_m$), а Д.И. Шашко – температуру самого холодного месяца ($\dot{O}_\delta$). О.Д. Сиротенко и Е.В. Абашина составили картограммы условий перезимовки по $\dot{O}_\delta$ на территории России при реализации сценариев GFDL и CCC. Они также определили площади (тыс. км²) с различной суровостью зимы при глобальном потеплении по сравнению с современным климатом. Результаты этой работы представлены на рис.20.2 и в табл. 20.3.

С помощью этих данных можно в общих чертах оценить последствия ожидаемых изменений климатических условий холодного периода года для сельского хозяйства России. Так по сценарию CCC на обширных пространствах Северного Кавказа, Центрально-Черноземного и Центральных районов должны установиться очень мягкие зимы (типа А с T_x не ниже 0 °С). По сценарию GFDL такие теплые зимы на территории страны не получают столь широкого распространения. Но даже по этому сценарию глобальное потепление коренным образом изменит условия морозоопасности для зимующих культур. Действительно, зона с умеренно холодной и более теплой зимой, где возможна нормальная перезимовка озимых культур, охватит всю европейскую часть России и значительную часть Юго Западной Сибири и Дальнего Востока.

Авторами выполнена также сравнительная оценка биоклиматического потенциала (БКП), рассчитанного по методу Д.И. Шашко для современного климата и по двум сценариям будущего климата Земли.

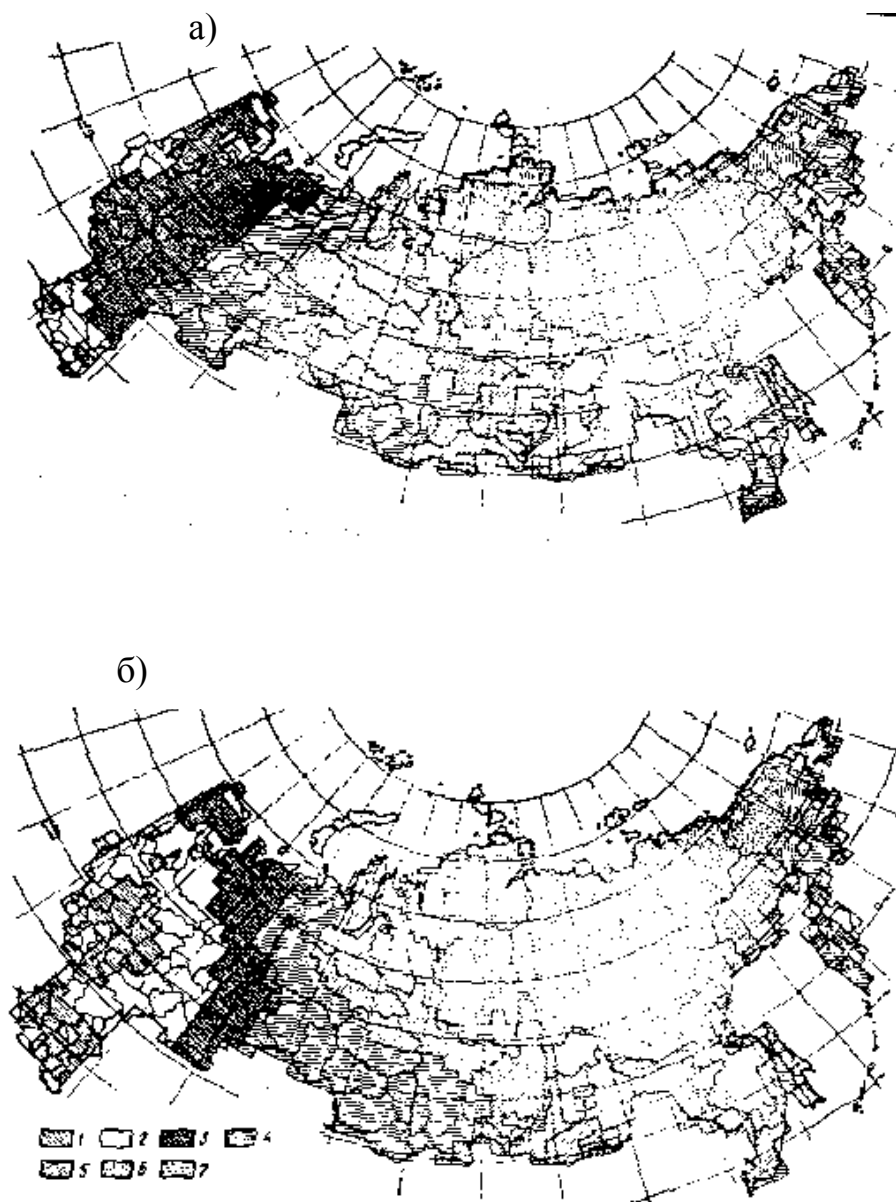


Рис. 20.2 – Картограммы распределения температуры самого холодного месяца зимой на территории России по сценариям GFDL а) и CCC б) 1) $>0^{\circ}\text{C}$; 2) $-5...0^{\circ}\text{C}$; 3) $-10...-5^{\circ}\text{C}$; 4) $-15...-10^{\circ}\text{C}$; 5) $-20...-15^{\circ}\text{C}$; 6) $-25...-20^{\circ}\text{C}$; 7) $< -25^{\circ}\text{C}$

Таблица 20.3 – Площади (S_n тыс. км²) на территории России с различной суровостью зимы при глобальном потеплении и их изменение (ΔS_n) по сравнению с современным климатом

№ п/ п	Града- ция темпе- ратуры января, °С	Суровость зимы и ее тип по условиям	Совре- менны й климат	GFDL		CCC	
			S	S	ΔS	S	ΔS
1	>0	Очень мягкая, А	0	66	66	1005	1005
2	-5...0	Мягкая, Б	165	755	590	2102	1937
3	-10...-5	Умерено мягкая, В	917	2446	1529	1346	429
4	-15...-10	Умерено холодная, В	1981	3187	1206	2886	905
5	-20...-15	Холодная, Г	2701	4005	1304	2617	-84
6	-25...-20	Очень холодная, Д	2842	3207	365	2553	-289
7	< -25	Суровая, Д	8794	3736	-5058	4892	-3902

Определены следующие средние значения БКП в относительных единицах для территории Российской Федерации:

- для современного климата – 1,41
- для сценария GFDL – 1,88
- для сценария CCC – 1,82.

Таким образом, в результате глобального потепления биоклиматический потенциал России увеличится для вышеуказанных сценариев соответственно на 33 % и 29 %.

Представляет интерес один из подходов к стохастическому моделированию и прогнозу агроклиматических ресурсов, основанный на использовании алгоритмов распознавания образов, предложенных В.А. Жуковым и О.А. Святковой [39]. Задача сводится к расчету вероятностных характеристик неблагоприятных погодных ситуаций и их влияния на урожай на принципах аналогичности. При этом необходим поиск для исследуемой территории группы районов, климат которых в настоящее время приближается по своим параметрам к прогнозируемому для данной территории.

Для реализации стохастического прогноза агроклиматических условий выбраны два региона России – Калужская область и Краснодарский край. Далее были определены для этих территорий средние значения температуры воздуха (январь, июль) и количества осадков на начало 90-х годов (норма) и на 2030 год (предполагаемое удвоение концентрации CO₂ в атмосфере), используя наиболее реалистичные сценарии будущего

Таблица 20.4 – Средние многолетние (норма) на начала 90-х годов и ожидаемые на период до 2030 г. значения температуры воздуха января ($T_{я}$) и июля ($T_{и}$), суммы осадков за год (P) на территории Краснодарского края (1) и Калужской области (2)

Пара-метр	Норма		ОММ		GFDL		CCC		ОГ	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
$T, ^\circ\text{C}$										
январь	-1,4	-10,2	1,6	-4,2	1,4	-6,4	5,5	0,8	0,6	-8,0
июль	21,3	17,0	23,3	18,8	26,1	22,1	26,7	20,3	24,0	18,7
$R, \text{мм}$	650	660	800	800	710	760	580	800	720	650
<i>Примечание.</i> Сценарии изменения климата; ОММ – оптимум микулинского межледниковья (70 – 120 тыс. лет назад); GFDL – США, Лаборатория гидрофизической гидродинамики; CCC – Канада, Центр исследований климата; ОГ – оптимум голоцена (5 – 6 тыс. лет назад).										

