

Н. И. СЕНИЦИНА, И. А. ГОЛЬЦБЕРГ, Э. А. СТРУННИКОВ

55756  
С-38

# АГРОКЛИМАТОЛОГИЯ

*Допущено Министерством  
высшего и среднего специального образования СССР  
в качестве учебного пособия для студентов  
гидрометеорологических специальностей вузов*

Под редакцией  
д-ра геогр. наук  
И. А. ГОЛЬЦБЕРГ

265060



ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ • 1973

В книге излагаются принципы и методы сельскохозяйственной оценки климата, рассматриваются агроклиматические показатели, имеющие значение для роста, развития и продуктивности сельскохозяйственных культур, методы их определения, учет влияния агротехники на климат почв и климат приземного слоя воздуха. Агроклиматические показатели рассматриваются также применительно к животноводству. Дается оценка компонентов климата при агроклиматической характеристике территории (тепла, влаги и т. д.). Освещаются вопросы агроклиматического районирования.

Предназначена в качестве учебного пособия для студентов гидрометеорологических вузов. Может быть полезна для преподавателей и студентов сельскохозяйственных и педагогических институтов, географических факультетов университетов и учащихся гидрометеорологических и сельскохозяйственных техникумов, а также для агрономов и зоотехников.

In this book the principles and methods of agricultural assesment of climate are presented; agroclimatic indices (which characterize growth, vegetation, and productivity of crop), methods of their estimation, and the effect of agricultural works upon the soil and surface air layer climate are considered. The agroclimatic indices as applied to cattlebreeding are also discussed. An estimation of climate components taking into account agroclimatic characteristics of the territory are given. Some problems of agroclimatic territorial classification are considered in detail.

The book is written as a manual for students in the field of hydrometeorology. It may also be useful for lecturers and students of agriculture as well as for agronomists and farmers.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

Учет и использование климатических условий в сельском хозяйстве имеет большое значение в повышении продуктивности сельскохозяйственного производства. Разработанная КПСС и Советским правительством программа дальнейшего развития сельского хозяйства предполагает осуществление целого комплекса крупных мероприятий. Реализация многих из них будет успешной лишь при правильном учете климатических условий. В частности, интенсификация сельскохозяйственного производства посредством мелиорации, химизации и механизации дает наибольший экономический эффект, если при ее осуществлении правильно учитывают как благоприятные, так и неблагоприятные агроклиматические условия нашей страны. Исследования агроклиматических условий имеют большое значение при решении вопросов районирования сельскохозяйственных культур, дифференциации способов и приемов агротехники в разных климатических зонах, при обосновании мер борьбы с вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур, для животноводства и т. п.

В нашей стране для агрометеорологического и агроклиматического обслуживания сельского хозяйства в высших и средних учебных заведениях готовят специальные кадры инженеров и техников агрометеорологов. Трудности, возникающие при подготовке указанных специалистов, в значительной степени связаны с недостатком или отсутствием учебников и учебных пособий по специальным дисциплинам. В частности, до сих пор нет учебника по агроклиматологии. Предлагаемая книга в известной мере должна восполнить этот пробел.

Содержание книги соответствует программе курса агроклиматологии, читаемого в Одесском гидрометеорологическом институте. Книга знакомит студентов с современными достижениями агроклиматологии в области сельскохозяйственной оценки климатов, с климатической оценкой опасных агрометеорологических явлений, принципами агроклиматического районирования, проблемой агроклиматических ресурсов и рядом других важных вопросов.

Считая связь агроклиматологии со многими родственными и смежными науками (общей климатологией, физиологией растений, растениеводством и пр.) весьма тесной, авторы стремились создать такое пособие, которое в определенных пределах учитывало бы достижения этих наук. Поэтому предлагаемая книга

может быть использована как учебное пособие студентами не только гидрометеорологических, но и сельскохозяйственных вузов.

Настоящая книга является первой попыткой систематизировать современные знания в области агроклиматологии, поэтому ее следует считать полезной и для практических работников, связанных со сферой сельскохозяйственного производства.

Авторы приносят глубокую благодарность академику АН Грузинской ССР Ф. Ф. Давитая, доценту Л. П. Серяковой и другим лицам за ценные советы в процессе работы над рукописью.

Возможные критические замечания и пожелания, связанные с дальнейшим улучшением книги, авторы просят присылать по адресу: Ленинград, В-53, 2-я линия, д. 23, Гидрометеиздат.



## *Глава I*

### **ВВЕДЕНИЕ**

---

#### **§ 1. ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ АГРОКЛИМАТОЛОГИИ**

Непременным условием построения коммунизма является бурное развитие науки, техники и всех отраслей народного хозяйства нашей страны. В области сельского хозяйства Коммунистическая партия и правительство СССР предусматривают создание всесторонне развитого и высокопродуктивного производства, способного обеспечить изобилие продуктов питания для населения и сырья для промышленности.

Увеличение продукции разных отраслей сельского хозяйства может быть достигнуто в первую очередь за счет внедрения высокопродуктивных сортов, широкой механизации всех работ, мелиорации земель, применения удобрений, гербицидов и других научно обоснованных передовых приемов земледелия. Наряду с применением передовой агротехники необходимым условием повышения урожайности 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».

Климат определяет географическое распространение и успешность возделывания культур. Он влияет на рост, развитие и 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 может быть нанесен значительный ущерб.

Агроклиматология — это наука, изучающая климатические и гидрологические условия в их взаимной связи с объектами и процессами сельскохозяйственного производства. Таким образом, предметом изучения агроклиматологии является климат применительно к запросам сельского хозяйства.

Агроклиматология стоит на стыке географических, геофизических и биологических наук, использует их достижения и методы исследований.

Философской основой агроклиматических исследований является диалектический метод познания жизни, рассматривающий организм и среду как диалектическое единство и требующий поэтому изучения растительных и животных объектов в их неразрывной связи с внешними условиями.

Вся производственная деятельность людей в сельском хозяйстве существенно зависит от климата. Например, приемы обработки почвы (зябь, весновспашка и т. д.), сроки сева, применение паровых или непаровых предшественников, занятого пара, возможность использования пожнивного периода, 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 вредителей и болезней.

С другой стороны, направленная производственная деятельность человека влияет на климат в сторону его улучшения. Так, орошение, обводнение, лесонасаждение, снегозадержание и другие мероприятия улучшают термический режим воздуха и почвы, условия увлажнения и т. д.

Исходя из вышеизложенного можно в общем виде сформулировать основные задачи агроклиматологии:

- 1) выявление климатических особенностей территории в целях наиболее рационального размещения объектов сельскохозяйственного производства;
- 2) климатическое обоснование способов и приемов агротехники, условий работы сельскохозяйственных машин;
- 3) климатическое обоснование мер борьбы с вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур;
- 4) изучение климата и микроклимата с целью их возможного улучшения для сельскохозяйственного производства.

## **§ 2. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ АГРОКЛИМАТОЛОГИИ**

Возникновение агроклиматологии связано с именами великих русских ученых — климатолога А. И. Воейкова (1842—1916 гг.) и основоположника сельскохозяйственной метеорологии П. И. Броунова (1852—1927 гг.).

Основателем агроклиматологии как науки является А. И. Воейков, исследования которого в области метеорологии, климатологии, географии, сельскохозяйственной метеорологии, агроклиматологии, курортной климатологии широко известны в мировой науке. Воейков за полувековую научную деятельность опубликовал около

двух тысяч работ, в которых обобщены материалы и наблюдения многих авторов, а также собственные наблюдения, полученные им в многочисленных путешествиях по зарубежным странам и России. В его работах всегда содержатся практические выводы для какой-либо отрасли или хозяйственной деятельности человека.

В классическом труде А. И. Воейкова «Климаты земного шара, в особенности России» главы 19 и 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 Воейкова уделяется большое внимание использованию климатологии в сельском хозяйстве. Появление этих работ не случайно. Много путешествуя по стране, он видел страшную отсталость и примитивность ведения сельского хозяйства на родине. Он писал: «Сотни и тысячи образованных и богатых хозяев, применяющих усовершенствованные орудия, знают о климате и погоде своей местности не более чем их соседи, неграмотные крестьяне, и это незнание отражается на их производстве громадными убытками».

В своих работах Воейков отмечает, что для такой обширной и в основном сельскохозяйственной (в то время) страны, как Россия, прежде всего необходимы знания климата и погоды, которые «играют первенствующую роль» во всех сферах действия в сельском хозяйстве. В исследованиях, посвященных возможности увеличения площадей возделывания чайного куста в России, Воейков на основе агроклиматического анализа условий возделывания чая в Индии, на Цейлоне и в Японии пришел к заключению, что по температурному режиму в России имеются большие территории для произрастания чая, но по условиям увлажнения для этой культуры пригодны только Западная Грузия, часть Кахетии и Ленкорани. Практика возделывания чая в наши дни подтвердила правильность выводов Воейкова.

Много внимания Воейков уделил развитию хлопководства в России. Он впервые определил требования хлопчатника к климату, показал, что эта культура боится весенних и ранних осенних заморозков, выявил, что в термическом отношении для хлопчатника наиболее благоприятен (при орошении) климат Средней Азии и Восточного Закавказья. Он предостерегал тех, кто ратовал за продвижение хлопчатника к северу, и в этом также был прав. Воейков выполнил значительную работу по агроклиматическому районированию кукурузы для территории России. Интересно отметить, что, рекомендуя к производству ту или иную культуру, он всегда учитывал экономическую эффективность ее возделывания.

Его агроклиматические исследования по плодовым культурам, лесоразведению, орошению и осушению, снежному покрову и другим вопросам намного опередили науку того времени и до сих пор не утратили своего значения.

Большое влияние 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 растений.

Основоположником сельскохозяйственной метеорологии по праву признан П. И. Броунов. В 1896 г. по его инициативе и личном участии при Ученом комитете Департамента земледелия было организовано метеорологическое бюро, которое фактически явилось первым в России и мире научным учреждением по вопросам агрометеорологии и агроклиматологии.

С первых дней своего существования метеорологическое бюро приступило к организации сети агрометеорологических станций, созданию единой программы агрометеорологических наблюдений. Большое внимание Броунов уделял научным исследованиям. К числу важных открытий того периода следует отнести его исследование о критических периодах в развитии растений.

С 1901 г. метеорологическое бюро впервые в мире стало издавать «Труды по сельскохозяйственной метеорологии», что способствовало как развитию этой науки, так и ее популяризации.

Несмотря на большие усилия многих выдающихся отечественных ученых и их научные достижения, в дореволюционной России агроклиматические исследования не получили значительного развития. Правительство царской России оставалось глухим ко многим исключительно важным для хозяйства страны мероприятиям и предложениям. Работа многих исследователей, а в большинстве случаев и наблюдателей на сети опиралась на личный энтузиазм.

Планомерное и всестороннее развитие агрометеорологии и агроклиматологии началось лишь после Великой Октябрьской социалистической революции.

В 1921 г. декретом Совета Труда и Оборона, подписанным В. И. Лениным, была организована агрометеорологическая служба нашей страны (Служба урожая — метеорологическая часть Наркомзема РСФСР). Она положила начало советскому периоду развития агрометеорологии и агроклиматологии.

Особенно плодотворной в это время была деятельность Броунова. Разрабатывая методы обработки климатических материалов для сельскохозяйственных целей, он впервые, хотя и схематично, произвел агроклиматическое районирование России (1924 г.), обосновал меры по борьбе с засухами.

Научные достижения и идеи Воейкова и Броунова были восприняты советскими учеными. В советское время агроклиматология развивалась преимущественно как прикладная наука при решении ряда крупных проблемных вопросов, возникавших в процессе развития социалистического сельского хозяйства.

В начале тридцатых годов колхозы и совхозы нашей страны перешли к планированию производства, что потребовало научно обоснованные рекомендации по размещению культур и их сортов, применению дифференцированной системы земледелия, освоению новых культур и т. д. Научные и планирующие учреждения, разрабатывавшие перспективные планы развития и размещения различных отраслей сельского хозяйства, нуждались в сведениях о поведе-

нии 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 то время при Государственном институте опытной агрономии, был создан сектор агроклиматологии. Одной из первых работ этого сектора была карта агроклиматического районирования СССР, составленная Г. Т. Селяниновым, в которой впервые была дана оценка климатических ресурсов страны для сельскохозяйственного производства.

В работе Селянинова «К вопросу о классификации сельскохозяйственных культур по климатическому признаку» (1930 г.) впервые рассматривался вопрос об агроклиматических показателях сельскохозяйственных культур. 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 и агрометеорологии вплоть до наших дней.

Крупным шагом в развитии агроклиматологии как науки явились исследования, связанные с сельскохозяйственным освоением субтропической зоны СССР. В 30-е годы в планах развития сельского хозяйства нашей 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, которую выполнили П. А. Воронцов, И. А. Гольцберг, Ф. Ф. Давитая, С. А. Сапожникова, В. А. Смирнов и др. Это были первые широкие комплексные агроклиматические исследования 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 карта агроклиматического районирования субтропиков Западного Закавказья и Ленкоранского района нашла широкое производственное применение при размещении плантаций. Последующий более чем 30-летний опыт возделывания субтропических культур подтвердил большую точность этой карты.

Развивающееся сельское хозяйство нашей страны нуждалось в изучении и применении мирового опыта земледелия. В связи с этим под руководством Селянинова в 1937 г. был составлен «Мировой агроклиматический справочник». В нем представлен ряд агроклиматических показателей, по которым можно давать сельско-

хозяйственную 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 периода произрастания конкретной культуры. В это же время впервые И. А. Гольцберг (1937 г.) исследовала изменчивость среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха как агроклиматического показателя условий перезимовки и построила кривые обеспеченности этого элемента с их типизацией по климатам всего мира.

В последующем развитие и углубление многих важных теоретических вопросов агроклиматологии связано с работами Ф. Ф. Давитая (применительно к культуре винограда). Во введении к первому изданию своей книги «Климатические зоны винограда в СССР» (1948 г.) Ф. Ф. Давитая пишет: «Вся работа проникнута идеей определить место и значение сельскохозяйственной климатологии (иначе агроклиматологии) в процессе планирования сельскохозяйственного производства».

Большой вклад в развитие агроклиматологии внесли известные советские 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. 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 Советском Союзе учебник по сельскохозяйственной метеорологии. Несколько раньше, в 1934 г., под редакцией А. В. Федорова было опубликовано первое учебное пособие по сельскохозяйственной метеорологии для учащихся гидрометеорологических техникумов, в котором дана глава по агроклиматологии.

До Великой Отечественной войны благодаря научной и практической деятельности Г. Т. Селянинова, П. И. Колоскова, Р. Э. Давида, И. А. Гольцберга, Ф. Ф. Давитая, С. А. Сапожниковой

и других советская агроклиматология окончательно оформилась как самостоятельная наука.

Необходимо отметить, что 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 приведения к длинным рядам, применили вероятностные характеристики, разработали методику картирования температуры на уровне земной поверхности в крупном масштабе, использовали данные по микроклимату при обосновании размещения субтропических культур. Подобные вопросы в климатологии до этого не решались.

После Великой Отечественной войны в решениях партии и правительства была разработана программа по резкому подъему сельского хозяйства: предусматривалось расширение посевов в переувлажненных районах страны 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 требовало их глубокого научного обоснования, что явилось стимулом для дальнейшего развития агроклиматологии как науки.

В разработке этих вопросов принимали участие коллективы научных центров страны: Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (ГГО), Гидрометеорологического центра СССР (Гидрометцентр СССР), Всесоюзного института растениеводства (ВИР), Научно-исследовательского института агроклиматологии (НИИАК), региональных научно-исследовательских гидрометеорологических институтов, Института экспериментальной метеорологии (ИЭМ). Агроклиматические исследования были начаты также в Академии наук СССР и союзных республик, в высших учебных заведениях.

На основе агроклиматического изучения территории нашей страны было уточнено и в значительной мере детализировано агроклиматическое районирование СССР, определены основные направления развития сельского хозяйства с учетом более полного использования агроклиматических ресурсов.

В работах С. А. Сапожниковой, Ф. Ф. Давитая и Д. И. Шашко дана экономическая оценка климатов и бонитировка их применительно к определенным сельскохозяйственным культурам, т. е. впервые произведена сравнительная оценка ресурсов климата, обеспечивающих определенную продуктивность сельскохозяйственных культур.

Для обоснования мер борьбы с опасными метеорологическими явлениями были проведены исследования заморозков, засух, суховея и условий перезимовки озимых и плодовых культур.

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 1954 и 1955 гг. под редакцией Ф. Ф. Давитая.

Наряду с целиной крупные изменения в сельском хозяйстве послевоенных лет были запланированы на территории центральных черноземных областей. 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 ползащитного 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.

Широкой известностью пользуются работы Г. Д. Рихтера, А. М. Шульгина и других исследователей снежного покрова применительно к сельскому хозяйству. В этих работах достаточно глубоко исследованы такие важные проблемы, как влияние снежного покрова на климат почв, разработаны приемы снежной мелиорации для разных климатических зон нашей страны.

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 районов СССР, которые проводились силами ГГО и других научных учреждений. В этом направлении важно отметить новую методику агроклиматической характеристики отдельного хозяйства, которая предусматривает составление крупномасштабной агроклиматической карты хозяйства с практическими рекомендациями.

Разработанная партией и правительством программа дальнейшего развития сельского хозяйства (решения Июльского пленума ЦК КПСС 1970 г., директивы XXIV съезда КПСС и др.) предполагает проведение комплекса крупных мероприятий, среди которых важное место отводится мелиорации земель. Достаточно напомнить, что, согласно решению Июльского пленума ЦК КПСС (1970 г.), в Советском Союзе планируется довести общую площадь мелиорированных земель до 48 млн. га. В связи с этим в последние годы в нашей стране проведены и ныне широко проводятся исследования по сложной проблеме влагопотребления и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур в различных климатических зонах. В этих исследованиях участвовали или участвуют А. М. Алпатьев, М. И. Будыко, С. А. Вериги, А. Р. Константинов, Л. И. Зубенок,



С. В. Мاستинская, Н. Б. Мещанинова, В. С. Мезенцев, И. Г. Мушкин, Ю. С. Мельник, Л. А. Разумова, С. И. Харченко и многие другие.

За последние 15—20 лет выполнено значительное количество работ по агроклиматическому районированию отдельных сельскохозяйственных культур, что имеет большое практическое значение для рационального размещения культур и их сортов в пределах ареала. В этих работах определены агроклиматические показатели, зависимость урожая и качества продукции от погодных и климатических условий, дана оценка продуктивности климата, вскрыты резервы, еще не использованные в сельском хозяйстве. Существенное значение имеют работы 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 и погоды на появление вредителей и развитие болезней сельскохозяйственных культур позволяют осветить и этот аспект агроклиматических исследований.

В последние годы в исследованиях М. И. Будыко и Л. С. Гандина предложен новый метод определения агроклиматических показателей, основанный на количественных связях солнечной радиации с продуктивностью фотосинтеза.

Значительная работа проделана по выпуску агроклиматических пособий.

Под руководством Центрального института прогнозов (сейчас Гидрометцентр СССР) опубликовано 125 томов областных агроклиматических справочников, в составлении которых принимали участие многие агроклиматологи Гидрометслужбы. В справочниках впервые по расчетным данным представлены агроклиматические характеристики административных районов вне зависимости от наличия непосредственных наблюдений в их пределах.

Значительно шире использованы агроклиматические закономерности в новом издании этих справочников, методические указания к которым были подготовлены Н. В. Гулиновой и Л. С. Кельчевской. Первые выпуски справочников («Агроклиматические ресурсы области») уже вышли из печати.

Таковы основные итоги развития отечественной агроклиматологии.

Перспективы развития агроклиматологии можно определить следующими основными положениями.

Общий научно-технический прогресс, характерный для нашего времени, обуславливает необходимость коренной перестройки и агроклиматологии. К факторам, стимулирующим и обеспечивающим эту перестройку, следует отнести:

— перестройку общей климатологии, которая из преимущественно описательной науки все более превращается в расчетную

науку, обеспечивающую конечные результаты в виде расчета (прогноза) климата с учетом его колебаний и изменений;

— накопление значительной информации о климате сельскохозяйственных полей;

— оснащение гидрометслужбы электронно-вычислительной техникой;

— повышение и конкретизацию требований к агроклиматологии со стороны сельского хозяйства.

Укрепление экономики сельскохозяйственного производства требует в наше время оптимизации всех процессов сельскохозяйственного производства, что невозможно без правильного учета природной среды и, в первую очередь, климата. С экономической точки зрения нельзя сводить эту важнейшую проблему только к учету влияния климата на количество и качество сельскохозяйственной продукции, хотя последнее, несомненно, является основным. Одновременно все в большей мере придется учитывать влияние климатических условий на техническую сторону сельскохозяйственного производства, которая также существенно зависит от климата. В частности, применительно к растениеводству необходимо учитывать влияние климата на приемы обработки почвы, эффективность удобрений, условия работы сельскохозяйственных машин, хранение и переработку урожая. По-видимому, технологическая сторона сельскохозяйственного производства, как правило, характеризующаяся более четкими количественными показателями, подвергнется в первую очередь климатической стандартизации.

Все большее значение приобретает климатическое обоснование мелиоративных мероприятий, к которым прежде всего следует отнести орошение, осушение, а также различные виды защищенного грунта. Практическое значение последнего должно существенно вырасти, если учитывать темпы промышленного развития северных районов нашей страны.

Оснащение Гидрометслужбы современной электронно-вычислительной техникой способствует развитию новой формы агроклиматического обслуживания сельского хозяйства, которую условно можно назвать экспресс-информацией. Сущность этой формы заключается в сочетании информации о текущей погоде с работой быстродействующих ЭВМ, что позволит обобщить сведения о погодных условиях периода вегетации в считанные дни после ее окончания. Это, в свою очередь, даст возможность оперативно определять роль погоды в отклонениях урожайности от планируемой величины. Полученные данные могут служить основой для объективной дифференциации закупочных цен не только в пространстве (как это делается сейчас), но и во времени.

Оценка степени аномальности погодных условий и тем самым вероятности ее повторения в сочетании с климатическими прогнозами позволит уточнять планирование сельскохозяйственного производства на предстоящие периоды.

Решение указанных задач требует тесного контакта агроклиматологов с широким кругом специалистов других профилей (расте-

ниеводами, почвоведом, механизаторами, программистами, экономистами и т. д.).

Подобное объединение специалистов разных профилей, решающих одну сложную задачу, является характерной особенностью развития современной науки.

В заключение кратко остановимся на агроклиматических исследованиях за рубежом. Здесь прежде всего следует отметить работы итальянского ученого Джироламо Ацци. В 1932 г. была напечатана (в русском переводе) его большая работа «Сельскохозяйственная экология». В этой книге изложены исследования Ацци о закономерностях в отношениях между сельскохозяйственными 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. Вопросами влагообеспеченности растений в различных климатических зонах много занимались Х. Пенман, Прескотт, С. Торнтвейт, Ф. Милторп и ряд других зарубежных исследователей.

После второй мировой войны исследования по агрометеорологии и агроклиматологии стали интенсивно развиваться в социалистических странах, причем идеи и методы исследований советской сельскохозяйственной метеорологии широко используются учеными этих стран.

Еще в начале нашего столетия передовые ученые, понимая исключительное значение агрометеорологии и агроклиматологии для сельского хозяйства любой страны, стремились к международному сотрудничеству. В 1913 г. была создана постоянная комиссия по сельскохозяйственной метеорологии при Международной метеорологической организации. Одним из первых активных членов ее был П. И. Броунов.

Учитывая важность агроклиматических исследований, на четвертой сессии по сельскохозяйственной метеорологии при ВМО (Всемирной метеорологической организации) в 1967 г. была создана специальная рабочая группа по агроклиматологии из ведущих агроклиматологов различных стран. Председателем этой группы был известный советский агрометеоролог В. В. Синельщиков.

В 1967—1973 гг. силами гидрометеорологических служб социалистических стран Европы по общему плану выполняется большая работа по агроклиматическому исследованию и районированию территорий Болгарии, Венгрии, Польши, Румынии, ГДР, Советского Союза и Чехословакии, составляются сводные карты для этих стран, издается агроклиматический справочник.

## Глава II

### ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ КЛИМАТОВ

---

#### § 1. ОСНОВНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ

Исследование климатических ресурсов применительно к разным аспектам сельскохозяйственного производства представляет сложную задачу, так как все компоненты, входящие в нее (живые объекты и климат), характеризуются большой изменчивостью.

Агроклиматология имеет дело со сложной взаимосвязанной динамикой сельскохозяйственных объектов и климата. 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 и другими специалистами, получены ценные сведения об отношении растений к различным климатическим факторам. Многие агроклиматические закономерности базируются на двух законах биологической науки, имеющих исключительное значение, — равнозначности факторов жизни и неравноценности факторов среды. Оба эти закона не противоречат друг другу, так как факторы жизни и факторы среды — разные понятия. По этому поводу Т. Д. Лысенко писал: «Внешняя среда, в которой развивается данное растение, и условия, необходимые растению для прохождения как всего цикла развития, так и отдельных стадий развития, далеко не тождественны».

К факторам жизни растений, по многочисленным исследованиям К. А. Тимирязева, А. Н. Бекетова, В. И. Палладина, 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.

Это положение можно проиллюстрировать следующими двумя примерами. Злаковые растения в период своего развития проходят световую стадию. В зависимости от биологических особенностей

для прохождения этой стадии растениям необходимы определенные условия освещения. Если эти условия отсутствуют, растение не дает урожая, хотя бы все остальные факторы жизни находились в оптимуме. Второй пример. В процессе роста и развития каждое растение нуждается в различных, но вполне определенных уровнях температур. Если необходимый уровень температур не будет достигнут, то растение не получит должного развития и, следовательно, также не будет оптимального урожая.

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, ибо оно помогает разобраться в многообразии и иногда противоречивом воздействии 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 облачность, 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, ибо становятся опасными для жизни растений. Например, необходимо учитывать длительные туманы в период созревания пыльцы, выпадение крупного града, интенсивные суховеи и засухи, губительные заморозки. 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 несколько подробнее факторы, жизненно необходимые для растений.

Для всех организмов воздух — это 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  $\text{CO}_2$  для растений видно из того, что сухое вещество растений состоит на 45—50% из углерода.

Азот ( $\text{N}_2$ ) необходим растениям как элемент питания. Без него не может проходить синтез белковых веществ, а следовательно, не может строиться протоплазма живой клетки. Крупный советский микробиолог В. Л. Омелянский писал: «Азот более драгоценен с общепромышленной точки зрения, чем самые редкие из благородных металлов». Однако азот воздуха могут использовать только некоторые растения, имеющие на своих корнях особые клубеньки с бактериями, которые помогают усваивать молекулярный азот (бобовые, из древесных пород — 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, интенсивности и продолжительности освещения.

Все важнейшие физиологические процессы (прорастание семян, фотосинтез, синтез пигментов, фотопериодизм и пр.) определяются в основном световой частью солнечного спектра. Среди указанных процессов наибольшее значение имеет фотосинтез. Часть спектра солнечного света, непосредственно участвующую в фотосинтезе, называют фотосинтетически активной радиацией (ФАР). Величину ФАР обычно ограничивают пределами длин волн 0,38—0,71 мкм. Физиологическое действие невидимых ультрафиолетовых и инфракрасных лучей менее изучено, хотя отдельные аспекты влияния этих частей солнечного спектра на жизнь растений существенны. Так, Клебс наблюдал, что синие и фиолетовые лучи стимулируют процессы клеточного деления, но задерживают вторую фазу роста клеток — их растяжение. Красные лучи, наоборот, усиливают линейный рост органов растений, в то время как процессы клеточного деления заметно подавлены.

Энергетическая сторона фотосинтеза впервые была рассмотрена великим русским физиологом К. А. Тимирязевым. В настоящее время точными экспериментами 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. Минимальной фотосинтетической активностью обладают зеленые лучи видимой части спектра. Исследование спектральных свойств листьев растений более чем 800 видов показало, что характер поглощения ФАР примерно одинаков у преобладающего большинства растений.

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% уро-

жая сухой массы, однако и оно возможно лишь при наличии фотосинтеза. Сущность положительного влияния минерального питания заключается в увеличении количества образующегося при фотосинтезе органического вещества и связанной в нем ФАР.

Различные составляющие ФАР оказывают разное влияние на качество сельскохозяйственной продукции. Так, сине-фиолетовые лучи способствуют в большей степени образованию белков, красно-оранжевые — углеводов.

Величину поступающей от Солнца ФАР можно рассчитать по данным актинометрических наблюдений. Для этого часто используют формулу

$$\text{ФАР} = 0,43S + 0,57D,$$

где  $S$  — интенсивность прямой солнечной радиации,  $D$  — интенсивность рассеянной радиации.

Величина поглощения растениями ФАР и, следовательно, уровень урожая зависят от многих причин, среди которых большое значение имеет структура посевов.

В неудовлетворительных по структурным особенностям посевах растения поглощают около 20—25% падающей на них ФАР, а используют на фотосинтез лишь 1—2% этой величины. Остальная часть поглощенной ФАР тратится на нагревание растений и связанную с этим усиленную транспирацию. Посевы, по структуре близкие к оптимальным, за вегетацию могут поглощать до 50—60% падающей на них ФАР, но и они обычно накапливают в виде органического вещества всего 2—3% величины поглощенной ФАР.

Таким образом, в настоящее время посевы характеризуются низкими показателями использования ФАР на фотосинтез, что обуславливает относительно невысокие урожаи сельскохозяйственных культур.

Исследованиями доказана связь продуктивности фотосинтеза с интенсивностью освещения внутри травостоя. Прямыми наблюдениями получено, что если на верхней границе травостоя обычно наблюдается достаточная освещенность, то в самом травостое растения нередко испытывают световое голодание. Последнее прежде всего обусловлено нерациональной структурой травостоя (загущением посевов, значительным развитием листовой поверхности и др.).

Изучение механизма фотосинтеза показало, что величину ФАР, используемую на фотосинтез, можно увеличить до 7—8%. Это должно привести к резкому увеличению урожая сельскохозяйственных культур.

В настоящее время намечаются следующие пути увеличения использования ФАР растениями:

- правильный выбор культур и сортов, наиболее подходящих к особенностям ФАР в данном географическом районе;
- определение норм посева и степени загущенности растений с учетом светолюбивости вида и сорта данной культуры;

— создание посевов с определенной геометрической структурой и площадью листьев, обеспечивающей наиболее благоприятные условия поглощения ФАР всей листовой поверхностью фитоценоза;

— формирование оптимальных условий минерального и водного питания растений, способствующих более полному проявлению 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 г.; ими же был предложен указанный термин.

По реакции 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, сорго);

3) растения нейтральные, у которых изменение длины дня (продолжительности освещения) не вызывает заметных изменений в развитии (гречиха, бобы, фасоль).

Следует помнить, что потребность растений в определенной продолжительности освещения проявляется только в стадии развития, которая названа Т. Д. Лысенко световой.

Значительный теоретический и практический вклад в проблему фотопериодизма внес Б. С. Мошков. В его работах рассматриваются практически важные вопросы выращивания сельскохозяйственных культур в условиях искусственного освещения, сделана интересная попытка создать модель фотопериодической реакции растений.

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

Вопрос обеспеченности светом вегетационного периода на территории СССР изучался Г. Т. Селяниновым. На построенной им карте видно, что на севере нашей страны ( $\varphi=70^\circ$ ) продолжительность дня с 17 мая по 28 июля составляет 24 часа, а сумма часов солнечного сияния 500; на юге Украины продолжительность дня в июне 16 часов, а сумма часов солнечного сияния 1500; на крайнем юге Среднеазиатских республик указанные величины соответственно равны 14 и 2000. Следовательно, за период вегетации на территории СССР продолжительность дня уменьшается с севера на юг примерно в 2 раза при возрастании суммы часов солнечного сияния в 4 раза.



Тепло также является необходимым фактором жизни. Давно установлено, что температуры воздуха и почвы, как показатели теплообеспеченности, определяют жизненные процессы, происходящие в растениях. Биофизические и биохимические реакции в организме растений протекают тем быстрее, чем выше температура (разумеется, до определенного уровня). Температура воздуха и почвы определяет темпы развития растений и длительность периода вегетации; кроме того, она является и одним из факторов роста.

В многочисленных работах биологов и агрометеорологов были получены зависимости скорости развития растений от среднесуточных температур воздуха, выявлены пределы температур, вредные для растений. Показано, что на рост и развитие растений большое влияние оказывает суточная амплитуда колебаний температуры: чем она больше, тем в целом 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. Это явление получило название термопериодизма растений. Поскольку потребность в тепле у различных растений и их сортов меняется в больших пределах и сами ресурсы тепла изменчивы в пространстве и времени, в агроклиматологии учету тепла отводится первостепенное место.

Влага — один из основных факторов жизни. Она имеет большое значение для развития растений, однако в наибольшей степени от нее зависят рост и величина урожая.

Избыточное и недостаточное количество влаги вредно сказывается на растениях, ибо в обоих случаях растения не могут полностью использовать ресурсы тепла для накопления своей массы 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 всестороннее изучение их для сельскохозяйственного производства имеет исключительное значение. В агроклиматологии этому вопросу уделяется не меньшее внимание, чем ресурсам тепла.

Учет минерального питания растений не входит в компетенцию агроклиматологии. Однако следует заметить, что дозировка, сроки внесения удобрений и их набор в значительной мере определяются погодными и климатическими условиями. Поэтому исследования по агроклиматическому обоснованию применения удобрений очень важны. Специальных работ по этому вопросу мало; можно назвать лишь книгу М. С. Кулика «Минеральные удобрения и погода» (1966 г.), которая в известной мере восполняет этот пробел.

В заключение заметим, что агроклиматология из всех факторов среды 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 связаны друг с другом, можно утверждать, что при изучении климатических факторов определенным образом рассматриваются и прочие.

## **§ 2. ПОТРЕБНОСТЬ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТА. КЛАССИФИКАЦИЯ РАСТЕНИЙ**

Все растения в процессе исторического развития находились под непрерывным воздействием климатических условий своего места обитания и поэтому приспосабливались 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, умеренной потребностью в тепле, а зимующие — способностью переносить морозы. Разные растения начинают расти и развиваться при разных температурах; при разных суммах тепла у них наступают определенные фазы развития и т. д.

В. И. Мичурин в 1948 г. писал: «...все органические отправления, все составные части каждой формы растений созданы под влиянием климатических условий и их колебаний в границах условий места родины». Этими словами Мичурин подчеркивает решающее значение климатических условий места происхождения растений в формировании их природы.

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.

Еще К. А. Тимирязев в 1897 г. 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».

### **Агроклиматические показатели**

Потребность сельскохозяйственных объектов в климатических условиях среды местообитания за весь период вегетации или за отдельные его отрезки можно выразить количественно через агро-

климатические показатели. Под агроклиматическими показателями понимают количественные выражения связи роста, развития, состояния и продуктивности объектов сельскохозяйственного производства с факторами климата.

Таким образом, агроклиматические показатели могут отражать не только потребность объектов в определенных условиях климата, но и реакцию их на конкретное значение одного климатического элемента или их комплекс.

В агрометеорологической литературе принято разделять показатели сельскохозяйственных объектов на агрометеорологические и агроклиматические. Очевидно, такое разделение условно, так как все показатели отражают взаимосвязь между ростом, развитием и продуктивностью объектов и изменяющимися условиями внешней среды или же они выражают связь между последними и процессами сельскохозяйственного производства.

Различие между агрометеорологическими и агроклиматическими показателями заключается в их целевом назначении. Для текущего оперативного обслуживания используют агрометеорологические показатели, отражающие влияние погоды определенного промежутка времени. При изучении агроклиматических ресурсов применяют агроклиматические показатели, которые получают путем осреднения в многолетнем разрезе за вегетационный период или его интервалы.