климата. Как видно из табл. 20.4, практически все сценарии, используемые в настоящее время в расчетах, предсказывают потепление климата в выбранных регионах, некоторые из них также – заметное увеличение осадков.

Более детальные расчеты с охватом годового хода температуры и осадков в период до 2030 г. показали, что климат Краснодарского края ожидается наиболее близким нынешнему климату центральных районов Азербайджана, а климат Калужской области – Ростовской области, если процесс изменения глобального климата будет развиваться по сценарию GFDL. Далее было исследовано поведение системы «Климат-урожай» применительно к основным культурам на территории Азербайджана и Ростовской области, выявленных в качестве территорий аналогов будущему климату Краснодарского края и Калужской области. Рассчитаны на фактическом материале и ожидаемые к 2030 г. вероятности потерь урожая (%) и снижения урожайности (ц/га) основных сельскохозяйственных культур из-за неблагоприятных погодных условий.

Установлено, что на территории Краснодарского края к 2030 г. участятся засушливые условия вегетационного периода и неблагоприятные условия переходных сезонов (весна и осень), что приведет к увеличению потерь урожая всех традиционно возделываемых культур на 10-15 %. Аналогичная картина ожидается в Калужской области. В тоже время в Краснодарском крае появится возможность возделывания некоторых субтропических культур и улучшатся условия произрастания для плодовых культур и винограда. В результате потепления в Калужской области появится возможность возделывания поздних яровых культур, подсолнечника и сахарной свеклы. Здесь существенно ухудшатся условия

произрастания озимой ржи, картофеля, льна и трав. На основе полученных материалов авторы разработали схему климатически целесообразной к 2030 г. структуры посевных площадей под основными культурами. Как видно из рис. 20.3, в сравнении со сложившейся практикой на начало 90-х годов в обоих регионах к 2030 существенно изменится структура посевных площадей под сельскохозяйственными культурами, в том числе под озимой пшеницей, озимой рожью, кукурузой, ячменем и др. А, именно, в Калужской области более чем в два раза увеличится посевная площадь под

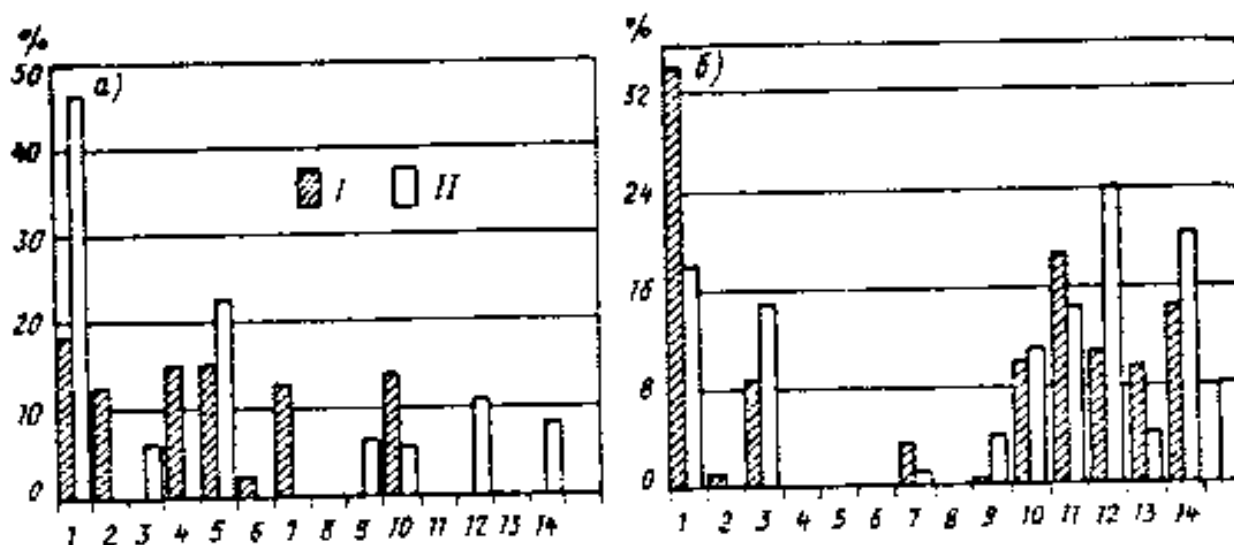


Рис.20.3 - Сложившаяся на начало 90-х годов (I) и климатически целесообразная на 2030 г. (II) структура посевных площадей под основными культурами (%) на территории Калужской области (а) и Краснодарского края (б).

1 – озимая пшеница; 2 – озимая рожь; 3 – озимый ячмень; 4 – овес; 5 – ячмень; 6 – лен; 7 – картофель; 8 – гречиха; 9 – просо; 10 – сеяные травы; 11 – кукуруза (силос); 12 – кукуруза (зерна); 13 – сахарная свекла; 14 – подсолнечник.

озимой пшеницей. Заметно возрастет посевная площадь под ячменем; уменьшится площадь под сеянными травами. В Краснодарском крае почти в два раза сократится посевная площадь под озимой пшеницей; увеличится клин под озимым ячменем. Здесь более чем в два раза увеличится посевная площадь под кукурузой на зерно; заметно возрастет посевной клин под подсолнечником.

20.3 Региональная оценка возможных агроклиматических ресурсов в связи с изменением климата на территории Молдовы и Украины

Во многих моделируемых сценариях изменения глобального климата в результате возрастания CO_2 и «парникового эффекта» описываются средняя годовая температура воздуха и годовая сумма осадков. Почти во всех исследованиях количественные оценки даны применительно к планете в целом или территории северного полушария [11, 14, 24, 102 и др.]. В весьма ограниченном виде проводятся исследования по разработке методов региональной оценки возможных изменений климата в XXI веке применительно к отдельным странам или административным областям. Чаше всего при этом используются те или иные сценарии изменения глобального климата на основе математического моделирования, что неизбежно сказывается на достоверности оценок и прогнозов [11, 14, 18, 23, 39, 102 и др.].

Более реалистические подходы и оценки изменения климата будущего в конкретном регионе возможны на основе сочетания методов: палеоклиматических аналогов, статистического анализа многолетних инструментальных метеорологических наблюдений, физико-математического моделирования. Такой комплексный подход осуществили А.В. Гольберт, З.А. Мищенко и О.Д. Сиротенко [78] применительно к небольшой стране – Молдове.

Региональный прогноз возможных изменений климатических условий и агроклиматических ресурсов к 2005 г., 2025 – 2030 гг. и к 2050 году они разработали с привязкой к реконструкции палеоклиматов теплых периодов прошлого:

- оптимум голоцена (климат был теплее современного на $1,3 - 1,5^\circ\text{C}$);
- оптимум микулинского межледникового (климат был теплее современного на $2,5^\circ\text{C}$);
- оптимум палеоцена (климат был теплее современного на $3-4^\circ\text{C}$).