Определение и обоснование агроклиматических показателей дано в обширной литературе. Г. Т. Селянинов впервые в мире ввел термин «климатические показатели культур». Он же предложил ряд агроклиматических показателей, которые и сейчас находят широкое применение. К ним следует отнести:

1) сумму активных температур. 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 среднесуточная температура была выше 5, 10 или 15°;

2) гидротермический коэффициент (ГТК), который выражается равенством

$$\text{ГТК} = \frac{\sum O}{\sum t : 10},$$

где  $\sum O$  — сумма атмосферных осадков за определенный период,  $\sum t$  — сумма активных температур за тот же период. Исследованиями Селянинова показано, что знаменатель в формуле ( $\sum t : 10$ ) приближенно равен испаряемости. Поэтому ГТК используется в агроклиматических расчетах как показатель атмосферного увлажнения:

3) средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха и почвы, использующийся как характеристика условий перезимовки растений. Этот показатель рассчитывается как средняя

величина из самых низких годовых температур воздуха или почвы за достаточно длительный интервал времени.

В работах других советских ученых за последние 15—20 лет предложены и другие показатели. Перспективными являются показатели, связывающие урожай определенных культур с климатическими условиями.

В настоящее время для характеристики роста и развития растений используют следующие агроклиматические показатели:

- 1) продолжительность вегетационного периода и его подпериодов;
- 2) суммы температур и средние температуры за вегетационный период или его отдельные отрезки;
- 3) критические (низкие и высокие) температуры, повреждающие растения;
- 4) оптимальные пределы температур, необходимые для нормального роста и развития растений;
- 5) показатели, учитывающие фотопериодизм растений;
- 6) суммы осадков, запасы продуктивной влаги и другие показатели увлажнения почвы;
- 7) показатели устойчивости растений к засухе;
- 8) показатели зимостойкости, холодостойкости и морозостойкости растений;
- 9) показатели интенсивности освещения в растительной среде;
- 10) показатели, связывающие урожай с климатическими элементами.

Кроме этих данных, в агроклиматологии необходимо учитывать жизненный ритм развития растений, характеризующийся такими показателями, как порядок чередования фенологических фаз, время наступления цветения и плодоношения, особенности зимнего покоя и т. д.

В зависимости от конкретных задач, которые поставлены перед исследователем, используются разные показатели. Например, для общего агроклиматического районирования территории часто используются суммы активных температур выше  $10^{\circ}$ , гидротермический коэффициент Селянинова, средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха и др.

### **Методы определения агроклиматических показателей**

Для ряда сельскохозяйственных культур в настоящее время определены многие из указанных показателей. Однако эта работа должна продолжаться в связи с появлением новых сортов, необходимостью более полной и точной оценки продуктивности климата и другими задачами.

Для определения агроклиматических показателей используют разные методы. Не вдаваясь в них детально, отметим лишь те из них, которые получили наибольшее распространение в агроклиматологии.

Метод параллельных, или сопряженных, наблюдений за ростом, развитием и урожайностью культур и сопутствующими им метеорологическими условиями. Накопив за ряд лет материал параллельных наблюдений и соответственно обработав его, можно определить потребность растений в тепле и влаге, их устойчивость к низким температурам и т. д. Основоположником этого метода является П. И. Броунов.

В настоящее время метод широко используется как в Советском Союзе, так и во многих странах мира. Основным его недостатком является длительность времени наблюдений.

Метод географических посевов, по существу являющийся видоизмененным методом сопряженных наблюдений.

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. Собранный материал дает возможность за короткий интервал времени (2—3 года) определить основные агроклиматические показатели. Однако этот метод не учитывает различий свойств почвы и условий фотопериодизма в разных географических пунктах.

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 происходят при разных погодных условиях. Материал наблюдений, собранный за 1—2 года, позволяет определить агроклиматические показатели с меньшей затратой времени по сравнению с предыдущими методами.

Метод обработки статистических материалов по урожайности и сопутствующим им метеорологическим условиям. Этот метод широко использовал в своих исследованиях П. И. Броунов, в результате чего им были найдены «критические периоды» в развитии растений.

Метод лабораторных исследований. Выращивая растения в камерах искусственного климата, экспериментатор может в широком диапазоне задавать различные сочетания метеорологических элементов, получая, таким образом, сведения о биоклиматических характеристиках.

Метод микроклиматических посевов и посадок заключается в том, что одна и та же культура изучается в условиях разного микроклимата двух (или нескольких) рядом расположенных пунктов. Важно отметить, что в этом случае соблюдается сходство общих географических и климатических условий (длина дня, режим ветра, облачность и т. д.).

Результаты применения этого метода позволили Ф. Ф. Давитая сделать вывод, что в течение одной зимы можно получить агроклиматические показатели морозостойкости большого набора субтро-

пических растений (при условии достаточного числа микроклиматических участков).

Метод климатического анализа ареалов произрастания сельскохозяйственных культур (географический метод). Основоположником этого метода является А. И. Воейков.

Сущность метода заключается в том, что в пределах ареала данной культуры сопоставляют развитие и урожайность ее с климатическими ресурсами, рассчитывая таким путем агроклиматические показатели.

### **Классификация растений по требованиям к климатическим условиям**

На основе анализа эмпирического материала и наблюдений других исследователей Г. Т. Селянинов в 1930 г. 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  $10^{\circ}$ ).

Согласно этой классификации (табл. 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 этого вопроса. Однако некоторые важные особенности растений по отношению к влаге и свету им были отмечены.

В этой же работе Селянинов разработал некоторые новые направления развития агроклиматологии как науки. Он считал, что в процессе познания жизни растений исключительное значение имеет географический анализ ареалов сельскохозяйственных культур. Он указывал, что, помимо общей агроклиматической характеристики территории, необходимо давать частные агроклиматические характеристики применительно к отдельным культурам и их группам.

Селянинов неоднократно подчеркивал, что первоочередной задачей агроклиматологии и смежных дисциплин (физиологии, экологии и др.) является определение агроклиматических показателей культур, без которых немыслимы агроклиматические работы.

П. И. Колосков при классификации сельскохозяйственных растений по климатическому признаку считал важным продолжительность вегетационного периода. Указанный признак имеет решающее значение при определении северной границы возможного

Таблица 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°	Степень скороспелости
А	Колебание средней месячной температуры не превышает 5°	Тропические растения Бахчевые	I	0—5°	Холодолюбивые Неизвестные растения из высокогорных зон тропиков	1	1000	Очень скороспелые
						2	1000—2000	Скороспелые
						3	2000	Среднеспелые
	Форма кривой годового хода температуры близка к прямой линии	Кукуруза, сорго, хлопок, кенaf, батат, клещевина, картофель	II	5—10°	Умеренные (картофель)	1	1000—2000	Скороспелые
						2	2000—3000	Среднеспелые
						3	3000	Позднеспелые
		Кукуруза	III	10—15°	Теплолюбивые (кукуруза)	1	1000—2000	Скороспелые
						2	2000—3000	Среднеспелые
						3	3000—4000	Позднеспелые
						4	4000	Очень позднеспелые
		Очень теплолюбивые (огурец, люфа)	IV	15°		1	1000—2000	Скороспелые
						2	2000—3000	Среднеспелые
						3	3000—4000	Позднеспелые
						4	4000—6000	Очень позднеспелые
						5	6000	Непрерывно вегетирующие

Группа	Колебания температуры	Культура	Класс	Уровень температуры начала роста	Характеристика культуры	Форма	Сумма температур выше 10°	Степень скороспелости
Б	Колебание средней месячной температуры в течение вегетационного периода 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
В	Колебание средней месячной температуры в течение вегетационного периода превышает 5° Форма кривой хода температуры вогнутая	Озимые хлеба, капуста, корнеплоды, лук	III	5—10°	Теплолюбивые (подсолнух)	2	1000—2000	Скороспелые
						3	2000—3000	Среднеспелые
						4	3000—4000	Позднеспелые
						1	1000—2000	Очень скороспелые
			I	0—5°	Холодолюбивые (капуста)	2	1000—2000	Скороспелые
						3	2000—3000	Среднеспелые
						1	1000	Очень скороспелые
						2	1000—2000	Скороспелые
			II	5—10°	Умеренные (озимая пшеница)	3	2000—3000	Среднеспелые
						1	1000	Очень скороспелые
						2	1000—2000	Скороспелые
						3	2000—3000	Среднеспелые

Примечание. Названия растений в таблице приведены только для примера.



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. По этому 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, которые могут произрастать в 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. По этому признаку им выделено 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, последнего признака Колосков 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  $5^{\circ}$ , довольно морозостойкие, 6) культуры, которые можно сеять при наступлении среднесуточных температур воздуха  $10^{\circ}$ , переносящие незначительные заморозки, 7) культуры, которые можно сеять при наступлении среднесуточной температуры воздуха  $15^{\circ}$ , не выдерживающие незначительных заморозков.

Кроме этого, в классификации учтена специфическая особенность каждой культуры путем выделения подвидов: а) растения при большой сухости воздуха прекращают вегетацию и погружаются в покой, б) растения, понижающие продуктивность при ярком солнечном свете и пониженной влажности, в) растения, требующие много воды в почве.

В итоге по схеме Колоскова сельскохозяйственная культура в соответствии с ее агроклиматическими показателями может быть описана краткой формулой.

В классификации В. Н. Степанова 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 в тепле небольшая, они могут произрастать при температуре  $3-5^{\circ}$ , затем их потребность в тепле быстро увеличивается. Это растения с длинной световой стадией, обладающие высокой холодостойкостью и зимостойкостью. К ним автор относит рожь, пшеницу, овес, 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 т. д.

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 нуль растений  $3-5^{\circ}$ , II —  $6-8^{\circ}$ , III —  $8-10^{\circ}$ , IV —  $10-12^{\circ}$ , V —  $12-15^{\circ}$ .

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

1. Раса яровых подразделяется на пять подрас по степени выносливости заморозков: от  $-6$  до  $-8^{\circ}$ , от  $-4$  до  $-6^{\circ}$ , от  $-2$  до  $-4^{\circ}$ , от  $-1$  до  $-2^{\circ}$  и от  $0$  до  $-1^{\circ}$ .

2. Раса озимых подразделяется на три подрасы по выносливости низких температур: ниже  $-20^{\circ}$ , от  $-15$  до  $-20^{\circ}$ , от  $-10$  до  $-15^{\circ}$ .

Заканчивается классификация выделением семи групп растений по потребности в тепле, выраженной суммой активных температур более  $10^{\circ}$ , и по длине вегетационного периода (в днях):

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

Используя классификацию Степанова, сельскохозяйственную культуру можно описать довольно подробно небольшим количеством указанных агроклиматических показателей. Например, кукуруза: тип Б, однолетняя, яровая, класс III, раса I (подраса четвертая), четвертая группа по раннеспелым и средним 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 заманчивости и значимости такого комплексного подхода к классификации растений пока 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.

В качестве примера приведем биоклиматическую классификацию растений по требованию к воде, предложенную А. М. Алпатьевым.

Первым и наиболее существенным критерием, определяющим место данного растения в классификационной системе Алпатьева, является суммарная потребность растений 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, существенно дополняющим первый, является ритм развития и роста растений, определяющий скорость потребления влаги.

На основе этих двух критериев Алпатьев 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. § 6, главу II).

Классифицируя растения по потребности в воде на основе продолжительности вегетации и ритма развития, необходимо принимать во внимание возможность количественного изменения этих критериев в различных географических условиях для одного и того же сорта растения. Это должно привести к необходимости перемены места, занимаемого растением в классификации. 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.

В целом вопросы, связанные с классификацией растений по их потребностям в факторах жизни, разработаны еще недостаточно.

### § 3. ПРИНЦИПЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ КЛИМАТА

На Земле существует много разных климатов. Поэтому 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 (Берга, Кеппена, Алисова и др.) не может быть достаточно эффективно использована в сельском хозяйстве. Это прежде всего объясняется тем, что многие важные показатели климата не связаны или мало связаны с объектами и процессами сельскохозяйственного производства. Так, многие классификации в качестве основных учитывают такие показатели, как годовой ход температуры воздуха (и, в частности, зимние температуры), годовую сумму осадков и пр. Однако для яровых культур, использующих лишь летний вегетационный период, эти показатели не имеют существенного значения.

В обоснование этого приведем следующий пример. По классификации Кеппена, широко принятой в различных странах мира, территории Северного Кавказа, Прибалтики и восточной части Украины объединены в один тип климата, для которого характерны равномерное 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 части Украины произрастают более скороспелые культуры. Здесь необхо-

димы более интенсивные агротехнические приемы по накоплению и сохранению влаги в почве.

В Прибалтийских республиках набор культур резко отличается от указанных выше районов, 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.

В 1905—1909 гг. русский ботаник Р. Э. Регель предпринял первую, наиболее серьезную попытку разработать такую схему для ботаники и сельского хозяйства.

Для характеристики климата применительно к сельскому хозяйству он предложил 31 показатель. Из-за громоздкости эта схема не нашла применения. Крупный недостаток ее заключался 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 г. 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 советский климатолог Е. Е. Федоров в 1921 г. разработал новый, комплексный метод оценки климата, который, по его мнению, мог найти широкое применение для сельскохозяйственных целей. Его принципиальная схема заключалась в том, что характеристика климата давалась комплексно — сочетанием метеорологических элементов. Однако оценке климата по сочетаниям элементов свойствен некоторый субъективизм. На практике метод Федорова оказался весьма громоздким и поэтому трудно применимым.

Итальянский агрометеоролог Джироламо Ацци в 1926 г. 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 главнейшим межфазным периодам развития культур с учетом повторяемости климатических характеристик за эти периоды. Недостатком метода является отказ от использования средних климатических величин.

В 1927 г. вышла работа Р. Гейгера «Климат приземного слоя воздуха», в которой, в частности, предлагалось изменить методику наблюдений за метеорологическими элементами для того, чтобы ликвидировать разрыв между данными климатологии и возможностью их использования в прикладных задачах сельскохозяйственного производства. Для этого, по его мнению, необходимо проводить метеорологические наблюдения на высоте растений.

Известны работы Маира, в которых он утверждал, что для решения вопроса о размещении культур и интродукции их в новые районы достаточно найти территории с климатической аналогией, что позволит с успехом возделывать идентичный набор культур и использовать одни и те же приемы земледелия.

Практика сельскохозяйственного производства опровергает утверждения Маира. Так, во Всесоюзном институте растениеводства испытывалась мировая коллекция сельскохозяйственных растений, произрастающих на земном шаре. В результате оказалось, что некоторые культуры горной Эфиопии (например, ячмень и горох) превосходно растут в Ленинградской области. Ячмень из Йемена можно культивировать в умеренной зоне вплоть до полярного круга. Картофель, растение южного происхождения из горных районов Перу и Колумбии, хорошо растет и развивается в нашем умеренном климате. Эти примеры еще раз показывают, что на основе общеклиматических представлений нельзя решать проблемы сельскохозяйственной оценки климатов.

В СССР с 20-х годов интенсивно разрабатываются принципы сельскохозяйственной оценки климатов. Начало им положено работами Г. Т. Селянинова и П. И. Колоскова. Исследования в этом плане далее были продолжены И. А. Гольцберг, Ф. Ф. Давитая, С. А. Сапожниковой, Д. И. Шашко, Ю. И. Чирковым и другими.

При построении схемы сельскохозяйственной оценки климатов советские исследователи исходят из диалектического принципа единства растений и среды, выражающегося в потребности растений в определенных условиях существования и бесспорном положении о том, что отдельные климатические факторы неравноценны по своему значению для сельскохозяйственных растений.

Климатические условия той или иной местности определяются большим числом климатических элементов (температурой и влажностью воздуха, облачностью, давлением, осадками, ветром и т. д.). Те из факторов, которые оказывают существенное влияние на объекты и процессы сельскохозяйственного производства (температура, влага в почве, осадки, свет), в совокупности формируют агроклиматические условия данного района. Прочие факторы (давление, оптические явления и т. д.), не оказывающие существенного влияния на объекты и процессы сельскохозяйственного производства, не относятся к величинам, формирующим агроклиматические условия. Таким образом, между климатическими и агроклиматическими условиями существует определенная разница.

Совокупность агроклиматических факторов, создающих условия для получения определенных величин урожаев сельскохозяйст-

венных культур, составляет агроклиматические ресурсы данной территории.

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

- 1) термических и световых ресурсов вегетационного периода и его подпериодов;
- 2) условий влагообеспеченности вегетационного периода и его подпериодов;
- 3) условий перезимовки растений;
- 4) явлений, неблагоприятных для сельского хозяйства.

Методику процесса исследования 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.

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.

Этап VI. Определяют рентабельность возделывания отдельных культур и их комбинаций на исследуемой территории. Эта заключительная часть исследования может правильно решаться при совместной работе агроклиматологов и работников планово-экономических сельскохозяйственных учреждений.

Необходимо отметить, что при сельскохозяйственной оценке климата, помимо средних многолетних величин, широко применяют и другие показатели. Например, наряду со средними суточными температурами используют дневные и ночные температуры, суточные амплитуды температур, температуру самого холодного и теплого месяцев, суммы температур, вероятность и обеспеченность любых значений температуры при известной ее средней величине и т. д.

Изложенная методика сельскохозяйственной оценки климата позволяет полнее выявить разницу между общеклиматическими и агроклиматическими исследованиями.

В общеклиматических исследованиях при оценке климата данной территории прежде всего исходят из генезиса климата или из заданных градаций определенных метеоэлементов (температуры, осадков и т. д.). По этим признакам выделяют типы, районы, провинции и другие таксономические единицы климатов.

В агроклиматических исследованиях сельскохозяйственную оценку климата дают на основе лишь агроклиматических условий,

оказывающих существенное влияние на жизнь растений и животных.

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

#### **§ 4. ОЦЕНКА ТЕРМИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ**

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

##### **Методы оценки термических ресурсов**

В некоторых работах для оценки теплового состояния воздуха и почвы предложено использовать непосредственно радиационные характеристики, выраженные в тепловых единицах — калориях.

М. И. Будыко, изучая связь радиационного баланса с некоторыми физико-географическими характеристиками, указал на тесную зависимость между радиационным балансом за год и суммой температур выше  $10^{\circ}$ . На рис. 1 приведен график, построенный М. И. Будыко на основании данных большого числа пунктов, расположенных на разных материках земного шара. Позднее подобный график был построен для территории Западной Сибири В. В. Орловой. Графики такого типа показывают, что радиационный баланс хорошо коррелирует с суммой температур воздуха за вегетационный период. Однако эта зависимость проявляется лишь по многолетним данным для станций, расположенных на больших территориях. По отдельным годам для одного пункта эта зависимость не проявляется, т. е. она представляет преимущественно пространственную, а не временную характеристику.