Для выявления тенденций климатических изменений и их экстраполяции в будущее использованы временные ряды метеорологических наблюдений в Молдове за периоды 1891-1988 гг. и 1947-1988 гг.. На основе статистических расчетов климатических трендов по методам наименьших квадратов и гармонических весов получена количественная оценка динамики основных показателей климата и агроклиматических ресурсов с охватом сезонов года. К их числу относятся: продолжительность солнечного сияния (ΣS_c), температура воздуха (T_c), сумма суммарной солнечной радиации и ФАР (ΣQ , ΣQ_ϕ), суммы активных температур воздуха выше 10°C (ΣT_c),

продолжительность теплого и безморозкового периодов (N_{mn} , $N_{б/н}$), сумма осадков (Σr), зимние термические характеристики ($T_{я}$, $T_{х}$, $T_{м}$) и др.

В качестве примера рассмотрим климатические тренды, рассчитанные З.А. Мищенко, для ряда агроклиматических показателей за более короткий период (1960 – 1986 гг.). Как видно из рис.20.4а, на фоне значительной межгодовой изменчивости годовых сумм осадков четко прослеживается тенденция к возрастанию их количества к концу периода в среднем по стране. Эта закономерность подтвердилась и при анализе трендов по сезонам в северном (ст. Бричаны), в центральном (ст. Кишинев) и южном (ст. Кагул) районах Молдовы. Заметное влияние «парникового эффекта» проявилось зимой на динамике среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ($\bar{T}_i$). Из рис.20.4б видно, что на конец периода значение $\bar{T}_i$ повысилось почти на 3 °С. Это указывает на смягчение условий морозоопасности для зимующих культур.

Торможение «парникового эффекта» и связанного с ним потепления климата проявилось в характере трендов показателей радиационно-тепловых ресурсов за теплый период с T_c выше 10 °С. Как видно из рис.20.5, продолжительность солнечного сияния (ΣS_c), сумма фотосинтетически активной радиации (ΣQ_ϕ) и сумма температур воздуха (ΣT_c) имеют четкую тенденцию к уменьшению. Например, на конец периода ΣS_c снизилось на 140 часов, ΣQ_ϕ – на 6 ккал или на 250 МДж/м². Сумма активных температур воздуха уменьшилась на конец периода на 200 °С.

Ожидаемые значения ряда климатических характеристик и агроклиматических показателей к 2000-2005 гг. рассчитаны в соответствии с уравнениями трендов. Так средняя годовая температур воздуха и за лето понизятся по сравнению с климатической нормой соответственно на 0,5–1,5 °С и на 1,2 °С. Количество осадков увеличатся повсеместно: годовое на 55-35 мм, летнее на 70-50 мм, зимнее не более чем на 5-12 мм (первые цифры характеризуют северный район Молдова, вторые – южный район). Заметно изменятся агроклиматические ресурсы на территории страны в сторону благоприятную для сельскохозяйственного производства. Как видно из табл.20.5, продолжительность солнечного сияния за год повсеместно уменьшится по сравнению с климатической нормой на 85-185 часов. Тепловые ресурсы в виде ΣT_c выше 10 °С снизятся по сравнению с климатической нормой в разных районах Молдовы на 180-300 °С. Продолжительность теплого периода с T_c выше 10 °С сократится на 13-20 дней. В связи с увеличением количества осадков в теплое время года улучшатся условия влагообеспеченности растений. Условный показатель увлажнения – гидротермический коэффициент (ГТК) возрастет по сравнению с климатической нормой на 0.30 – 0.55.

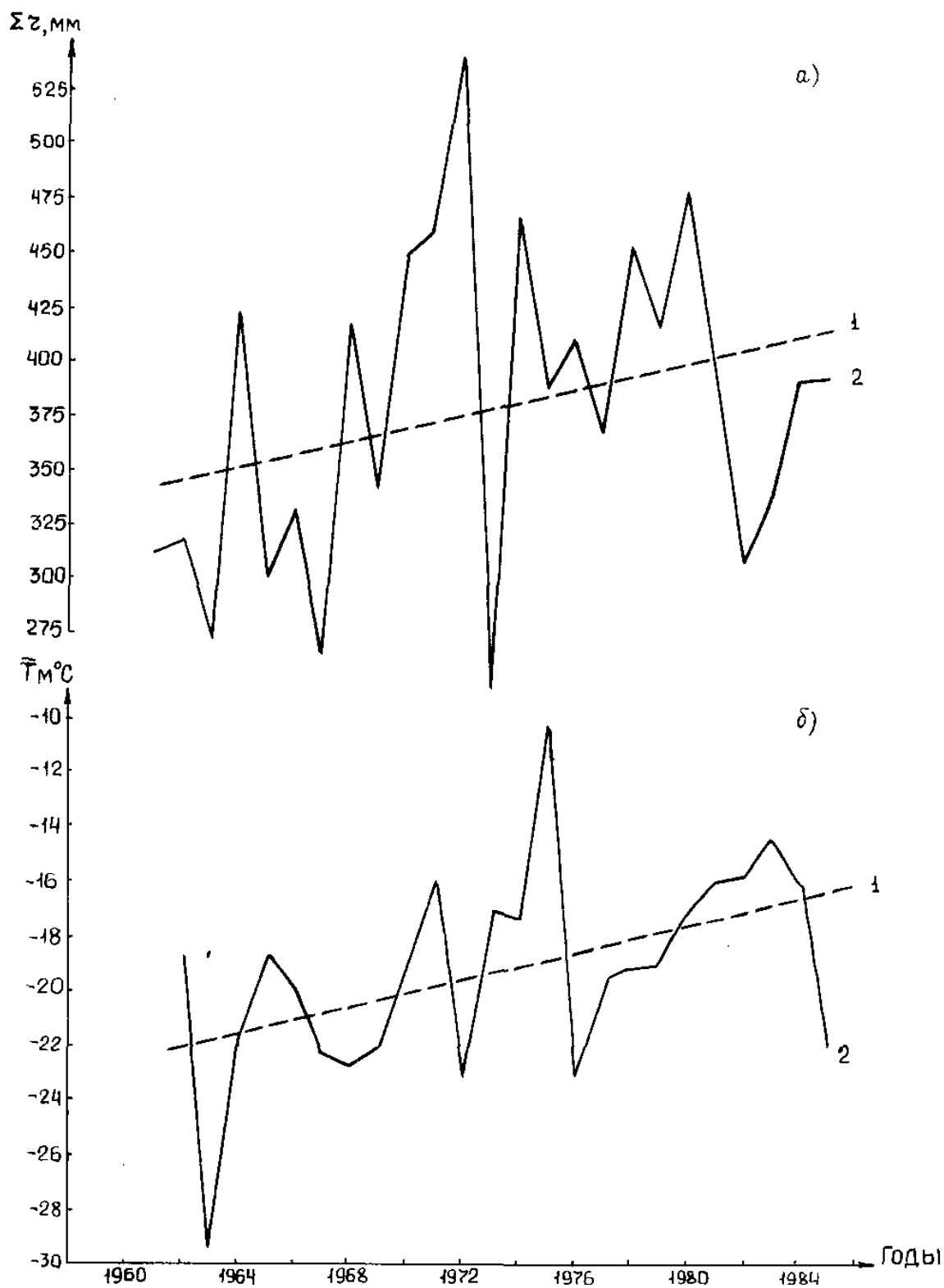


Рис. 20.4 - Тенденции изменения годовых сумм осадков (Σr) а) и среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ($\bar{T}_i$); б) в среднем на территории Молдовы.