В целом на современном этапе развития агроклиматологии для роста и развития сельскохозяйственных культур величина радиационного баланса и другие радиационные характеристики используются редко. Это можно объяснить двумя главными причинами:

- 1) недостаточностью материалов по радиационным характеристикам как во времени, так и в пространстве по сравнению с материалами стандартных агрометеорологических наблюдений;
- 2) слабой изученностью связей роста и развития сельскохозяйственных растений с радиационными величинами и, как следствие этого, отсутствием агроклиматических показателей, связывающих эти величины.

Среди методов оценки термических условий по температуре среды известен метод американского ботаника и эколога Ливинг-



стона, 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° прирост растений кукурузы составил 0,009 мм/час, при температуре 20,0° — 0,414 мм/час, а при температуре 32,0° — 1,11 мм/час. Принимая прирост при температуре 4,5° условно за термофизиологический индекс, равный единице, и деля прирост при всех других температурах на 0,009 мм/час, Ливингстон получил значение термофизиологических констант (индексов). Так, при 20,0° термофизиологическая константа оказалась равной 46,0, при 32,0° она равнялась максимальному значению — 123,3. Это означает, что при 20,0° прирост кукурузы в 46 раз, а при 32,0° в 123,3 раза больше, чем при температуре 4,5°.

В табл. 2 представлены термофизиологические индексы Ливингстона для различных температур. Из этих данных 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 и 11° одинаковы).

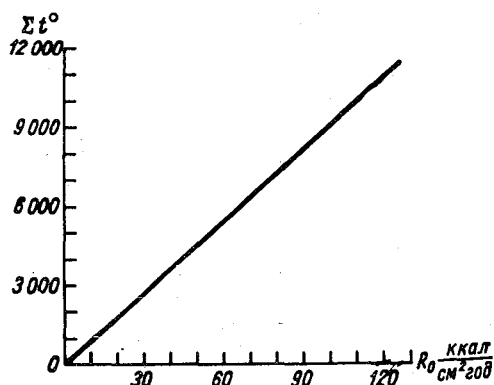


Рис. 1. Связь радиационного баланса за год с суммами температур за вегетационный период.

Таблица 2

Термофизиологические индексы Ливингстона

Температура	Индекс	Температура	Индекс	Температура	Индекс	Температура	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	21,559	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		

Для характеристики термического режима, по Ливингстону, нужно по средним суточным температурам найти термофизиологические индексы и суммировать их за вегетационный период. Эти суммы и должны, по мнению Ливингстона, выражать термические ресурсы территории для растений.

А. В. Федоров отмечает, что по существу метод Ливингстона представляет не что иное, как замену средней суточной температуры воздуха другой термической единицей (сопоставление карт сумм термофизиологических индексов с картами сумм температур за одни и те же периоды показывает, что изолинии на этих картах идут в основном параллельно). К недостатку метода следует отнести тот факт, что термофизиологические константы определены только для прироста проростков кукурузы. Поэтому неправомерно считать, что термофизиологические индексы одинаковы для остальных фаз развития кукурузы и других культур.

Интересный метод оценки тепловых возможностей территории был предложен Д. Ацци в 1926—1927 гг. Потребность в тепле сельскохозяйственных культур Ацци выражает метеорологическими эквивалентами, которым он дал следующее определение: «Метеорологические эквиваленты, как термические, так и плювиометрические, обозначают количество градусов температуры или миллиметров осадков, отличающее 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 и 24°. Это означает, что в данных интервалах средних температур за указанный межфазный период условия для роста и развития пшеницы нормальные, а недостаток тепла при температурах ниже 14° и избыток тепла при температурах выше 24° создают неблагоприятные условия.

Используя найденные метеорологические эквиваленты, Ацци далее оценил климатические факторы и, в частности, тепло для различных культур. С этой целью он составил так называемые климоскопы, которые представляют собой определенным способом обработанные метеорологические данные. Способ обработки заключается в том, что все метеоданные осредняются за соответствующие межфазные интервалы. В табл. 3 представлен климоскоп, составленный по температуре воздуха от колошения до созревания.

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

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

Таблица 3

## 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
1955	13,2	1960	24,9
1956	21,2	1961	21,2

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. Указанную форму записи он предложил назвать формулой климатических условий 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 среды.

Из изложенного следует, что Ацци отказывается от обычных средних величин в климатологии и весь материал метеорологических наблюдений предлагает обрабатывать каждый раз заново для новой культуры. Отметим, что Ацци первый в агроклиматологии для оценки климатических условий применил повторяемость элементов.

В 30-х годах Г. Т. Селяниновым были получены основные агроклиматические характеристики, которые использовались им, а позднее и другими исследователями для агроклиматической оценки термических ресурсов вегетационного периода.

Селянинов 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». (Здесь имеются в виду растения, использующие весь климатически обусловленный вегетационный период.)

Проанализировав многочисленные фенологические наблюдения за полевыми, огородными и многолетними растениями, Селянинов

получил интересные результаты, которые позволили ему утверждать, что за климатологический признак начала вегетации нетребовательных к теплу озимых культур и некоторых других злаков следует принять время устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через  $5^{\circ}$  весной; для среднетребовательных к теплу культур начало вегетации определяется переходом температуры через  $10^{\circ}$ , а для теплолюбивых культур — через  $15^{\circ}$ .

За климатологический признак окончания вегетации следует принять, по Селянинову, соответственно время устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через  $5$ ,  $10$  и  $15^{\circ}$  осенью. Необходимо указать, что в то время, когда Селянинов предлагал вышеуказанные климатические признаки вегетационного периода, еще недостаточно был изучен вопрос о биологическом нуле развития большинства растений.

Одной из важных агроклиматических задач является оценка термического режима упомянутых выше вегетационных периодов. Ф. Ф. Давитая 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 Декан-долем.

Обоснованию применения сумм активных температур в качестве агроклиматического показателя большое внимание уделил Селянинов. Он писал: «Сумму температур за вегетационный период или за какую-либо часть его можно рассматривать как приближенный интеграл всех воздействий термического фактора на растение за период вегетации, как простой и удобный климатический показатель термических ресурсов вегетационного периода... Практика показала, что суммы температур незаменимы при определении вероятного времени наступления биологических явлений. Они еще более незаменимы в сельскохозяйственной климатологии».

Необходимо отметить, что суммы температур как агроклиматический показатель термических ресурсов неоднократно подвергались острой критике 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 и Давитая провели обстоятельное климато-экологическое исследование ряда культур по материалам Всесоюзного института растениеводства. Они пришли к выводу, что в период вегетации растений на терри-

тории СССР и ряда других стран очень редко наблюдаются температуры выше оптимума. По их данным, уровень оптимальных температур для большинства культур достаточно высок и находится в пределах 28—32°.

Давитая, изучая потребность в тепле винограда, выделил по этому признаку пять экологических групп:

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

По его мнению, суммы температур за определенные фенологические периоды характеризуются достаточной устойчивостью. Он пишет: «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 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 18° (473—455°).

Как видно из этих данных, длительность вегетационного периода может изменяться в больших пределах, между тем суммы температур достаточно устойчивы и являются поэтому ценным показателем термического режима.

П. И. Колосков, 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 и агроклиматологии. Однако, по его

мнению, необходимы более детальные и специальные биоклиматические исследования, которые дадут возможность найти более точные константы для отдельных фаз развития растений.

А. А. ШигOLEV при разработке методов прогноза фаз развития культур показал, что в определенных температурных пределах существует прямолинейная связь скорости развития растений с суммами эффективных температур и что суммы температур за межфазные и вегетационные периоды являются хорошими агроклиматическими показателями.

Исследуя колебания сумм температур за вегетационный период яровой пшеницы, Д. И. Шашко заключает, что эти колебания значительно меньше, чем колебания продолжительности межфазных периодов (коэффициент вариации для сумм вдвое меньше, чем для длительности периодов). Это позволило ему сделать вывод, что суммы температур за период вегетации являются более ценными агроклиматическими показателями, чем сама продолжительность периодов.

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 рассчитывать.

Прежде чем перейти к оценке термических ресурсов нашей страны с использованием сумм температур, остановимся несколько подробнее на таком важном вопросе, как потребность растений в тепле.

#### **Потребность растений в тепле и оценка термических ресурсов по температуре воздуха**

Потребность растений в тепле выражают биологической суммой температур, под которой понимают сумму среднесуточных температур воздуха за период вегетации данной культуры от начала роста до созревания в пределах границ ее ареала.

В табл. 4 представлена для основных культур потребность в тепле, выраженная биологическими суммами температур на широте 55°, принятая в настоящее время для практического пользования.

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 55° с. ш. его биологическую сумму температур необходимо уменьшить на соответствующую величину с учетом разницы широт. Если же это растение произрастает южнее 55°, 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 должна быть увеличена на определенное число в соответствии с разницей широт. Так как культуры короткого дня с продвижением к югу ускоряют свое раз-

Таблица 4

Потребность сельскохозяйственных культур в тепле, выраженная  
в биологических суммах температур воздуха

Культура	Скороспелость сортов	Период	Биологический минимум температуры (град.)		Реакция на длину дня (поправка на 1° широты)	Биологическая сумма температур для широты 55°
			начала роста	созревания		
1	2	3	4	5	6	7
Яровая пшеница (мягкая)	Раннеспелые (Гарнет и др.)	Посев — восковая спелость	5	10	—20	1400
	Среднеспелые (Лютесценс 62, Эритросперум 841 и др.)	То же	5	10	—20	1500
	Позднеспелые (Мильтурум 321 и др.)	„	5	10	—25	1700
Яровая пшеница (твердая)	Среднеранние	„	5	12	—15	1500
	Среднеспелые (Месянопус 69, Гордейформе 189 и др.)	„	5	12	—20	1600
	Позднеспелые (Гордейформе 452 и др.)	„	5	12	—20	1700
Ячмень	Раннеспелые (Червонец и др.)	„	5	10	—20	1250
	Среднеспелые (Европеум 353 и др.)	„	5	10	—15	1350
	Позднеспелые (Верхняченский 08, Винер)	„	5	10	—15	1450
Овес	Наиболее раннеспелые (Кюто Тулунский 86/5)	„	5	10	—20	1250
	Среднеспелые (Золотой дождь, Лоховский)	„	5	10	—20	1450
	Позднеспелые (Победа, Советский, Москвский 315)	„	5	10	—20	1550

Культура	Скороспелость сортов	Период	Биологический минимум температуры (град.)		Реакция на длину дня (поправка на 1° широты)	Биологическая сумма температур для широты 55°
			начала роста	созревания		
1	2	3	4	5	6	7
Озимая рожь	Раннеспелые (Омка, Новозыбковская 4)	Посев — восковая спелость	5	10	—30	1300
	Среднеспелые (Воронежская СХИ)	То же	5	10	—30	1350
	Позднеспелые (Вятка, Лисицина)	„	5	10	—30	1400
Озимая пшеница	Раннеспелые (Одесская 3, Новоукраинка 83)	„	5	10	—25	1400
	Среднеспелые (Одесская 12, Ульяновка)	„	5	10	—25	1450
	Позднеспелые (Эритроспермум 917)	„	5	10	—25	1500
Кукуруза	Раннеспелые (Безенчукская, Северодакотская)	Посев — выметывание	10	10	0	1200
		Посев — молочная спелость	10	10	0	1800
		Посев — созревание	10	10	0	2200
	Средние (Гибрид ВИР 25, Миннесота 13, Гибрид Успех)	Посев — выметывание	10	10	0	1400
		Посев — молочная спелость	10	10	0	2100
		Посев — созревание	10	10	0	2500
	Среднепоздние (Стерлинг)	Посев — выметывание	10	10	0	1500
		Посев — молочная спелость	10	10	0	2200
		Посев — созревание	10	10	0	2700



Культура	Скороспелость сортов	Период	Биологический минимум температуры (град.)		Реакция на длину дня (поправка на 1° широты)	Биологическая сумма температур для широты 55°
			начала роста	созревания		
1	2	3	4	5	6	7
Гречиха	Раннеспелые (Белорусская, Казанская)	Посев — восковая спелость	7	10	0	1200
	Среднеспелые (Богатырь)	То же	7	10	0	1300
	Позднеспелые (Большевик)	„	7	10	0	1400
Просо	Раннеспелые (Стахановское 596)	„	10	10	15	1570
	Среднеспелые (Казанское 506)	„	10	10	15	1675
	Позднеспелые (Саратовское 853)	„	10	10	15	1875
Сорго	Раннеспелые (Кубанское 1677)	„	12	12	10	2400
	Среднеспелые (Веничное 623)	„	12	12	10	2500
	Позднеспелые (Сахарное 28/435)	„	12	12	10	2900
Рис	Наиболее ранне- спелые (Кен- дэл, Сантахаз- ский 52)	„	15	15	0	2200
	Раннеспелые (Ка- ратальский 86-79)	„	15	15	0	2500
	Среднеспелые (Ходжа-Ахмат)	„	15	15	12	2820
	Позднеспелые (Узрос 275, Уз- рос 7)	„	15	15	12	3320

Культура	Скороспелость сортов	Период	Биологический минимум температуры (град.)		Реакция на длину дня (поправка на 1° широты)	Биологическая сумма температур для широты 55°
			начала роста	созревания		
1	2	3	4	5	6	7
Горох	Раннеспелые (Капитал)	Посев — созревание	5	10	—10	1250
	Среднеспелые (Виктория Мандорфская, Уладовский 303, Урожайный)	То же	5	10	—6	1400
	Позднеспелый (Виктория розовая 79)	„	5	10	—6	1550
Фасоль	Раннеспелые (Щедрая, Триумф)	„	12	12	0	1500
	Среднеспелые (Бомба белая, Белорусская 288)	„	12	12	0	1700
	Позднеспелые (Белая Канадская, Белая гороховидная)	„	12	12	0	1900
Соя	Наиболее ранние (Амурская 42)	„	10	10	8	2140
	Раннеспелые (Амурская 41)	„	10	10	8	2340
	Среднеспелые (Кубанская 276, Харбинская 231)	„	10	10	12	2560
	Позднеспелые (Гурийская)	„	10	10	12	3060
Бобы	Раннеспелые (Русские черные)	„	7	10	0	1400
Чечевица	Раннеспелые (Омская П-4)	„	5	10	—10	1400
	Среднеспелые (Петровская 4/105, Нарядная)	„	5	10	—6	1500

Культура	Скороспелость сортов	Период	Биологический минимум температуры (град.)		Реакция на длину дня (поправка на 1° широты)	Биологическая сумма температур для широты 55°
			начала роста	созревания		
1	2	3	4	5	6	7
Чина	Раннеспелые (Степная 12, Степная 21)	Посев—созревание	5	10	—6	1600
	Среднеспелые (Шадринская, Степная 240)	То же	5	10	—6	1700
Нут	Раннеспелые (Краснокутский 195)	„	6	12	0	1400
	Среднеспелые (Кубанский 16)	„	6	12	0	1500
	Позднеспелые (Таджикский 10)	„	6	12	0	1600
Люпин	Раннеспелые	„	6	12	—12	1400
	Среднеспелые	„	6	12	—12	1700
	Позднеспелые	„	6	12	—10	2100
Подсолнечник	Раннеспелые (Пионер Сибири)	„	8	10	0	1850
	Среднеспелые (Саратовский 169)	„	8	10	0	2000
	Позднеспелые (Ждановский 8281)	„	8	10	0	2300
Лен масличный	Раннеспелые (Сибиряк, Шатиловская 39)	„	7	10	—6	1450
	Среднеспелые (ВИР 1650, Степной 265)	„	7	10	—6	1550
Лен долгунец	Раннеспелые (1288/12, Победитель)	Посев—полная спелость	7	10	—6	1400
		На волокно	7	10	—6	1000
	Среднеспелые (Прядильщик, Светоч)	Посев—полная спелость	7	10	—6	1500
		На волокно	7	10	—6	1100

Культура	Скороспелость сортов	Период	Биологический минимум температуры (град.)		Реакция на длину дня (поправка на 1° широты)	Биологическая сумма температур для широты 55°
			начала роста	созревания		
1	2	3	4	5	6	7
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 (611)	На волокно	12	15	0	2900
		Посев—раскрытие коробочек	12	15	0	3100
	Среднеспелые (С-450-555)	То же	12	15	0	3400
		„	12	15	0	4000
Огурцы	Ранние	Посев—полные сборы	—	—	0	1200
	Средние	То же	—	—	0	1300
	Поздние	„	—	—	0	1450
Томаты	Ранние	„	—	—	0	1500
	Средние	„	—	—	0	1600
	Поздние	„	—	—	0	1750
Капуста	Ранняя	„	—	—	0	1400
	Средняя	„	—	—	0	1500
	Поздняя	„	—	—	0	1650
Свекла столовая	Ранняя	„	—	—	0	1500
	Средняя	„	—	—	0	1600
	Поздняя	„	—	—	0	1750
Морковь	Ранняя	„	—	—	0	1500
	Средняя	„	—	—	0	1600
	Поздняя	„	—	—	0	1750
Репка	„	„	—	—	0	1000
Картофель	Ранние типа Ранней Розы	Посадка—усыхание ботвы	—	—	0	1400
	типа Курьер	То же	—	—	0	1450

ратурных границ у конкретных сортов и видов растений в течение вегетационного периода.

Исследования в этом направлении были начаты свыше 100 лет назад Ласкаром, Декандолем, Бабине и некоторыми другими учеными. Однако и в настоящее время точная величина оптимальных температурных пределов развития многих растений не установлена.

За биологический нуль развития яровых хлебных злаков Ласкарен (1844 г.) предложил принимать температуру  $5^{\circ}\text{C}$ . Эта величина и ныне считается нижним пределом, организующим развитие большинства культированных и дикорастущих растений. У теплолюбивых культур за биологический нуль принята более высокая температура ( $10-12^{\circ}\text{C}$  у кукурузы, сои, сорго, проса и т. д.). В некоторых случаях предполагается, что величина биологического нуля у всех растений сохраняется на одном уровне в течение всего онтогенеза.