1 – линии трендов; 2 – межгодовая изменчивость Σr , T_m

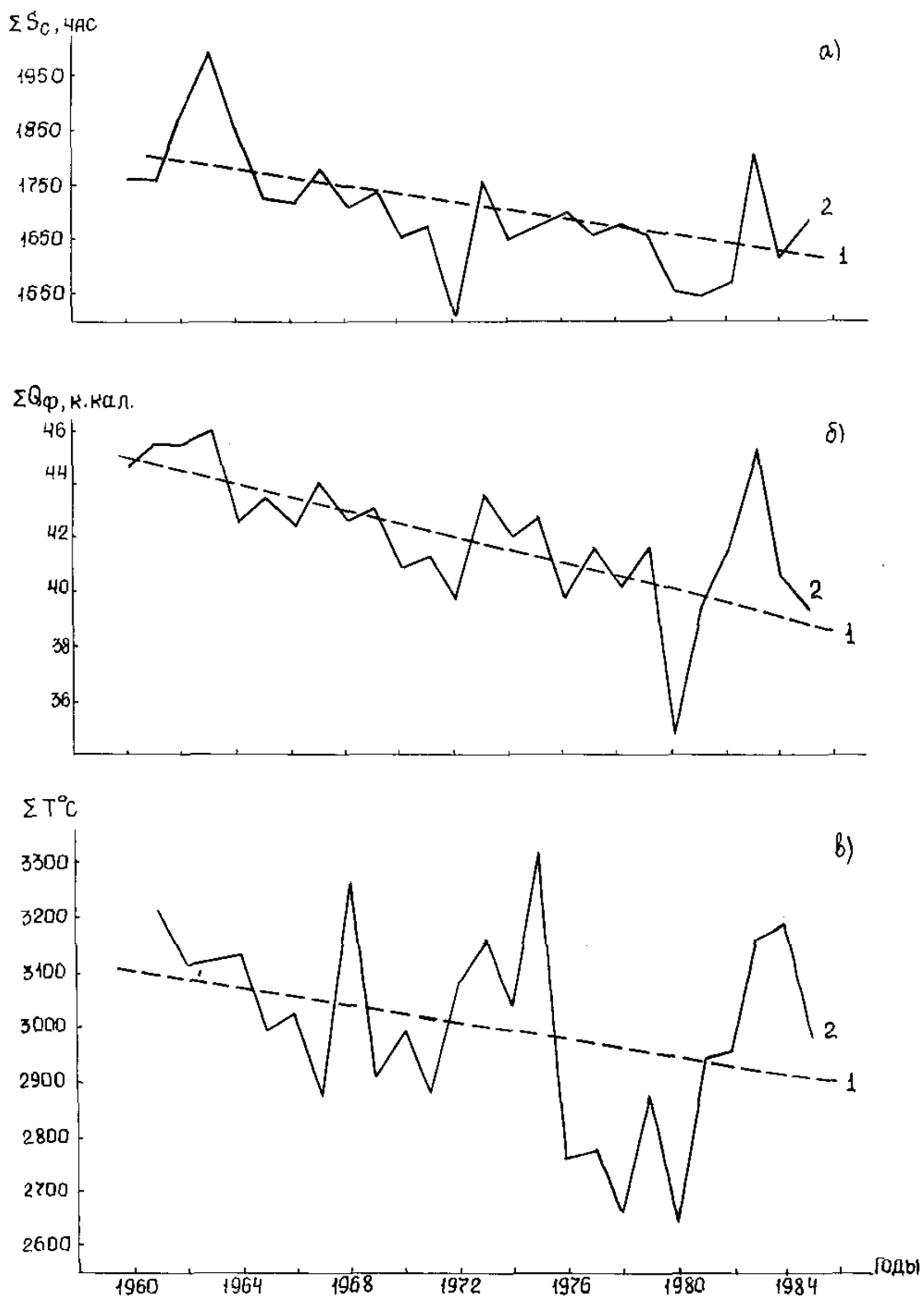


Рис. 20.5 - Тенденция изменения радиационно-тепловых ресурсов за
теплый период с T_c выше 10°C в среднем для Молдовы:
а) ΣS_c ; б) ΣQ_{ϕ} ; в) ΣT_c . 1 – линии трендов; 2 – межгодовая
изменчивость показателей

Таблица 20.5 - Оценка изменений агроклиматических показателей к 2000-2005 гг. на территории Молдовы

Станция	Климатическая норма	На начало периода (1967 г.)	На конец периода (1988 г.)	Разность за период	К 2000 – 2005 г.
а) Продолжительность солнечного сияния за год (часы)					
Бричаны	1919	2090	1830	-260	1734
Кишинев	2109	2200	2070	-130	2034
Кагул	2177	2350	2160	-190	2090
б) Суммы активных температур воздуха за теплое время					
Бричаны	2781	2820	2605	-215	2545
Кишинев	3220	3260	3100	-160	3054
Кагул	3324	3352	3096	-256	3024
в) Продолжительность теплого периода (дни)					
Бричаны	170	175	158	-17	148
Кишинев	183	187	176	-11	170
Кагул	189	193	182	-11	176
г) Гидротермический коэффициент (ГТК)					
Бричаны	1,27	1,16	1,68	+0,42	1,80
Кишинев	0,98	0,91	1,21	+0,30	1,29
Кагул	0,92	0,83	1,0	+0,15	1,5

Примечание. Климатическая норма определена по данным «Справочника по климату СССР [98].

На основе динамического моделирования с помощью имитационной компьютерной системы О.Д. Сиротенко и В.А. Долгий–Трач дали оценку ожидаемых измерений агроклиматических ресурсов к началу XXI века в среднем для территории Молдовы. В качестве аналогов будущего климата привлечены данные о палеоклиматах теплых периодов прошлого Земли – климатических оптимумов голоцена (ОГ) и Микулинского межледникового (ОММ). Результаты расчетов не в полном виде представлены в табл. 20.6. Характерной особенностью развития глобального потепления в пределах страны является ускоряющийся рост атмосферных осадков (по 2 мм./год в последнем десятилетии прошлого века и порядка 10 мм/год – в первой четверти XXI века). Ожидаемое изменение показателей тепловых ресурсов оказывается более сложным. К 2025 году возможно уменьшение $T_{вп}$ на $1,1^{\circ}\text{C}$, ΣT_c выше 5°C на 175°C при незначительном росте продолжительности теплого периода. При реализации обеих сценариев фактическое водопотребление растений будет возрастать, а испаряемость уменьшаться.

Таблица 20.6 - Ожидаемые изменения агроклиматических условий в Молдове к 2000 – 2005 г. (сценарий ОГ) и к 2025 г. (сценарии ОММ)

Сценарий	Показатели					
	$T_{\text{вп}}, \text{C}$	$\Sigma T_c, ^\circ\text{C}$	$N_{\text{тп}}, \text{дни}$	$\Sigma P_{\text{вп}}, \text{мм}$	$E, \text{мм}$	$E_o, \text{мм}$
Норма	15,2	3390	223	376	466	1038
ОГ	15,7	3640	232	432	477	1073
ОММ	14,1	3215	228	603	603	792
ОГ–норма	0,5	250	9	56	11	35
ОММ–норма	-1,1	-175	5	227	137	-246

Примечание. $\bar{T}_{\text{аи}}$, ΣT_c – средняя температура воздуха и сумма активных температур за вегетационный период с T_c выше 5°C ; $N_{\text{тп}}$ – продолжительность вегетационного периода; ΣP – сумма осадков за теплый период; E – фактическое водопотребление растениями (суммарное испарение); E_o – оптимальное водопотребление (испаряемость).

Несмотря на некоторые расхождения в данных расчетов разными методами, можно сделать следующее заключение. За счет увеличения облачности возрастут суммы осадков (особенно в период активной вегетации растений). Это обусловит уменьшение сумм суммарной радиации и сокращение продолжительности солнечного сияния. В результате повышения зимних минимальных температур улучшатся условия перезимовки озимых, плодовых культур и винограда. Влагообеспеченность растений в период активной вегетации улучшится, что повысит их биологическую продуктивность. Таким образом, климат в Молдове к 2010 – 2025 гг. окажется более благоприятным для сельского хозяйства по сравнению с климатической нормой.

Позднее З.А. Мищенко, Г.В. Ляшенко и Е.Е. Ярмольская [74] выполнили оценку возможных агроклиматических ресурсов к 2005 – 2030 гг. на территории Украины, приняв за основу аналоговый метод палеоклиматических реконструкций. Для этой цели использованы карты аномалий температура и количества осадков, составленные А.А. Величко и др. [25] на период оптимума голоцена (ОГ) и условий Микулинского межледниковья (ОММ). Далее была разработана методика уплотнения климатической информации, основанная на установлении количественных зависимостей между известными и искомыми климатическими и агроклиматическими показателями. Получена серия уравнений связи, с помощью которых расчетным путем авторы определили абсолютные значения 20-ти агроклиматических показателей.

Алгоритм расчетов представлен на рис.20.6,

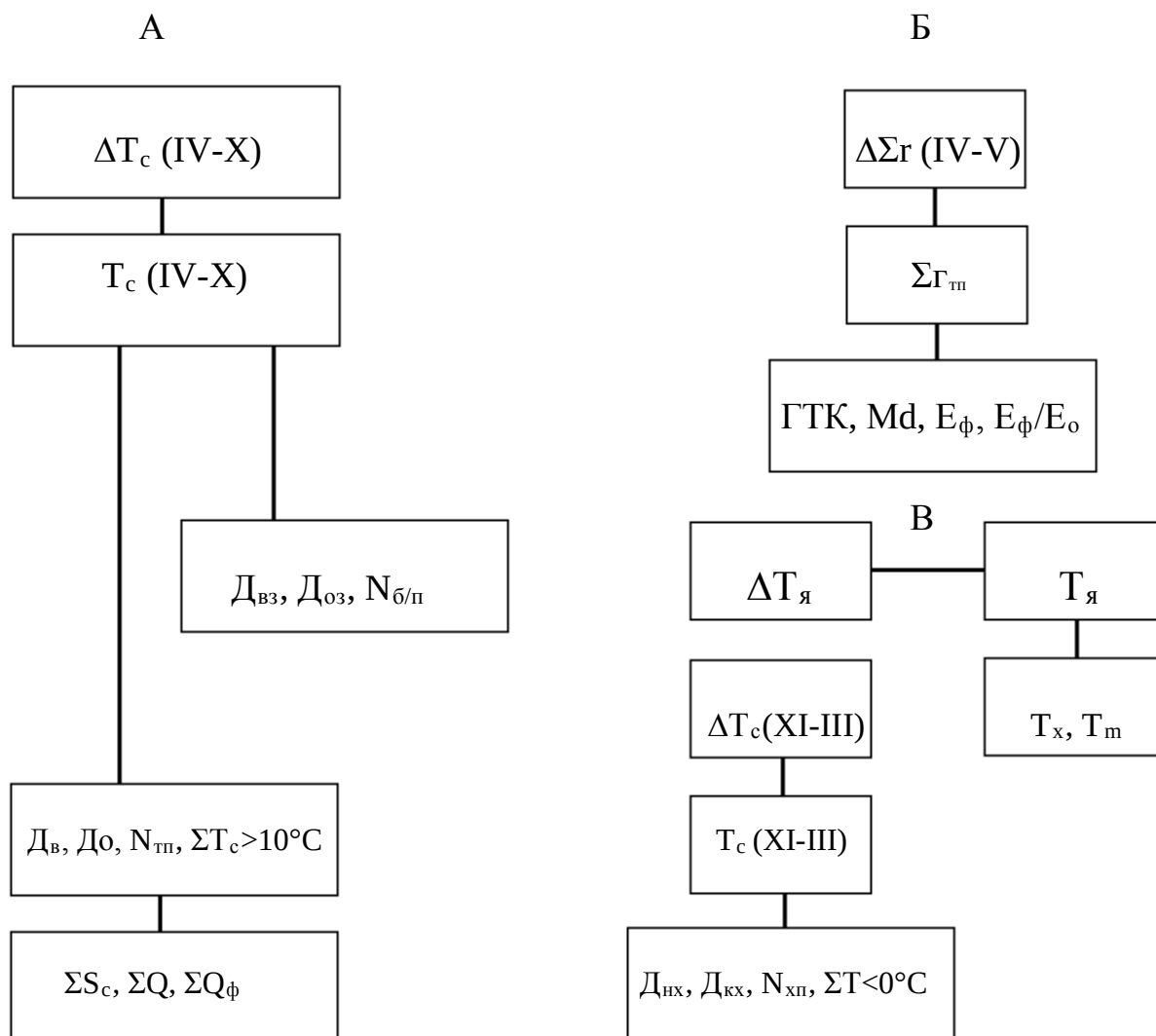


Рис.20.6 - Алгоритм расчетов абсолютных значений агроклиматических показателей для сценариев ОГ и ОММ. А – радиационно-тепловые ресурсы; Б – ресурсы влаги; В – условия заморозка и морозоопасности.

где: $\Delta\Sigma T_c$, Δr – аномалии средних месячных значений температуры воздуха и осадков; T_c , Σr – средние месячные температуры и количество осадков с апреля по октябрь; $D_{вз}$, $D_{оз}$, $N_{б/п}$ – даты весенних и осенних заморозков, продолжительность беззаморозкового периода; $D_{в}$, $D_{о}$, $N_{тп}$, $\Sigma T_c > 10^\circ C$ – даты перехода температуры воздуха через $10^\circ C$ весной и осенью, продолжительность теплого периода, суммы температуры воздуха выше $10^\circ C$; ΣS_c , ΣQ , $\Sigma Q_{ф}$ – продолжительность солнечного сияния, суммы суммарной радиации и ФАР за период с T_c выше $10^\circ C$; ГТК, Md , $E_{ф}$, $E_{ф}/E_o$ – гидротермический коэффициент Селянинова, показатель увлажнения Шашко, суммарное испарение, показатель влагообеспеченности растений;

$T_{я}$, $\Delta T_{я}$ – средняя месячная температура воздуха и её аномалия в январе; $T_{х}$, $T_{м}$ – температура самого холодного месяца, средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха; $D_{нх}$, $D_{кх}$, $N_{хп}$, $\Sigma T < 0^{\circ}\text{C}$ – даты начала и конца холодного периода с температурой воздуха ниже 0°C , продолжительность холодного периода ($N_{хп}$), сумма отрицательных температур ниже 0°C ($\Sigma T < 0^{\circ}\text{C}$).

Расчеты выполнены для вышеуказанных сценариев изменения глобального климата по данным $\Delta T_{с}$ и $\Delta \Sigma T$ с привязкой к карте агроклиматического районирования на территории Украины [2]. Оценка возможных изменений радиационно-тепловых ресурсов, режима увлажнения, заморозко и морозоопасности к 2005 и 2030 годам дана относительно климатической нормы (КН), которая была вычислена за период 1881-1990 гг. для Львова, Киева, Полтавы, Кировограда и Одессы. Результаты расчетов не в полном виде представлены в табл. 20.7.

Таблица 20.7 - Ожидаемые изменения показателей радиационно-тепловых ресурсов за вегетационный период и условий морозоопасности зимой в Украине к 2000-2005гг. (сценарий ОГ) и к 2025-2030гг. (сценарии ОММ)

Сценарий	Теплый период				Зимний период		
	$\Sigma S_{с}$, часы	ΣQ МДж/м ²	$\Sigma T_{с} > 10^{\circ}\text{C}$	$N_{тп}$ дни	$T_{м}$, $^{\circ}\text{C}$	$N_{хп}$, дни	$\Sigma T_{с} < 0^{\circ}\text{C}$
а) Зона I – влажная, умеренно теплая (ст. Львов)							
КН	1212	2774	2542	166	-24	106	-370
ОГ	1154	2604	2452	156	-22	93	-312
ОММ	1078	2468	2220	148	-20	81	-202
ОГ-КН	-58	-170	-90	-10	+20	-13	-58
ОММ-КН	-134	-306	-322	-18	+4	-25	-168
б) Зона IV – очень засушливая, умеренно жаркая (ст. Одесса)							
КН	1426	3067	3250	181	-20	88	-205
ОГ	1274	2815	3099	175	-18	69	-92
ОММ	1177	2644	2836	168	-16	57	-30
ОГ-КН	-152	-252	-151	-6	+2	-19	-113
ОММ-КН	-249	-423	-414	-13	+4	-31	-175

Общей закономерностью является тенденция к снижению радиационно-световых и тепловых ресурсов к 2005 г. и особенно к 2030 г. Например, к 2025-2030 гг. $\Sigma S_{с}$ и ΣQ снизятся в северо-западном районе на

134 часа и 306 МДж/м², а в южном – на 249 часов и 423 МДж/м². Изменяются даты начала и окончания теплого периода, что приведет к сокращению его продолжительности ($N_{\text{тп}}$) на 18 и 13 дней. Соответственно, ΣT_c уменьшится на 322 °С и 414 °С.