Как показали последние исследования З. Д. Баранниковой, растения в процессе индивидуального развития отличаются разной потребностью в тепле. Поэтому величина оптимальных температурных границ (как верхней, так и нижней) изменяется на каждой стадии развития растений. Невысокие на стадиях яровизации и световой, показатели биологического нуля и оптимальной максимальной температуры, увеличиваясь, достигают своего предела в период формирования генеративных органов (третья и четвертая стадии развития). Характер диапазона эффективных температур, определяемый переменными в онтогенезе значениями биологического нуля и оптимальной максимальной температуры, формируется экологическими условиями среды и биологическими особенностями сорта. Таким образом, для правильного определения сумм эффективных температур необходимо знать изменяемые в онтогенезе оптимальные температурные границы существования данного растения.

Учитывая указанные недостатки метода сумм эффективных температур, в агрометеорологии для характеристики термического режима более часто используются суммы активных температур выше  $5, 10, 12$  и  $15^{\circ}\text{C}$ .

Для оценки общих термических ресурсов используют суммы активных температур выше  $10^{\circ}\text{C}$ , так как при температуре  $10^{\circ}\text{C}$  и выше активно ветрирует большинство растений. Средние многолетние суммы температур подсчитываются графическим методом. Метод расчета изложен в курсе общей климатологии.

Поскольку ресурсы тепла определяются суммами активных температур в пределах  $10^{\circ}\text{C}$ , а потребность растений в тепле выражается биологическими суммами (табл. 5), 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. 2.

Вывод, их биологические суммы в таких случаях следует уменьшать, для чего нужно брать ту же поправку к обратным знакам. Для растений, нейтральных к длине дня, поправка на широту равна 0°. Например, биологическая сумма температур яровой пшеницы сорта Тарнет за период посев—всходовая спелость составляет 1400°. Учитывая поправку для этой культуры на длину дня (—20° на 1° широты), можно определить, что на широте 65° этому сорту за этот же период вегетации потребуются сумма температур 1200°, а на широте 45° — 1600°.

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

Потребность культуры в тепле и ресурса тепла, помимо биологических температур, часто выражают суммами активных и эффективных температур.

Активной называют среднюю суточную температуру воздуха после ее перехода через биологический нуль развития данного растения. Следовательно, для получения сумм активных температур за межфазный период или весь период вегетации необходимо сложить все средние суточные температуры данного периода.

Эффективная температура — это разница между средней суточной температурой и биологическим нулем данной культуры. А. А. Шитов в настоящее время предлагает суммарно эффективных температур как показатель скорости развития растений умеренных широт.

Основная разница между указанными суммами состоит в методе обработки: при подсчете сумм эффективных температур нижний предел развития растений за каждый сутки вычитают из средней суточной температуры, в то время как при подсчете сумм активных температур используют всю величину средней суточной температуры. По сравнению с активными температурами суммы эффективных температур более редки. Основная трудность при использовании сумм эффективных температур заключается в необходимости знать величину оптимальных температур для каждого растения.

В первом случае климатическая поправка равна 0, так как температура начала роста и созревания равна  $10^{\circ}$ , и, следовательно, биологическая сумма совпадает с климатической.

Во втором случае биологическая сумма больше климатической. Это увеличение обусловлено тем, что температура начала роста равна  $5^{\circ}$ , и, следовательно, для приведения необходимо сумму температур, накопившуюся весной за период  $5-10^{\circ}$ , 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  $15^{\circ}$ . Поэтому необходимо определить число дней в периоде от даты перехода через  $15^{\circ}$  до даты перехода через  $10^{\circ}$  осенью

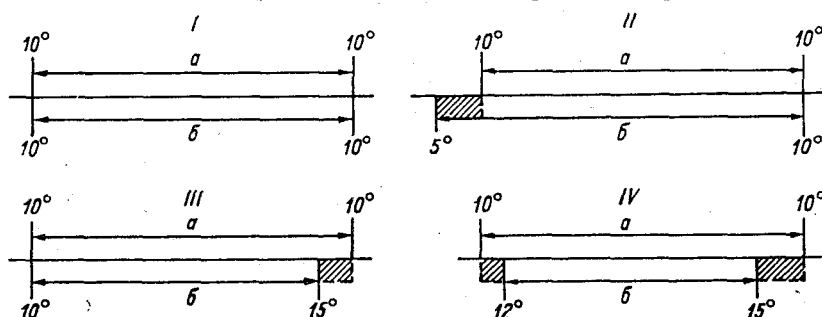


Рис. 2. Возможные варианты при определении климатической разницы в суммах температур.

$a$  — климатическая сумма,  $b$  — биологическая сумма.

и среднюю температуру этого периода. Произведение этих двух величин даст искомую климатическую поправку, которую необходимо прибавить к биологической сумме.

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 поправок в принципе будет таким же, как и в рассмотренных случаях.

Подсчет средних многолетних сумм активных температур делают обычно графическим способом. Для этого строят график годового хода температуры воздуха методом равновесных площадей треугольников (метод гистограммы) или методом биссектрис углов. Подробно эти методы изложены в пособиях по общей климатологии.

Гистограммы дают возможность получить ряд сведений, касающихся оценки термических ресурсов территории. С их помощью можно определить даты перехода температуры воздуха через любые градации ( $5$ ,  $10$ ,  $15^{\circ}$  и т. д.), длину периода с соответствующими температурами, сумму активных и эффективных температур, начало и конец сезонов года, их продолжительность и пр.

На рис. 3 показаны суммы активных и эффективных температур, представленные соответствующими площадями.

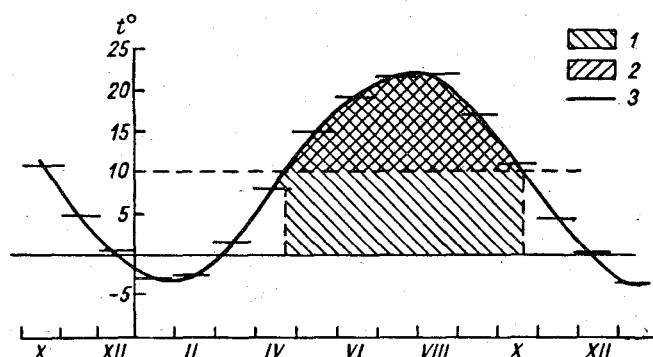
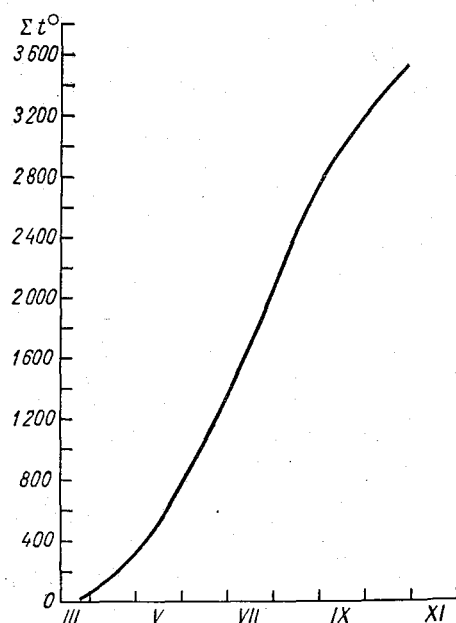


Рис. 3. Годовой ход средней суточной температуры воздуха (ст. Одесса).

1 — суммы активных температур выше 10°, 2 — суммы эффективных температур выше 10°, 3 — кривая годового хода средней суточной температуры воздуха.

Для решения ряда задач в агроклиматологии часто используют метод подсчета сумм температур нарастающим итогом. В табл. 5



представлен подсчет таких сумм для станции Одесса. По данным последней строки этой таблицы построен график нарастающих сумм температур (рис. 4). По подобным графикам можно определить суммарное количество тепла на определенную дату, количество тепла в пределах определенных температур, дату накопления определенного количества тепла и т. д.

Картирование сумм температур позволяет судить о распределении ресурсов тепла по территории. На территории на-

Рис. 4. Средние многолетние суммы активных температур выше 0° нарастающим итогом (ст. Одесса).

шей страны сумма активных температур выше 10° меняется очень резко (рис. 5). На севере (район Дудинка) она менее 500°, а на юге (Средняя Азия) превышает 5000°. В Европейской



Таблица 5

Расчет сумм активных температур выше 10° нарастающим итогом для станции Одесса

Апрель	Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь			Октябрь		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
3																		

Среднедекадная температура воздуха

10,5	12,9	15,0	16,7	18,2	19,2	20,2	21,1	22,0	22,7	22,8	21,7	20,2	18,4	16,7	15,0	13,5	11,6	9,9
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----

Суммы активных температур за декаду выше 10°

76	129	150	184	182	194	202	211	220	250	228	217	222	184	167	150	135	116	40
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----

Суммы активных температур выше 10° нарастающим итогом

76	205	355	539	721	913	1115	1326	1546	1796	2024	2244	2463	2647	2314	2964	3099	3215	3265
----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Примечание. Даты перехода температуры воздуха через 10° весной 23 апреля, осенью — 24 октября.

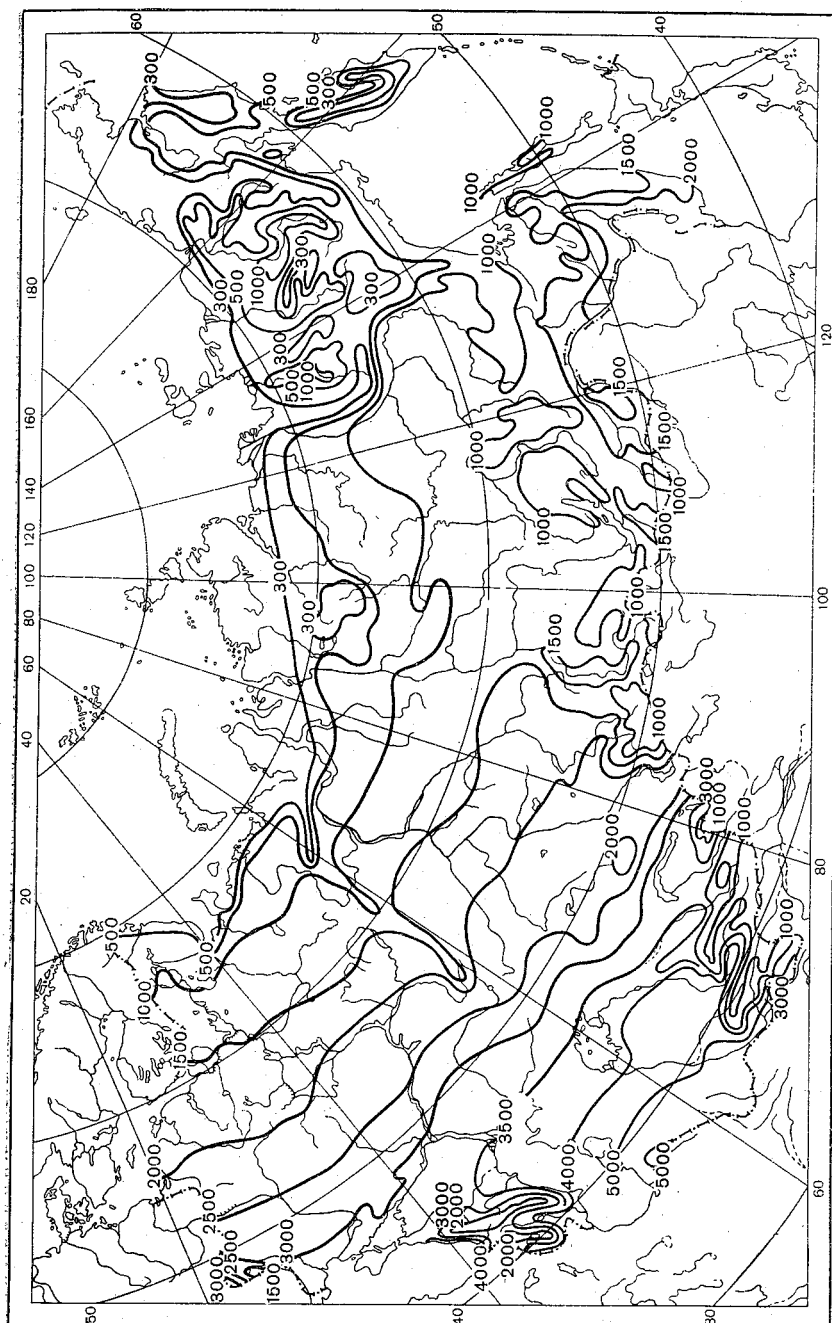


Рис. 5. Карта сумм активных температур выше 10°.

части изменчивость сумм несколько меньшая. Так, на Кольском полуострове сумма активных температур выше  $10^{\circ}$  равна  $600^{\circ}$ , а на юге Одесской области  $3400^{\circ}$ . Приведенная карта отображает средние термические условия. 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.

Для более полной оценки возможности произрастания культур необходимо знать обеспеченность определенных величин сумм тепла в данной местности. Под обеспеченностью в общем смысле понимают суммарную повторяемость всех значений данного элемента выше или ниже определенного предела.

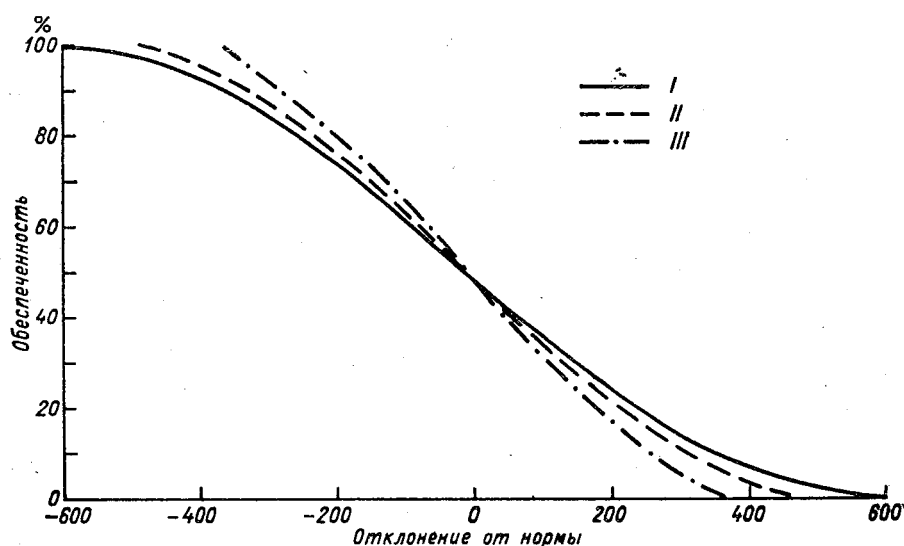


Рис. 6. Кривые обеспеченности вегетационного периода суммой температур выше  $10^{\circ}$ .

I — в климатах неустойчивого типа, II — в климатах устойчивого типа, III — в климатах особо устойчивого типа.

Ф. Ф. Давитая в 30-х годах разработал способ перехода от средних многолетних сумм активных температур к обеспеченности определенных сумм в отдельные годы. Изучая изменчивость сумм активных температур в отдельные годы по данным 44 станций, равномерно расположенных на территории Азии и Европы, он впервые построил кривые обеспеченности сумм активных температур для этих станций и типизировал их.

Последующие исследования вероятностных характеристик сумм температур позволили выделить для территории СССР три типа кривых обеспеченности сумм активных температур за период с температурой выше  $10^{\circ}$ , которые представлены на рис. 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 СССР, в Средней Азии и Западной Сибири, т. е. на большей части Советского Союза.

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 очень крутая.

Погрешность расчетов по указанным кривым не превышает 2—4%, что считается допустимым при решении различных задач в агроклиматологии.

Методы построения кривых обеспеченности подробно изложены в главе VI.

Используя кривые рис. 6, можно определить, какие суммы температур обеспечены в 90, 70% лет и т. д.; или же, зная сумму температур, необходимую для вызревания какой-либо культуры, определить, как часто она может вызревать в данном месте.

Рассмотрим пример.

Для вызревания кукурузы среднеспелого сорта необходима сумма активных температур выше  $10^{\circ}$ , равная  $2500^{\circ}$ . Найти обеспеченность ее теплом в районе Саратова, Актюбинска и Омска, где средняя сумма этих температур соответственно равна 2600, 2700 и  $2000^{\circ}$ .

Прежде всего найдем разницу между суммой  $2500^{\circ}$  и указанными средними суммами:

$$2500^{\circ} - 2600^{\circ} = -100^{\circ},$$

$$2500^{\circ} - 2700^{\circ} = -200^{\circ},$$

$$2500^{\circ} - 2000^{\circ} = +500^{\circ}.$$

По кривой (тип I) рис. 6 определяем обеспеченность вычисленных отклонений, соответственно получая 68, 78 и 1%. Это означает, что в районе Саратова кукуруза данных сортов в 7 годах из 10 обеспечена теплом, а в районе Актюбинска — в 8 годах. В районе Омска кукуруза практически не обеспечена теплом для полного созревания.

Для удобства расчетов, используя кривые обеспеченности, можно составить номограммы или таблицы. Данные табл. 6, например, следует понимать так: при средней сумме  $3600^{\circ}$  последняя изменяется в отдельные годы от 3000 до  $4200^{\circ}$ , т. е. в этом районе не бывает лет с суммой температур менее  $3000^{\circ}$  и более  $4200^{\circ}$ . На 70% обеспечена сумма более  $3500^{\circ}$ , т. е. в 7 годах из 10 в этом районе имеют место суммы температур не ниже указанной величины.

Используя таблицы или графики обеспеченности сумм температур, можно по картам средних многолетних сумм температур, обеспеченность которых равна 50%, построить карты любой другой обеспеченности. Такие карты применяются для агроклиматического районирования сельскохозяйственных культур.

Таблица 6

Обеспеченность сумм температур выше 10° в зависимости от многолетней средней для кривой типа I

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

Например, необходимо на данной территории провести изолинию, которая ограничила бы участок, где созревание данной культуры обеспечено на 80%.

Решить эту задачу можно двумя способами.