«Парниковый эффект» и связанное с ним потепление климата проявилось в зимний период. Из табл. 20.7 видно, что к 2025-2030 гг. средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ($\bar{T}_i$) повсеместно повысится на 3-4 °С. Продолжительность холодного периода с T_c ниже 0 °С ($N_{\text{хп}}$) сократится на северо-западе страны на 25 дней, а на юге на 31 день. Соответственно сумма отрегулированных температур воздуха уменьшается в зонах I и IV на 168 °С и 175 °С.

Таблица 20.8 - Возможные изменения показателей ресурсов влаги за теплый период с T_c выше 10 °С в Украине к 2000-2005гг и 2025-2030гг.

Сценарий	$\Sigma P_{\text{мм}}$	ΣE_{ϕ} , мм	$ГТК$	Md	E_{ϕ}/E_o
а) Зона II (ст. Киев)					
КН	373	395	1,30	0,40	0,53
ОГ	423	412	1,52	0,51	0,56
ОММ	539	451	1,93	0,71	0,65
ОГ-КН	+50	+17	+0,22	+0,11	+0,03
ОММ-КН	+166	+56	+0,63	+0,31	+0,12
б) Зона IV (ст. Одесса)					
КН	228	302	0,70	0,20	0,30
ОГ	298	421	1,0	0,30	0,50
ОММ	421	411	1,50	0,50	0,60
ОГ-КН	+70	+67	+0,30	+0,10	+0,20
ОММ-КН	+193	+109	+0,80	+0,30	+0,30

Четко проявилась тенденция к увеличению по сравнению с климатической нормой количества осадков во всех регионах Украины, особенно в теплое время года (табл. 20.8 и рис. 20.7). Например к 2025 – 2030 гг. ΣP увеличатся в северном регионе на 165мм, а в южном – на 190мм. Как следствие, возрастут условные показатели увлажнения и влагообеспеченности растений ($ГТК$, Md , E_{ϕ} , E_{ϕ}/E_o). В целом по обоим сценариям изменения глобального климата Земли в пределах Украины ожидается возрастание сумм осадков (ΣP), условных показателей увлажнения ($ГТК$, Md) и показателей влагообеспеченности растений (E_{ϕ}/E_o) к 2005 году соответственно на 20-30%, 15-20% и 5-10%, а к 2030 году – на 45-55%, 40-50% и 15-20% относительно климатической нормы (КН).

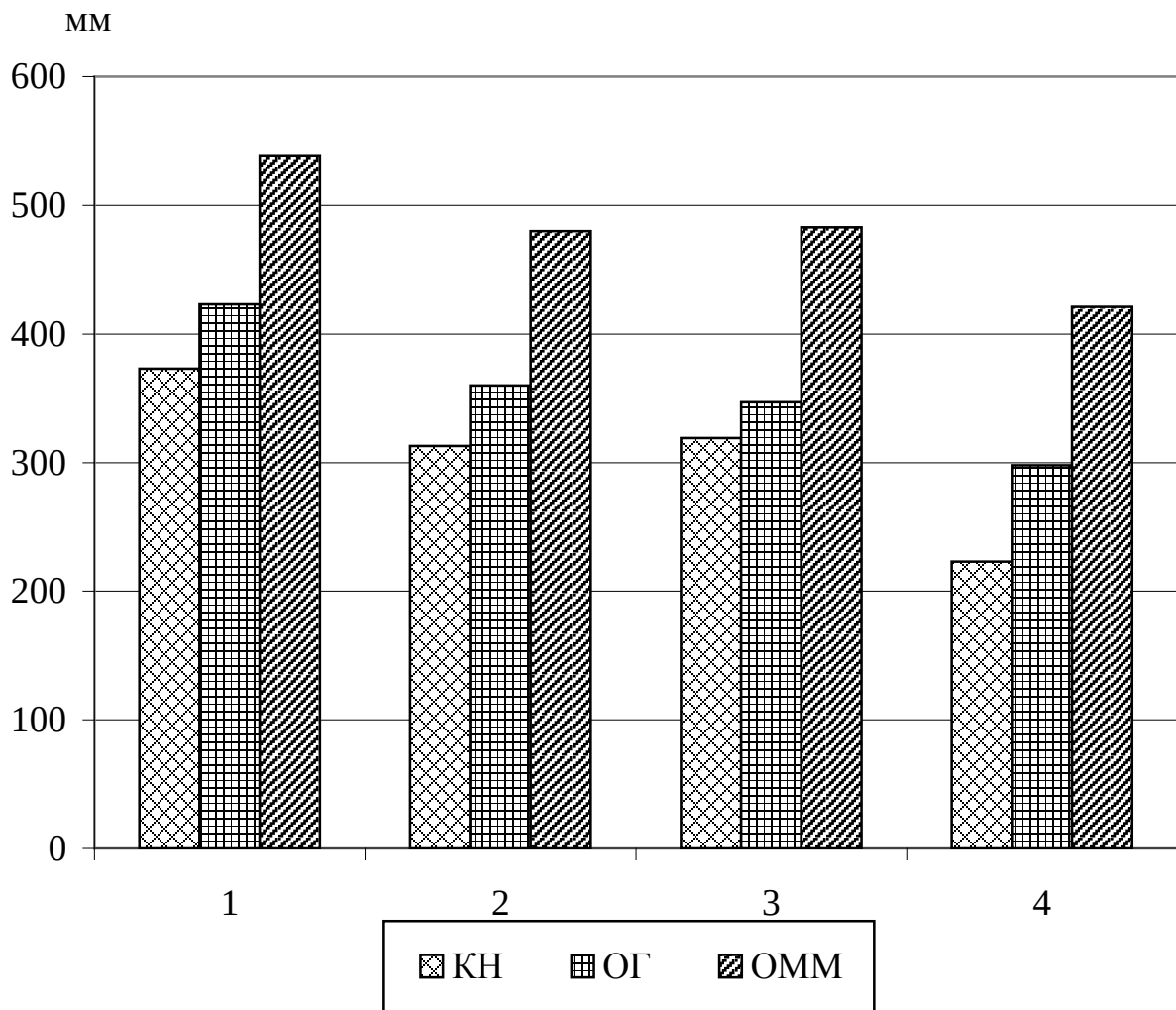


Рис. 20.7 - Возможное количество осадков за теплый период года с T_c выше 10°C в Украине к 2005 (ОГ) и к 2030 (ОММ) годам в сравнении с климатической нормой (КН).
1 – Киев, 2 – Полтава, 3 – Кировоград, 4 – Одесса.

Ожидаемые экономические и экологические последствия в связи с вышеуказанным изменением агроклиматических ресурсов заключаются в следующем. К 2010-2030 гг. на Украине агроклиматические ресурсы изменятся в сторону, благоприятную для сельскохозяйственного производства. Радиационно-тепловые ресурсы хотя и понизятся, но не настолько, чтобы принципиально изменить существующую схему зонального размещения видового состава культурных растений. Изменения возможны лишь на сортовом уровне.

Зимы станут более мягкими, что благоприятно скажется на перезимовке озимых и многолетних культур. Это позволит расширить площади земельных угодий для возделывания озимой пшеницы, озимого ячменя, кукурузы, подсолнечника, сахарной свеклы, теплолюбивой

группы плодовых культур и винограда. Вполне вероятно продвижение к северу границы возделывания озимых зерновых культур и неукрывного виноградарства.

Ресурсы влаги существенно увеличатся. Условия увлажнения окажутся в северной зоне более чем оптимальными, а в центральной зоне страны достаточными для большинства сельскохозяйственных культур. В южных районах очень засушливые условия сменятся на слабозасушливые. Появится возможность сократить расходы на гидромелиоративные сооружения, пересмотреть существующие нормы орошения в целях охраны природы и экономии пресной воды. При соблюдении технологии возделывания в связи с уменьшением условий увлажнения можно ожидать повышения урожаев зерновых культур к 2030 году в лесостепной и степной зонах на 20-30%.

20.4 Оценка влияния изменения климата на продуктивность озимой пшеницы в Украине

Представляют интерес исследования А.Н. Полевого, Н.И. Кульбиды и др. [76] на основе моделирования влияния изменения агроклиматических условий возделывания озимой пшеницы и ее продуктивности к 2030 – 2040 гг. в пределах Украины. В качестве сценариев изменения температуры воздуха и количества осадков авторы использовали опубликованные данные в работе "Україна та глобальний парниковий ефект", 1998 г. В ней содержится оценка возможных изменений температуры воздуха (ΔT_c) и количество осадков (P в отн. ед.) по календарным месяцам с охватом природно-климатических зон страны.

Расчеты выполнены по трем сценариям изменения глобального климата Земли:

- 1) по стационарным моделям общей циркуляции атмосферы, в которых исследуется реакция климатической системы на удвоение содержания CO_2 : GFDL (модель Лаборатории геофизической гидродинамики США); UKMO (модель Метеорологического бюро Соединенного королевства);
- 2) по нестандартной модели, в которой моделируется отклик климатической системы на постепенное (как более реалистичное) увеличение парниковых газов на 30%, разработанная Лабораторией геофизической гидродинамики США – GFDL 30%.

Анализ результатов расчетов, например, по климатическому сценарию GFDL при удвоении содержания CO_2 в атмосфере температура воздуха во все сезоны года повысится на 2 – 5 °C. Количество осадков в среднем по стране также будет увеличиваться. В отдельные сезоны это увеличение может превышать 20%. При реализации климатического

сценария GFDL 30% температура воздуха также повысится зимой на 2 – 4 °С, а летом на 1 – 2 °С. Количество осадков в среднем за год увеличится на 7% по сравнению со средними многолетними данными. Причем за зиму ΣP_3 увеличится не более чем на 5%. За лето количество осадков возрастает на 12%, а в июле – на 24%.

Для оценки реакции озимой пшеницы на изменение агроклиматических условий возделывания при различных сценариях изменения климата А.Н. Полевой и Н.И. Кульбида применили модель формирования урожая озимой пшеницы. В основе этой модели лежит система уравнений радиационного, теплового и водного балансов, а также баланса биомассы в растительном покрове. Оценка влияния изменения агроклиматических показателей на продуктивность культуры выполнена по периодам вегетации при условии реализации различных сценариев изменения климата в сравнении с климатической нормой (КН) за период 1961 – 1990 гг. Результаты расчетов не в полном объеме представлены в табл. 20.9 и 20.10.

Осенний период вегетации. Из табл. 20.9 видно, что при реализации климатического сценария GFDL средняя температура воздуха (T_c) во всех регионах Украины понизится на 0,3 – 1,4 °С. Количество осадков возрастет в Полесье, Лесостепи и Северной степи на 23 – 38%, а в Южной степи и Закарпатье – на 10 – 18%. При реализации климатического сценария GFDL 30% T_c увеличится в Полесье и Лесостепи на 2,0 – 2,5 °С, а в Северной и Южной степи уменьшится на 0,8 – 1,5 °С. Количество осадков (ΣP_o) за период от посева озимой пшеницы до прекращения вегетации в Полесье и Лесостепи может увеличиться на 12 – 16%, а в Северной и Южной степи – на 27 – 43% по сравнению с климатической нормой.

Период покоя зимой. При реализации обоих сценариев изменения климата, условия перезимовки озимой пшеницы на территории Украины окажутся более благоприятными. Так, при климатическом сценарии GFDL в условиях пониженного в среднем термического режима на 0,2 – 1,4 °С температура воздуха самой холодной декады зимой (T_x) будет на 1,3 – 2,2 °С выше чем климатическая норма. Сумма отрицательных температур воздуха ниже 0 °С уменьшится повсеместно в 3 – 4 раза, т.е. на 160 – 320 °С. Существенно сократится и продолжительность холодного периода. Количество осадков уменьшится на 20 – 30% за исключением Южной степи, где ΣP_3 окажется близкой к КН.

При реализации климатического сценария GFDL 30% зима окажется более мягкой. Средняя температура самой холодной декады повысится на 6 – 8 °С и станет положительной. Продолжительность периода перезимовки в Полесье и Лесостепи сократится на 1,5 месяца, а в Закарпатье, Северной и Южной степи – практически вдвое. Количество осадков уменьшится на 30 – 40%, а в южной степи – на 60 – 70% по сравнению с климатической нормой.

Таблица 20.9 – Агроклиматические показатели условий возделывания озимой пшеницы в осенне-зимний период в различных регионах Украины

Природно-климатическая зона	Посев – прекращение вегетации		Перезимовка		
	$T_c, ^\circ\text{C}$	$\Sigma P_o, \text{мм}$	$\Sigma T_c < 0 ^\circ\text{C}$	$\bar{O}_\delta, ^\circ\text{C}$	$\Sigma P_3, \text{мм}$
а) Климатическая норма					
Полесье	8,8	87	-445	-6,8	211
Лесостепь	9,2	71	-440	-6,5	198
Северная степь	9,2	66	-415	-6,4	200
Южная степь	8,6	65	-195	-5,0	182
б) сценарий GFDL					
Полесье	8,5	108	-116	-4,6	144
Лесостепь	9,0	98	-119	-4,8	164
Северная степь	7,8	81	-99	-4,4	160
Южная степь	8,3	77	-32	-3,7	189
в) сценарий GFDL 30%					
Полесье	10,8	97	-	+0,4	122
Лесостепь	11,7	82	-	+0,4	151
Северная степь	8,4	84	-	+1,5	123
Южная степь	7,1	93	-	+3,5	53

Весенне-летний период вегетации. Агроклиматические условия произрастания озимой пшеницы в весенне-летний период также значительно изменяется. Как видно из табл. 20.10, при реализации климатического сценария GFDL период от возобновления вегетации до колошения будет проходить при несколько низких (на $0,5 - 1,0 ^\circ\text{C}$) температурах, кроме лесостепи, где T_c повысится на $0,4 ^\circ\text{C}$. Прохождение второго периода вегетации (колошение – восковая спелость) будет происходить на фоне повышенных температур воздуха (на $0,5 - 1,3 ^\circ\text{C}$). Суммы ФАР за вегетационный период во всех зонах уменьшаться на $75 - 170 \text{ МДж/м}^2$. Сумма осадков за период весенне-летней вегетации уменьшится в Полесье и Лесостепи на $65 - 80\%$ от климатической нормы, а в Северной и Южной степи она практически останется на прежнем уровне. Это обусловит и соответствующую динамику запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы.