*Способ 1.* Составляют карту сумм температур, обеспеченных на 80%. Для этой цели данные на карте средних многолетних сумм температур можно уменьшить на величину отклонений (обеспеченность которых 80%), снимая их с соответствующих графиков обеспеченности. Далее, зная, что для созревания данной культуры необходима, например, сумма температур 1800°, на карте проводят изолинию суммы температур 1800°, которая и будет границей 80%-ной обеспеченности теплом этой культуры.

*Способ 2.* Строят карту обеспеченности по территории суммы температур 1800°. Для этого по данным каждой станции, расположенной на изучаемой территории, определяют, исходя из значений средней многолетней суммы, обеспеченность величины 1800°. Полученные значения обеспеченности наносят на карту и через 10% проводят изолинии. Изолиния со значением 80% будет искомой границей обеспеченности теплом данной культуры.

Принято считать, что обеспеченность культуры теплом порядка 80—90% является хорошей, так как производственный риск в данном случае невелик (10—20%). При обеспеченности культуры теплом на 50—70% необходимо применять значительные меры по улучшению термических условий. Если культура в данных естественно-климатических условиях обеспечена теплом менее чем на 50%, ее возделывание не имеет смысла.

Характеристика термического режима той или иной местности не исчерпывается средними суммами за весь период вегетации и обеспеченностью сумм в отдельные годы. Для решения ряда вопросов необходимо знать, как быстро происходит накопление тепла весной и летом, чему равны суммы температур за отдельные отрезки вегетационного периода.

Ф. Ф. Давитая при изучении характера накопления тепла по территории СССР установил, что развитие весенних, летних и осенних процессов на больших пространствах идет закономерно. Эта закономерность обусловлена макропроцессами: притоком солнечной радиации, циркуляцией атмосферы и особенностями

подстилающей поверхности. Поэтому темп нарастания тепла по территории меняется мало, он лишь сдвигается во времени. Выявленная закономерность позволила Давитая разработать метод построения номограммы накопления сумм температур, который нашел широкое применение. Таблицы, составленные по таким номограммам, помещены в справочниках по климату СССР, вып. 2.

На рис. 7 приведен график-номограмма для районов целинных земель. На этом графике по оси X нанесены месяцы вегетационного периода, а по оси Y — средняя многолетняя температура выше  $10^{\circ}$ . В поле графика проведены изолинии, соединяющие точки одинакового накопления тепла. Изолинии со значением «0» соответствует началу периода с температурой выше  $10^{\circ}$ , а кривая, «закрывающаяся» рисунком справа, — концу этого периода. Графики такого типа можно использовать для решения различных задач.

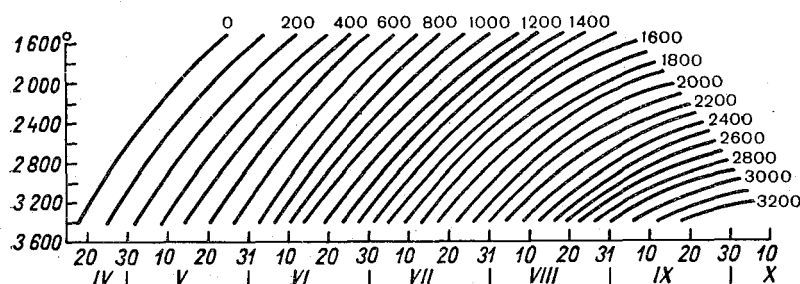


Рис. 7. Сроки накопления сумм температур в зависимости от сумм выше  $10^{\circ}$ .

кающая» рисунок справа, — концу этого периода. Графики такого типа можно использовать для решения различных задач.

*Пример 1.* Необходимо определить, на какое число в районе г. Акмолинска (где средняя сумма более  $10^{\circ}$  равна  $2250^{\circ}$ ) накопится сумма температур выше  $10^{\circ}$ , равная  $1500^{\circ}$ .

На рис. 7 на оси ординат находим сумму  $2250^{\circ}$  и из этой точки восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с кривой, значение которой равно  $1500^{\circ}$ . Из точки их пересечения опускаемся до оси абсцисс и получаем искомую дату — 4 августа.

*Пример 2.* Для созревания среднепоздних сортов кукурузы необходима сумма температур выше  $10^{\circ}$ , равная  $2700^{\circ}$ . Определить, созреет ли кукуруза до заморозков в районе г. Чапаевска (Казахстан), где средняя сумма температур равна  $2900^{\circ}$ , а заморозки в среднем прекращаются 8 мая и начинаются 1 октября.

По графику (рис. 7) находим на оси ординат сумму температур, равную  $2900^{\circ}$ , и определяем, что переход через  $10^{\circ}$  приходится на 25 апреля, а необходимая кукурузе сумма  $2700^{\circ}$  накапливается к 13 сентября. Следовательно, кукуруза успеет созреть до осенних заморозков. Однако весенние заморозки прекращаются примерно через две недели после перехода средней суточной температуры через  $10^{\circ}$ . Поэтому в начальный период вегетации кукуруза будет периодически захватываться заморозками.

Из последнего примера видно, что заморозки могут укорачивать вегетационный период. Вследствие этого для оценки ресурсов тепла (особенно при выращивании теплолюбивых культур) необходимо учитывать даты начала и окончания заморозков и длительность безморозного периода.

Существенной характеристикой термического режима того или иного района является средняя температура самого теплого месяца. Она часто определяет сельскохозяйственные возможности района, набор культур, качество продукции.

В заключение необходимо сказать о том, что агротехнические мероприятия приводят к значительному изменению климата приземного слоя воздуха и почвы, так как под их влиянием формируются особенности микроклимата поля.

Выявлено, что отдельные приемы агротехники могут вызывать увеличение суммы температур на 200—400° по сравнению с суммами температур для обычных условий поля. Указанная изменчивость перекрывает ежегодные изменения, связанные с макропроцессами, поэтому ее следует учитывать в сельскохозяйственной практике. Для этого необходимо определить микроклиматические поправки к суммам температур определенного климатического района и на их величину исправить средние многолетние суммы температур.

Например, в Ленинградской области благоприятные микроклиматические условия, вызванные приемами агротехники или местоположением поля (южный теплый склон), приводят к ежегодному увеличению сумм температур выше 10° на 300—350° по сравнению с полем на ровном и открытом месте. Следовательно, средняя многолетняя сумма температур более 10° в районе Ленинграда, равная 1800°, в условиях благоприятных «теплых» полей увеличивается до 2100—2150°. Эту более точную величину необходимо использовать при решении агроклиматических задач применительно к условиям «теплых» полей.

Таким образом, в современной агроклиматологии оценка термических ресурсов вегетационного периода по температуре воздуха производится на основе многих климатических характеристик, к которым следует отнести средние многолетние суммы температур воздуха выше 5, 10 и 15°, обеспеченность этих сумм и динамику накопления, уровень средних температур воздуха, длительность безморозного периода, микроклиматические поправки и т. д.

### **Оценка термического режима растительного покрова**

Указанные выше показатели и прежде всего суммы активных температур воздуха успешно используются при общем агроклиматическом районировании территории СССР или ее крупных частей. Однако температура воздуха лишь приблизительно характеризует действительные термические условия, создающиеся на поверхности растений и внутри стеблестоя. По данным М. И. Будыко, температура растений даже в условиях климата избыточного увлажнения может отличаться от температуры воздуха (высота 2 м) на величину, сравнимую с географической изменчивостью температуры на расстоянии в несколько сотен километров. Причина этого существенного различия заключается в непосредственном нагреве солнечными лучами самих растений. Поэтому для более точной оценки термических ресурсов следует применять термические показатели самых фитоценозов. Это особенно важно при оценке

термических ресурсов ограниченных территорий (района, отдельного хозяйства), когда необходимо использовать показатели теплообеспеченности, чувствительные к микроклиматической изменчивости температуры на малых расстояниях.

Поскольку агрометеорология сейчас не располагает массовыми материалами наблюдений за температурой растений, последнюю Будыко предложил определять расчетным путем, исходя из следующих соображений.

При наличии сомкнутого растительного покрова листья растений обычно составляют основную часть деятельной поверхности, посредством которой осуществляется теплообмен с атмосферой. При таком допущении можно считать, что средняя температура листьев растений примерно равна температуре поверхности земли. Последнюю можно рассчитать по методу теплового баланса, используя уравнение

$$(\theta_{\omega} - \theta)_{13} = \frac{R - LE - B_{\pi}}{\rho c_p D + 4\delta\sigma\theta^3},$$

где  $(\theta_{\omega} - \theta)_{13}$  — разность между температурой естественной подстилающей поверхности и температурой воздуха на уровне будки в 13 часов,  $R$  — радиационный баланс,  $LE$  — затрата тепла на испарение,  $B_{\pi}$  — теплообмен в почве,  $\rho$  — плотность воздуха,  $D$  — коэффициент диффузии,  $c_p$  — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении,  $\delta$  — коэффициент, характеризующий свойства излучающей поверхности,  $\sigma$  — постоянная Стефана—Больцмана.

Таким образом, по идее Будыко, температуру растительного покрова можно в принципе вычислять по тепловому балансу подстилающей поверхности.

В связи с этим в ГГО была поставлена задача получить массовый расчетный материал по температуре деятельной поверхности и на этой основе построить карты ее распределения. С этой целью Н. А. Ефимова построила серию карт средней температуры деятельной поверхности сомкнутого растительного покрова для каждого месяца теплого времени года. В расчетах величина  $D$  принималась равной 0,63 см/сек. З. А. Мищенко данный метод использовала для детальной агроклиматической оценки термических ресурсов некоторых территорий (на примере Вологодской и Иркутской областей). Подробнее основные положения работы Мищенко рассмотрим в главе IV.

Хотя в большинстве агроклиматических исследований можно ограничиться оценкой средней температуры растительного покрова, в отдельных специальных исследованиях возникает необходимость детального изучения распределения температуры по высоте в пределах стеблестоя. Эта проблема теоретически рассмотрена М. И. Будыко и Л. С. Гандиным. Исследователи исходили из того, что если осреднить метеорологические параметры в растительном покрове по горизонтали, то температуру и удельную влажность воздуха растительного покрова можно считать зависящими только от высоты стеблестоя. В соответствии с этим можно записать урав-



нение теплового баланса для тонкого слоя в растительном покрове в виде равенства

$$dQ - dI = LdE + dp,$$

где  $Q$  — суммарная солнечная радиация,  $I$  — эффективное излучение.

К указанному уравнению следует добавить зависимости членов теплового баланса от определяющих их факторов, а также соотношения, связывающие теплообмен и влагообмен между растительным покровом и межлистным пространством с разностями температур и удельной влажностью на поверхности листьев и в воздухе.

Совместное решение указанных уравнений при определенных граничных условиях позволяет получить нелинейное интегральное уравнение. При решении этого уравнения можно рассчитать значение температуры растений на разных уровнях растительного покрова. Практическое решение указанных уравнений в настоящее время ограничено недостаточной изученностью ряда параметров.

#### § 5. ОЦЕНКА СВЕТОВЫХ РЕСУРСОВ

При оценке действия лучистой энергии на растения учитываются продолжительность освещения, интенсивность и спектральный состав солнечного света. Реакция растений на эти показатели и их физическая сущность изложены в главе II, § 1. Здесь лишь кратко остановимся на количественных определениях некоторых показателей.

Четко выявленная реакция различных экологических групп растений на длину дня определяет продолжительность их фотосинтетической деятельности. Поэтому длина дня широко используется как показатель продолжительности освещения и фотосинтетической деятельности. Для растений длинного дня нормальная продолжительность освещения составляет 15—18 часов, для растений короткого дня — 12—14 часов.

Нередко продолжительность дня вместе с характеристикой термических ресурсов используются совместно в виде комплексного гелиотермического показателя Жеслина. Последний представляет собой произведение суммы температур на длину дня.

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

$$FT = \sum_{t=D_n}^{D_k} [c(\bar{\theta} + \Delta t_{p-v} - \theta_0)] L,$$

где  $D_n$  — дата начала фазы,  $D_k$  — дата конца фазы,  $c$  — коэффициент, учитывающий влияние дневного максимума температуры и тормозящих температур,  $\bar{\theta}$  — средняя суточная температура,  $\Delta t_{p-v}$  — разность температур растений и воздуха,  $\theta_0$  — биологический нуль,  $L$  — множитель, учитывающий влияние длины дня.

Что касается интенсивности солнечной радиации, то в естественных условиях на верхней границе фитоценозов она почти всегда достаточна для оптимальной жизнедеятельности растений в любых широтах. Некоторые изменения в соотношении прямой и рассеянной радиации, наблюдающиеся с изменением широты, не оказывают заметного влияния на темпы развития растений. Поэтому оценка ресурсов интенсивности света применительно к верхней границе фитоценозов обычно не производится. Наблюдениями последних лет показано, что световой режим внутри травостоя может резко меняться (вплоть до светового голодания при загущении посевов). Показатели лучистой энергии применительно к слою, занятому травостоем, пока разработаны слабо.

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

В качестве дополнительного показателя световых ресурсов используют иногда число часов солнечного сияния (за вегетационный период или его части). Этот показатель важен для оценки условий, определяющих качество продукции многих культур. Его также можно использовать для характеристики осенних условий, формирующих зимостойкость растений.

## § 6. ОЦЕНКА РЕСУРСОВ ВЛАГИ

Вода является одним из основных факторов жизни растений. Для эффективного использования земельных ресурсов территории необходим правильный учет ее водных ресурсов. Это требование становится одним из важнейших в настоящее время, когда резко повышается культура сельскохозяйственного производства (система обработки почвы, количество удобрений и пр.) и широко развивается мелиорация земель.

Существенными функциями воды в жизни растений являются ее участие в процессе фотосинтеза, обеспечение терморегуляции растительного организма, перенос элементов питания. Решение проблемы влагообеспеченности растений — задача исключительно трудная, поскольку в процессе питания растений водой, помимо физиологических и физических аспектов, нужно учитывать особенности такой сложной системы, как почва.

Для оценки трудности этой проблемы скажем лишь об одной особенности почвенных процессов: антагонизме воздухо- и влагосодержания почвы. Необходимость газообмена в корневой системе практически исключает возможность использования режима с избыточным увлажнением почвы, при котором потребление воды регулировалось бы самим растением.

В настоящее время нельзя дать определенного ответа на вопрос о наиболее эффективных критериях влагообеспеченности. Фундаментальные теоретические исследования этой проблемы не продвинулись далее полукачественных описаний процесса переноса влаги. Сложность проблемы влагообеспеченности растений привела к появлению различных методов и способов ее решения. Рассмотрим те из них, которые используются наиболее широко.

Учитывая многочисленность методов оценки влагообеспеченности и внутренние связи между ними, разделение их на указанные ниже группы следует считать условным.

### Оценка влагообеспеченности по осадкам

В настоящее время все еще достаточно часто, особенно на практике, в качестве показателя обеспеченности влагой используют

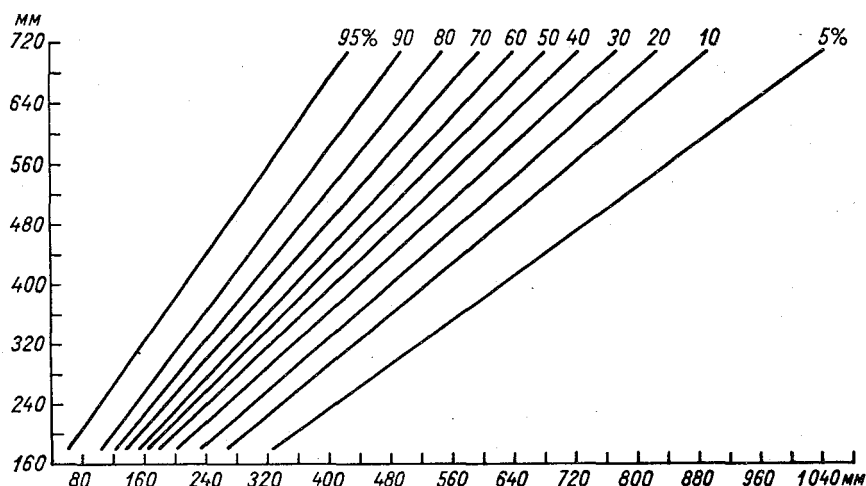


Рис. 8. График для расчета осадков различной обеспеченности в юго-западных областях ЕТС.

количество выпавших осадков, выраженное обычно в миллиметрах слоя воды. Среднее многолетнее количество осадков в данном районе дает представление о 50%-ной обеспеченности этой территории осадками выше или ниже данной величины.

Имеющиеся в климатических справочниках данные о средних многолетних суммах осадков за отдельные месяцы и периоды не могут полностью характеризовать режим осадков, ибо изменчивость осадков в отдельных районах может быть значительной. Например, в Одессе самым влажным (по осадкам) является июнь. В среднем за этот месяц в Одессе выпадает 75 мм, однако в отдельные годы осадков здесь нет совсем, а в другие годы они достигают 200 мм. Поэтому для правильного суждения о влаго-

обеспеченности культур необходим расчет осадков различной обеспеченности. Для этого можно пользоваться графиками А. Н. Лебедева. Образец такого графика приведен на рис. 8.

На графике по оси  $Y$  нанесены средние многолетние суммы осадков за теплый период, по оси  $X$  — возможные суммы осадков в отдельные годы, в поле графиков даны линии различной обеспеченности.

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, что отрицательно сказывается на жизни растений, а в Узбекистане земледелие немыслимо без орошения. Поэтому для более правильной оценки влагообеспеченности необходимо знать потребность растений во влаге и фактическое водопотребление. Сравнение этих двух величин (через разность или отношение) может служить показателем влагообеспеченности данной территории. Необходимо также учесть годового хода выпадения осадков.