При реализации климатического сценария GFDL 30% в основном сохраняются вышеуказанные особенности в распределении агроклиматических показателей. Так, за период возобновления вегетации – колошения T_c будет ниже климатической нормы на $1,0 - 2,0 ^\circ\text{C}$ за исключением Северной степи, где она будет близка к КН. За период

Таблица 20.10 – Агроклиматические условия произрастания озимой пшеницы в весеннее-летний период в пределах Украины

Природно-климатическая зона	Средняя температура воздуха за период, °С		Суммы ФАР за вегетацион-ный период, МДж/м²	Количе-ство осадков, мм	Средние запасы влаги в метровом слое почвы за период, мм		Суммарное испарение за вегетацион-ный период, мм
	Возобновление вегетации - колошение	Колошение - восковая спелость			Возобновление вегетации - колошение	Колошение – восковая спелость	
а) Средние многолетние данные (КН)							
Полесье	13,2	17,1	913	260	207	166	312
Лесостепь	12,9	18,1	888	189	146	123	252
Северная степь	13,3	18,7	859	147	111	90	220
Южная степь	13,3	19,4	905	114	87	51	192
б) Сценарий GFDL							
Полесье	12,7	19,4	771	194	215	156	251
Лесостепь	13,3	19,5	813	157	162	100	245
Северная степь	12,5	19,2	762	144	149	75	226
Южная степь	12,4	20,3	733	107	128	68	193
в) Сценарий GFDL 30%							
Полесье	11,1	17,4	788	196	238	166	268
Лесостепь	11,2	18,3	838	172	165	96	236
Северная степь	13,0	18,5	767	153	132	77	217
Южная степь	11,5	17,1	725	111	122	64	173

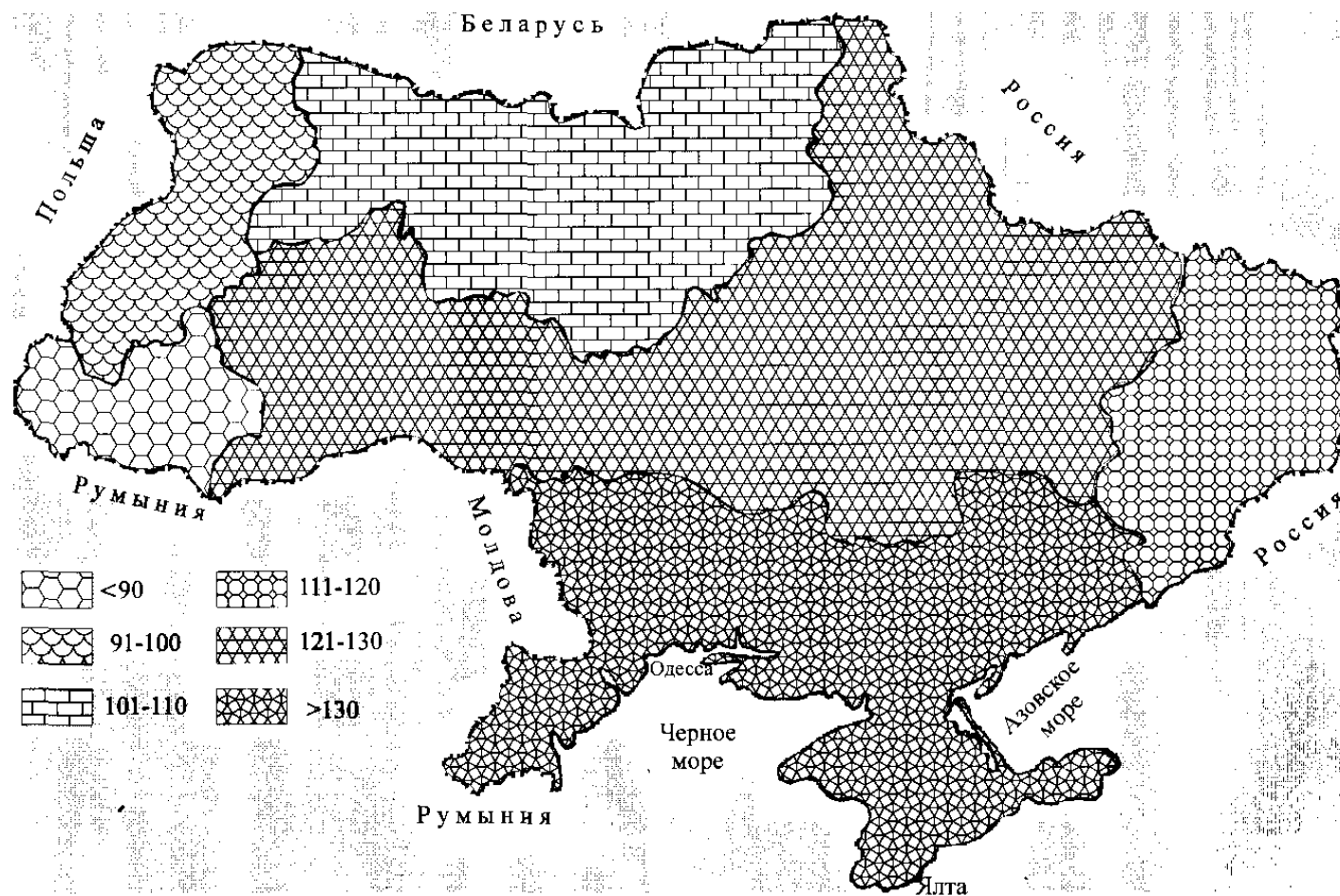


Рис. 20.8 - Оценка ожидаемой урожайности озимой пшеницы (в % от современного уровня) на территории Украины. Сценарий GFDL 30%.

колошение – восковая спелость только в Южной степи температура воздуха понизится на 2,0 – 2,5 °С, а в других зонах она будет близка к климатической норме. Суммы ФАР уменьшатся на 100 – 180 МДж/м², а в Лесостепи только на 50 МДж/м². Количество осадков уменьшится в Полесье на 25% по сравнению с КН, а в других зонах ΣP окажутся близкими к климатической норме.

Дана количественная оценка реакции озимой пшеницы (темпы роста и развития, динамика относительной площади листьев и общей биомассы, урожайность) при условии реализации различных сценариев изменения климата. Анализ полученных материалов позволяет сделать следующие выводы:

1. На основе оценки агроклиматических условий осенней вегетации озимой пшеницы установлено, что благоприятные условия осенней вегетации вследствие изменения климата позволят на 40 – 50 дней сместить сроки сева культуры. Это позволит более эффективно использовать благоприятные условия осенней вегетации. Зимы станут мягкими, что благоприятно скажется на условиях перезимовки озимой пшеницы. Продолжительность холодного периода сократится на 1,5 – 2 месяца.

2. Возобновление вегетации растениями озимой пшеницы весной произойдет более чем на месяц раньше обычных сроков. При реализации климатических сценариев GFDL, GFDL 305 в Лесостепи, Северной и Южной степи сложатся благоприятные условия для фотосинтетической продуктивности посевов. Относительная площадь листьев будет в 1,2 – 1,4 раза больше обычного, что приведет к повышению общей продуктивности посевов в 1,2 – 1,4 раза. Сроки наступления у растений фазы восковой спелости сместятся в сторону более ранних сроков на один – два месяца.

3. Реализация климатических сценариев GFDL, GFDL 30% в Полесье, Лесостепи, Северной и Южной степи приведет к повышенной урожайности озимой пшеницы до 111 – 130 % по сравнению с современными условиями. Наиболее благоприятные условия для формирования урожая сложатся при реализации сценария GFDL 30% (рис. 20.8). Некоторый рост урожайности возможен в Полесье (до 111 – 120%) от современного уровня. В Северной и Южной степи сложатся наиболее благоприятные условия для формирования урожая. Здесь повышение урожайности будет достигать 130% и более от современного уровня. Меньшим будет повышение урожайности в восточной части Северной степи. Условия, которые сложатся при реализации климатического сценария UKMO, будут менее благоприятными для формирования урожайности озимой пшеницы в Украине по сравнению с другими климатическими сценариями.