#### **Оценка влагообеспеченности по методам, учитывающим основные метеорологические характеристики**

Величина водопотребления сельскохозяйственных культур зависит от многих факторов, основными из которых являются погодные (климатические) условия, биологические особенности культуры и уровень применяемой агротехники. Считая за определенный период времени последнюю величину относительно постоянной, можно полагать, что водопотребление конкретного сорта растения в основном определяется погодными условиями и его биологическими особенностями. Основными метеорологическими факторами, характеризующими потребность растений в воде, являются 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 предлагает рассчитывать оптимальное водопотребление культуры  $E$  по формуле

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

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

Температуру воздуха для расчета оптимального водопотребления культур предлагают использовать также Д. А. Штойко, Г. К. Льгов, Д. Б. Циприс и ряд других исследователей. За рубежом для аналогичных расчетов рекомендуют использовать температуру воздуха (и некоторые другие факторы) Торнтвейт, Блейни и Кридл, Ловри и Джонсон и др.

В Советском Союзе из этой группы эмпирических методов довольно широко распространен биофизический метод, предложенный А. М. Алпатьевым. В качестве основного элемента, определяющего величину оптимального водопотребления (оптимального суммарного испарения), Алпатьев выбрал дефицит влажности воздуха, поскольку он, как функция от температуры и влажности воздуха, является комплексным показателем условий суммарного испарения.

Вторым компонентом в расчетном уравнении является так называемый биологический коэффициент испарения. В физической основе этого коэффициента, по Алпатьеву, «лежит сложившийся в филогенезе наследственный ритм развития растения, связанный с сезонным ритмом климата, ход накопления растительной массы одновременно с качественным изменением самого растения, степень затенения почвы и устойчивость фитолимата». Эти зависимости дают основание полагать, что биологический коэффициент отражает главным образом биологические особенности развития растений. С учетом указанных закономерностей расчетное уравнение имеет вид

$$E = K \sum d,$$

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

Численные значения величины  $K$  получаются путем осреднения за 4—5 лет частных от деления фактических расходов влаги данной культуры на  $\sum d$  за тот же период (при оптимальном увлажнении почвы). Биофизический метод характеризуется достаточной точностью расчета водопотребления растений (ошибка за вегетацию составляет 10—15%, а за месяц — 20—25%), возможностью ретроспективного определения водопотребления за длительный период времени, простотой. Существенно, что этот метод учитывает биологические особенности растений. Эти преимущества привели к использованию биофизического метода не только в Советском Союзе, но и в ряде зарубежных стран (Болгария, Чехословакия и др.).

В изданных в нашей стране новых агроклиматических справочниках «Агроклиматические ресурсы области» (1971—1972 гг.) влагообеспеченность растений рассчитана в целом по методу Алпатьева.

Оптимальное водопотребление (близко совпадающее с испаряемостью или, что то же, с оптимальным суммарным испарением) в справочниках определено по формуле

$$E=0,65 \sum d,$$

здесь  $\sum d$  — сумма дефицитов влажности воздуха, выраженная в мм; 0,65 — биологический коэффициент испарения, принятый Алпатьевым постоянной величиной;  $E$  — потребность в воде данного фитоценоза (оптимальное водопотребление, мм).

Влагообеспеченность растений в справочниках выражена как разность между оптимальным и фактическим испарением. Фактическое испарение  $\sum u$  рекомендовано вычислять по формуле сокращенного водного баланса

$$\sum u = O - C + (w_1 - w_2),$$

где  $O$  — осадки (мм),  $C$  — сток поверхностный (мм),  $w_1$  и  $w_2$  — запасы продуктивной влаги на начало и конец вегетации (мм).

Поскольку поверхностный сток в период вегетации практически бывает мал, им обычно пренебрегают.

Территорию, для которой разность между фактическим и оптимальным испарением не превышает  $\pm 50$  мм, относят к оптимальным условиям увлажнения. Районы с отрицательной разностью более 50 мм отнесены к зоне недостаточного увлажнения, а районы с положительной разностью более 50 мм — к зоне избыточного увлажнения. Абсолютные величины разностей между оптимальным и фактическим водопотреблением в первом приближении можно использовать в качестве климатических показателей оросительных норм в районах орошения и избытка влаги в районах осушения. В этих же справочниках оценка ресурсов влаги дана также через отношение фактического водопотребления к оптимальному водопотреблению. Такое отношение показывает, насколько обеспечена влагой (в процентах) данная культура в рассматриваемом районе по сравнению с величиной оптимального увлажнения.

Следует указать, что в последнее время доказана изменчивость биологических коэффициентов испарения в зависимости от почвенно-климатических условий района местообитания растений. При этом обнаружена тенденция увеличения биологических коэффициентов с ростом широты. Поэтому более точными будут расчеты влагообеспеченности по методу Алпатьева с применением зональных биологических коэффициентов, установленных рядом авторов.

В качестве примера приведем биологические коэффициенты испарения, предложенные С. М. Алпатьевым для Украины (табл 7). В целях совмещения пофазных значений коэффициентов вегетационный период в таблице выражен не временем (декадами), а нарастающей суммой температур воздуха с приведением их к 12-часовой длине светового дня.

В заключение заметим, что все эти методы (А. М. Алпатьева, Шарова и др.) имеют существенный недостаток — в них не учиты-

Таблица 7

Биологические коэффициенты испарения  $K$ 

$\sum t^{\circ}$	Кукуруза	Озимая пшеница	Яровая пшеница	$\sum t^{\circ}$	Кукуруза	Озимая пшеница	Яровая пшеница
0—100	—	0,53	0,27	1500—1600	0,48	0,26	0,30
100—200	0,23	0,53	0,30	1600—1700	0,49	0,23	0,27
200—300	0,25	0,53	0,33	1700—1800	0,49	0,20	—
300—400	0,27	0,52	0,36	1800—1900	0,48	—	—
400—500	0,29	0,51	0,39	1900—2000	0,46	—	—
500—600	0,30	0,50	0,41	2000—2100	0,45	—	—
600—700	0,31	0,49	0,44	2100—2200	0,43	—	—
700—800	0,34	0,47	0,46	2200—2300	0,40	—	—
800—900	0,36	0,45	0,47	2300—2400	0,37	—	—
900—1000	0,38	0,43	0,46	2400—2500	0,35	—	—
1000—1100	0,40	0,42	0,44	2500—2600	0,32	—	—
1100—1200	0,41	0,41	0,43	2600—2700	0,29	—	—
1200—1300	0,42	0,37	0,40	2700—2800	0,28	—	—
1300—1400	0,44	0,34	0,37	2800—2900	0,25	—	—
1400—1500	0,45	0,30	0,34				

вается подпитывание корнеобитаемого слоя за счет грунтовых вод. Поэтому данные методы дают хорошие результаты лишь при глубоко залегании последних (более 3—5 м). Определение же биологических коэффициентов для различных почвенно-климатических условий тоже довольно сложно.

## Оценка влагообеспеченности по условным показателям увлажнения

Рядом авторов предложены условные показатели увлажнения, часто называемые индексами или коэффициентами. В основе большинства коэффициентов лежит положение, согласно которому степень увлажнения территории находится в прямой зависимости от количества осадков и в обратной от возможного расхода влаги растениями (испаряемости). Последняя рассчитывается по температуре, дефициту влажности воздуха или другим параметрам.

Приведем некоторые из показателей увлажнения.

Показатель увлажнения, предложенный Н. Н. Ивановым:

$$k = P/f;$$

здесь  $P$  — осадки за год (мм),  $f$  — испаряемость за год (мм), определенная по испарению с поверхности водоемов (озер).

Показатель увлажнения Д. И. Шашко:

$$Md = P/\sum d,$$

где  $P$  — осадки за год,  $\sum d$  — сумма среднесуточных дефицитов влажности за год (мм), являющаяся показателем испаряемости.

Величина  $Md=0,45$  указывает на соответствие в пределах года осадков и испаряемости; при  $Md>0,45$  осадки превышают испаряемость;  $Md\geq 0,60$  указывает на формирование избыточного увлажнения. Наоборот, величины  $Md<0,45$  являются показателями недостаточного увлажнения;  $Md<0,15$  указывает на крайне засушливые условия.

Поскольку испаряемость существенно зависит от влажности воздуха, П. И. Колосков предложил следующий показатель, характеризующий увлажнение почвы:

$$W=K\frac{P}{E-e};$$

здесь  $P$  — количество осадков,  $E-e$  — дефицит влажности воздуха,  $K$  — коэффициент пропорциональности. Пользоваться формулой Колоскова затруднительно, так как необходимо определять величину  $K$  (по данным влажности почвы).

Показатель увлажнения (гидротермический коэффициент) по Г. Т. Селянинову:

$$\Gamma\text{ТК}=\frac{\sum P}{\sum t:10}.$$

В последнее время М. И. Будыко предложил радиационный индекс сухости  $K$ :

$$K=\frac{R}{Lr},$$

где  $R$  — радиационный баланс,  $L$  — скрытая теплота испарения,  $r$  — годовое количество осадков. Применение этого индекса затруднено ограниченностью данных по радиационному балансу подстилающей поверхности. Однако Будыко показал возможность определения радиационного баланса по суммам температур выше  $10^\circ$ .

Известны также показатели сухости климата В. П. Попова, индекс влажности, предложенный за рубежом Торнтвейтом, и т. д.

Из указанных показателей, представляющих по существу эмпирические зависимости, в Советском Союзе наибольшее распространение получили ГТК (по Селянинову) и показатель увлажнения Шашко. Поэтому остановимся на них несколько подробнее.

Г. Т. Селянинов отмечает большую устойчивость определенных значений гидротермического коэффициента на границах основных природных зон и на географических границах культур. Например, граница леса и степи совпадает с изолинией ГТК за июнь — август, равной 1,0; северная граница пустыни — с изолинией 0,5 и т. д.

В многочисленных агроклиматических работах и справочниках районирование территории по увлажнению и выделение зон проведено по гидротермическому коэффициенту.

Селянинов для упрощенной оценки режима увлажнения внутри вегетационного периода предложил рассчитывать начало и конец засушливых и сухих периодов и их продолжительность. За засушли-



вый период он принял ГТК менее 1,0, а за сухой — менее 0,5. Начало и конец указанных периодов можно рассчитывать по интерполяционной формуле

$$P = \frac{K-b}{a-b} d + 15,$$

где  $K$  — пороговое значение ГТК (1,0 или 0,5),  $b$  — среднее месячное значение ГТК ниже порогового,  $a$  — соответствующее значение ГТК выше порогового,  $d$  — число дней в месяце с ГТК =  $b$ .

Так как условия увлажнения отдельных лет отличаются от средних, наряду со средними значениями ГТК используют временную изменчивость этого коэффициента (табл. 8).

Таблица 8

Обеспеченность ГТК в отдельные годы в зависимости от его среднего многолетнего значения

ГТК (средний)	Обеспеченность в отдельные годы (%)						
	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

В ряде работ ГТК широко использован для оценки влагообеспеченности урожая. Впервые такая связь была установлена С. А. Сапожниковой.

П. И. Колосков и В. А. Смирнова нашли зависимость урожая яровой пшеницы от увлажнения за период апрель — июнь; она приведена в табл. 9. Здесь урожай дан в баллах, которые получены путем пересчета его из абсолютных величин в доли от максимального значения. Данные табл. 9 можно использовать для агроклиматических расчетов обеспеченности урожая влагой при наличии обеспеченности различных значений ГТК, приведенных в табл. 8.

Таблица 9

Изменение урожайности в зависимости от гидротермического коэффициента за период апрель—июнь

ГТК <sub>IV-VI</sub> . . . . .	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

Несмотря на широкое использование показателей Шашко и Селянинова, они имеют определенные недостатки.

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. Поэтому ГТК является хорошим показателем увлажнения лишь в тех районах, для которых характерен однородный тип годового хода осадков. При значительных различиях в годовом ходе осадков необходимо уточнение значений ГТК. В настоящее время такая корректировка проведена Сапожниковой для районов с муссонным климатом (к востоку от Забайкалья).

Вторым существенным недостатком ГТК является то, что в качестве показателя испаряемости используется лишь температура воздуха. Правда, на значительной части территории Советского Союза температура воздуха тесно коррелирует с дефицитом влажности воздуха, более полно 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 годовой ход осадков, так как зимние и летние осадки не равнозначны для растений. Кроме того, при учете годовых сумм осадков показатель Шашко оказывается слишком стабильным во времени и плохо отражает изменения влагообеспеченности вегетационного периода в отдельные годы.

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

$$КУ = \frac{B + P_v}{\gamma \sum T_{10}},$$

где  $B$  — влагозапасы почвы, рассчитанные по зимне-весенним осадкам,  $P_v$  — осадки за период с температурой более  $10^\circ$ ,  $\gamma$  — коэффициент, переводящий  $\sum T_{10}$  в испаряемость по соотношению  $\sum T_{10}$  и  $\sum (E - e)$  с учетом изменения этого соотношения в отдельных районах.

Величины  $B$ ,  $\gamma$ , а следовательно, и КУ подлежат определению в ближайшем будущем.

Поскольку в основе большинства показателей увлажнения находится испаряемость, следует сказать несколько слов о существе этого понятия.

Сравнительно долгое время в качестве испаряемости рассматривалось испарение с водной поверхности, определенное по данным испарителей или малых водоемов. Измеренные таким образом величины испаряемости оказались значительно заниженными по сравнению с испаряемостью растительного покрова. Это занижение в основном объясняется особенностями теплового баланса водной поверхности (проникновением радиации в воду) и связанным с ними изменением режима турбулентного обмена.

В настоящее время большинство исследователей понимает под испаряемостью максимально возможное испарение воды в атмос-

феру при неограниченном притоке ее к испаряющему телу (в том числе и полю). При такой формулировке испаряемость сельскохозяйственного поля представляет собой интегральный показатель, характеризующий весь комплекс условий (почвенных, биологических, метеорологических), который определяет максимально возможное испарение поля. Однако на практике часто за испаряемость принимают данные, полученные на основании конкретной методики определения. Этот прием, естественно, может привести к значительным погрешностям, если учитывать несовершенство многих методик расчета. Примером таких расчетов является рассмотренное выше определение испаряемости по знаменателю ГТК.

#### **Оценка влагообеспеченности по методам, основанным на теоретических положениях**

К числу этих методов прежде всего следует отнести комплексный метод, разработанный М. И. Будыко. Автор рассматривает 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 ниже испаряемости.

Оптимальное водопотребление (потребность растений в воде) 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, Будыко для расчета испаряемости предложил формулу

$$E_0 = \rho D (q_s - q),$$

где  $\rho$  — 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 Будыко необходимо знать величины радиационного баланса, теплообмена, температуры и влажности воздуха, коэффициента диффузии. Л. И. Зубенок, развивая методику Будыко, преобразовала его формулу, в результате чего величину испаряемости для каждого месяца теперь можно определять по среднему месячному значению дефицита влажности воздуха, определенному по температуре воздуха, с учетом поправки, зависящей от характера почвенно-климатических условий (тундра, лес, лесостепь, степь и т. д.).

Расчет испарения (при влагозапасах почвы ниже критических) производится по формуле

$$E = E_0 \frac{w_n + w_k}{2w_0},$$

где  $E$  — испарение (водопотребление культуры в естественных условиях, см),  $E_0$  — испаряемость (см),  $w_n$  и  $w_k$  — влажность почвы в начале и конце расчетного периода,  $w_0$  — критическая влажность метрового слоя почвы (см), равная 70% полевой влагоемкости. При упрощенных расчетах сток воды по поверхности не принимается во внимание (или он считается заданным).

По методу Будыко Л. И. Зубенок и Л. И. Дьяченко построили карты месячных величин испарения для Европейской части Советского Союза. На основе этого метода позже были построены карты испарения и испаряемости для всей территории суши земного шара.

Ресурсы влаги (влагообеспеченность) по методу Будыко могут быть определены как разность между оптимальным и фактическим испарением за тот же период времени. Фактически эта разность при положительном знаке представляет собой климатическую норму орошения (если используются средние многолетние данные).

Предложенный метод, однако, может быть применен и для определения внутригодовой влагообеспеченности отдельных конкретных лет.

Указанная разность оптимального и фактического испарения, являясь размерной величиной, не всегда удобна, особенно при сопоставлении условий увлажнения разных территорий. Для решения последней задачи целесообразнее использовать показатель, представляющий собой отношение фактического испарения к испаряемости. Зубенок рассчитала такой показатель увлажнения для каждого месяца вегетационного периода применительно к территории Советского Союза.

В целом следует отметить, что комплексный метод Будыко, основанный на учете основных факторов, определяющих испарение (радиационного баланса, температуры и влажности воздуха), является одним из методов, наиболее обоснованных физически. К недостаткам метода следует отнести неучет влияния растений и водно-физических свойств почвогрунтов. Для конкретных видов фитоценозов и определенных погодных условий величину коэффициента турбулентной диффузии  $D$  использовать трудно, ибо она определена на основе большого числа осреднений как по территории, так и во времени.

К методам, основанным на теоретических положениях, следует отнести также метод С. И. Харченко. Используя элементы водного и теплового баланса, Харченко для расчета оптимального водопотребления рекомендует формулу

$$E_{\text{оп}} = \frac{\beta(R_0 - P_0)w_{h.n.v.}}{z\gamma},$$

где  $R_0$  — радиационный баланс,  $P_0$  — поток тепла в почву,  $z$  — скрытая теплота испарения,  $w_{h \text{ н. в.}}$  — запасы влаги в расчетном слое почвы при наименьшей влагоемкости,  $\gamma$  — параметр, вычисленный как разность между наименьшей влагоемкостью и влажностью завядания,  $\beta$  — коэффициент, зависящий от фазы развития растений и состояния деятельной поверхности.

Ресурсы влаги, по Харченко, оцениваются коэффициентом влагообеспеченности  $\eta$ , представляющим собой отношение водного баланса корнеобитаемого слоя почвы к оптимальному водопотреблению (испаряемости):

$$\eta = \frac{X + (w_{h \text{ н.}} - w_{h \text{ к.}}) + K_h - I_h - I_{\text{пов.}}}{E_{\text{оп.}}};$$

здесь  $X$  — атмосферные осадки;  $w_{h \text{ н.}}$  и  $w_{h \text{ к.}}$  — 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 пределы корнеобитаемого слоя за счет нисходящего потока);  $I_{\text{пов.}}$  — поверхностный сток;  $E_{\text{оп.}}$  — 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 упростится:

$$\eta = \frac{X + (w_{h \text{ н.}} - w_{h \text{ к.}}) - I_{\text{пов.}}}{E_{\text{оп.}}}.$$

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, Харченко, помимо коэффициента влагообеспеченности, определил средние многолетние недостатки водопотребления для ряда сельскохозяйственных культур, произрастающих на юге ЕТС, в Казахстане и в Западной Сибири. Под этим термином Харченко понимает недостаток влаги корнеобитаемой зоны поля до величины оптимального испарения (водопотребления). Для характеристики недостатков водопотребления в среднесухие климатические годы им построены карты изолиний этих величин 25 %-ной обеспеченности. Установлены также территориально общие зависимости урожая ряда культур от недостатков водопотребления, предложена новая методика расчета основных параметров оросительных систем; на примере отдельных оросительных систем разработаны дифференцированные оросительные нормы.

В целом метод Харченко, 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  $\beta$ , учитывающий фазы развития растений и состояние деятельной поверхности, нуждается в уточнении для ряда культур. Ограничивает применение метода и тот факт, что параметр  $\beta$  определен для сравнительно небольшого числа культур.

Перспективной является оценка водопотребления по радиационному балансу подстилающей поверхности. В условиях континентального климата умеренных широт количество тепла, которое может быть израсходовано на испарение в теплую часть года, меньше величины радиационного баланса за вегетационный период и ближе к его годовой величине. Это положение дало основание Будыко считать, что испаряемость (водопотребление культуры) в целом за вегетационный период с приемлемой для практики точностью можно определить по годовым значениям радиационного баланса.

Обычно тепловой баланс подстилающей поверхности записывается в виде равенства:

$$R = EL + P + A.$$

Многочисленными исследованиями показано, что при больших размерах поля и хорошем увлажнении почвы турбулентным потоком  $P$  и теплообменом в почве  $A$  можно пренебречь, так как они малы по сравнению с затратами тепла на испарение. Тогда в целом за вегетационный период суммарное испарение с хорошо увлажненных (или орошаемых) полей можно определить из равенства

$$E = kR/L,$$

где  $E$  — оптимальное суммарное испарение (водопотребление культуры, мм);  $R$  — радиационный баланс за год (ккал/см<sup>2</sup> год);  $L$  — скрытая теплота испарения;  $k$  — коэффициент, учитывающий биологические особенности культуры (длину вегетационного периода, особенности развития листовой поверхности и т. д.).

Расчеты водопотребления отдельных культур, основанные на данных радиационного баланса, произведены Ю. С. Мельником, В. В. Романовым и другими исследователями. При отсутствии наблюдений по радиационному балансу Мельник рекомендует рассчитывать последний по сумме температур выше 10°, используя зависимость, найденную им для равнинной части ЕТС:

$$R = 0,0121 \sum t_{>10^\circ} + 9,929,$$

где  $R$  — радиационный баланс за год;  $\sum t_{>10^\circ}$  — сумма температур воздуха более 10°. Теснота связи между этими величинами характеризуется коэффициентом корреляции, равным  $0,925 \pm 0,024$ .

Ресурсы влаги (влагообеспеченность территории) Мельник предлагает определять как разность между оптимальным водопотреблением и приходной частью водного баланса, используя равенство

$$Q = E - (P + W_0 + I),$$

где  $Q$  — ресурсы влаги, представляющие собой в засушливых районах оросительную норму;  $E$  — оптимальное водопотребление, опре-

деляемое по  $R$  или по  $\Sigma t_{>10^\circ}$ ;  $P$  — сумма осадков за расчетный период;  $W_0$  — запасы продуктивной влаги в почве к началу сева;  $G$  — количество используемых грунтовых вод.

Важно отметить, что при определении водопотребления растений по суммам температур можно использовать прогнозы теплообеспеченности вегетационного периода для расчета суммарных расходов влаги с орошаемых полей с заблаговременностью 3—4 месяца. Это обстоятельство позволяет корректировать оросительные нормы. Идея использовать прогнозы теплообеспеченности в указанных целях принадлежит Ф. Ф. Давитая. Впервые отдельные аспекты этой идеи были разработаны и реализованы применительно к орошаемым полям Восточной Грузии (Т. И. Турманидзе).

Напомним, что рассмотренный метод можно использовать лишь для достаточно больших по площади и оптимально увлажненных сельскохозяйственных полей. При расчете влагообеспеченности за интервалы времени меньше периода вегетации коэффициент  $k$  необходимо определять дифференцированно (для каждой культуры и отрезка времени).

В целом следует считать, что методы определения водопотребления, основанные на учете одного элемента (в том числе и радиационного баланса), должны давать худшие результаты по сравнению с методами, учитывающими основные факторы водопотребления.

Метод, разработанный А. Р. Константиновым, также оценивает влагообеспеченность как разность между максимально возможным испарением (испаряемостью) и фактическим. 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  $T$  и упругостью пара  $e$ , измеренными на высоте 2 м. По этим данным было определено фактическое испарение луга, которое относят к территории, окружающей метеостанцию.

Для расчета испарения с конкретного сельскохозяйственного поля необходимо воспользоваться второй частью метода 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 Константинов 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 Константинов построил график испаряемости, используя данные оптимального испарения различных культур (кукурузы, клевера, картофеля и др.).

Влагообеспеченность территории оценивается Константиновым через дефицит испарения, представляющий собой разность между испаряемостью и испарением.

Построенный на закономерностях метода турбулентной диффузии, этот метод принципиально отличается от многих подобных расчетных схем тем, что позволяет определять испарение и испаряемость по данным метеостанций без градиентных наблюдений. В практической работе это выгодно проявляется в том, что расчетная схема становится простой и доступной. Вместе с тем методу свойственны крупные недостатки.

До настоящего времени не создана единая теория обмена в приземном слое воздуха, на основе которой можно было бы рассчитывать потоки тепла и влаги над различными видами подстилающих поверхностей при разных сочетаниях температуры и ветра. Адвективные вторжения воздушных масс могут существенно нарушать тесноту связи между температурой и влажностью у подстилающей поверхности и соответствующими величинами на высоте 2 м. Графики, позволяющие переходить от испарения с луга к испарению с других культур, по мнению самого автора, являются сугубо ориентировочными. Число таких графиков весьма ограничено. Возможны значительные ошибки расчетов водопотребления из-за больших ошибок измерения градиентов температуры и влажности воздуха, что составляет основу метода Константинова (как и метода турбулентной диффузии в целом). Автор сравнивал расчетные величины испарения, полученные своим методом, с эталоном, за который он принял гидравлический испаритель большой модели (Валдай). За период вегетации (май—сентябрь) ошибка составила 18% в 1951 г., 22% в 1952 г., 27% в 1953 г., 18% в 1954 г.

Таким образом, метод Константинова как вследствие слабой общей теоретической разработки, так и из-за указанных частных недостатков не может быть рекомендован как достаточно точный, особенно за короткие интервалы времени (меньше месяца).

В работах последних лет Константинов и его сотрудники пришли к недостаточно обоснованному выводу, что величины  $T$  и  $e$  полностью определяют все составляющие теплового и водного балансов (осадки, сток, характеристики почвенного покрова и т. д.). На основании этого они приняли температуру и влажность воздуха за исходные величины для комплексной характеристики агроклиматических ресурсов территории Украины. Несомненно, однако, что указанный тезис не имеет достаточного физического обоснования, поэтому проведенное ими агроклиматическое районирование Украины является недостаточно точным.

#### **Оценка влагообеспеченности по влагозапасам корнеобитаемого слоя почвы**

Многочисленными опытами показано, что нарастание растительной массы и формирование урожая осуществляется лишь за счет влаги, усвояемой растениями. Эта влага, названная поэтому



продуктивной, вычисляется как разность между общим количеством воды в почве и влажностью устойчивого завядания. Количество продуктивной влаги для сопоставимости с осадками и испарением принято выражать в миллиметрах толщины водного 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 может характеризовать действительные ресурсы влаги, находящиеся в распоряжении растений. Недостатком этого показателя является трудность точного определения влагозапасов почвы.

Наиболее распространенным методом определения влажности почвы в настоящее время является термостатно-весовой, основанный на определении количества воды в почве посредством ее высушивания. Основным источником ошибок этого метода является естественная вариация влажности почвы в поле. Результаты опытов, проведенных на орошаемых полях в 1961—1963 гг., позволили Л. А. Разумовой сделать вывод, что для определения влагозапасов орошаемого поля с точностью  $\pm 15$  мм нужно пробурить 3—6 скважин до полива и 4—8 после полива. А. К. Филиппова показала, что при 4-кратном взятии проб на влажность средние ошибки ее определения составляют 2—5 мм для однородных грунтов и 40—45 мм для неоднородных.

Таким образом, применяемая в настоящее время на сети агрометеостанций методика, при которой осуществляется бурение почвы с 4-кратной повторностью, обеспечивает удовлетворительные результаты расчета влагозапасов (и, следовательно, влагообеспеченности) лишь для сравнительно однородных почвогрунтов. При должном увеличении числа повторностей метод дает хорошие результаты и для неоднородных почвогрунтов.

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 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 (НПВ). Для большинства степных и лесостепных районов нашей страны НПВ суглинистых почв при глубоком залегании грунтовых вод соответствует примерно 170—190 мм продуктивной влаги метрового слоя почвы.

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

хорошие 180—160 мм,  
удовлетворительные 160—130 мм,  
недостаточные 130—80 мм,  
плохие и очень плохие 80—50 мм и менее.

Повторяемость указанных градаций 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 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, удовлетворительными — 15—20 мм, плохими — менее 10 мм. В период развития злаков от выхода в трубку до цветения решающее значение приобретают запасы влаги метрового слоя почвы. Они оцениваются по величине продуктивной влаги в метровом слое почвы следующим образом: хорошие — 120 мм и более, удовлетворительные — 120—80 мм, неудовлетворительные (меньше 40—50% НПВ) — 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; 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 нашей страны 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 СССР показано на соответствующих картах ряда атласов.

Динамика годового хода продуктивной почвенной влаги обусловливается прежде всего количеством и распределением во времени осадков и температурным режимом данной территории. Изучение динамики годового хода влажности почв на территории СССР и соответствия особенностей режима влажности потребности во влаге зерновых культур позволило С. А. Веригу выделить на территории нашей страны четыре агрогидрологические зоны: обводнения, капиллярного увлажнения, полного весеннего промачивания и слабого весеннего промачивания (рис. 9).

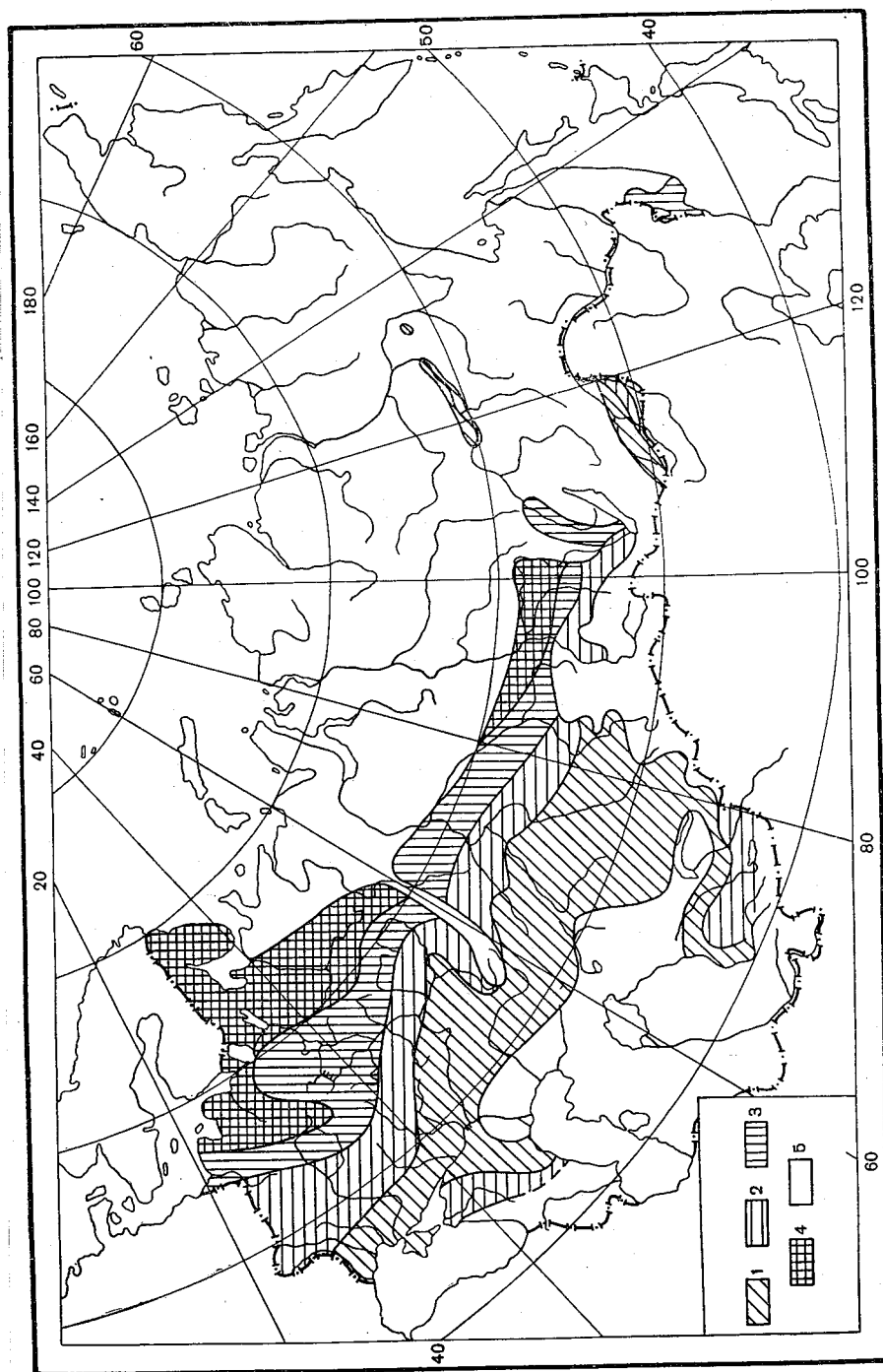


Рис. 9. Агрогидрологические зоны СССР.

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.

*Зона обводнения.* Для почв этой зоны характерно наличие верхней капиллярной каймы грунтовых вод в метровом слое круглый год. Только на 2—3 летних месяца она отрывается от поверхности почвы и располагается на глубине до 50 см. На территории зоны зерновые культуры ежегодно обеспечены влагой. В осенний и весенний периоды наблюдается переувлажнение. Наименьшие запасы влаги метрового слоя не опускаются ниже 150 мм. Здесь в основном необходимы мероприятия по борьбе с избытком влаги.

*Зона капиллярного увлажнения* расположена к югу от зоны обводнения. Динамика годового хода продуктивной влаги в метровом слое характеризуется большими запасами (более 200 мм) в холодную часть года и уменьшением их до 100 мм летом.

Корневая система растений в этой зоне из-за плохой аэрации нижних слоев вследствие переувлажнения развивается только в верхнем слое почвы. Поэтому в отдельные годы, когда сильно пересыхает верхний слой почвы, растения страдают от недостатка влаги.

*Зона полного весеннего промачивания* занимает территорию с выщелоченными черноземами, черноземами мощными и тучными. Грунтовые воды здесь залегают глубоко. Годовой максимум запасов продуктивной влаги приходится на весну, он равен наименьшей влагоемкости (170—200 мм).

Минимальные запасы влаги наблюдаются в конце вегетации зерновых и доходят до 50 мм, а в отдельные годы они еще ниже. Зерновые на этой территории в целом обеспечены влагой. Однако в теплую часть года здесь очень эффективны мероприятия по сохранению влаги в почве.

*Зона слабого весеннего промачивания* занимает юг и юго-восток ЕТС и степные районы Казахстана. Почвы этой зоны при наибольших запасах влаги весной не увлажняются до наименьшей полевой влагоемкости. Поэтому влагообеспеченность зерновых здесь недостаточна. В этой зоне необходимы мероприятия по накоплению и сохранению почвенной влаги. Большой эффект дает орошение.

Заметим, что указанные на рисунке границы агрогидрологических зон относительно схематичны. Вследствие различия в рельефе, почвах, гидрогеологических условиях, а также в результате направленной деятельности человека (главным образом мелиорации) границы зон в естественных природных условиях могут отличаться от указанных. Например, районы капиллярного насыщения глубокими «языками» и «островами» могут заходить на территорию, отнесенную к типу полного и даже слабого весеннего промачивания, располагаясь в понижениях с близким стоянием уровня грунтовых вод.

Возможны значительные отклонения и от агрогидрологических характеристик зон. Так, длительное бездожье может привести к формированию острого недостатка влаги в корнеобитаемом слое в зоне полного весеннего промачивания, для которой в целом характерно достаточное водоснабжение. Осушительные мелиорации

в зоне обводнения, для которой типичен избыток влаги, приводят к необходимости сооружения здесь для отдельных культур систем орошения.

#### Оценка влагообеспеченности с помощью биологических методов

Биологические методы основаны на использовании ряда физиологических показателей: величины транспирации, скорости перемещения сока в стебле, интенсивности фотосинтеза, концентрации и состава клеточного сока и т. д. Экспериментами доказано, что многие физиологические показатели плавно изменяются при изменении количества доступной влаги в почве. Эти закономерности в принципе могут быть использованы для оценки влагообеспеченности растений.

Ряд физиологических показателей (концентрация клеточного сока и др.) можно использовать только с точки зрения сигнализации о физическом состоянии растений. Это означает, что такие показатели могут служить лишь для определения сроков полива.

Отдельные физиологические показатели можно использовать для определения потребности растений во влаге. К таким физиологическим параметрам следует отнести коэффициенты транспирации и водопотребления.

Под коэффициентом транспирации  $K_{тр}$  понимают количество воды, необходимое данной культуре для создания единицы урожая вещества в условиях оптимальной влажности почвы. Величина водопотребления  $E$ , рассчитанная по коэффициенту транспирации, определяется формулой

$$E = (1 + \alpha) N \rho K_{тр},$$

где  $N$  — урожай культуры (т/га),  $\rho$  — коэффициент перевода урожая в абсолютно сухую массу,  $\alpha$  — отношение испарения с почвы к расходу воды на транспирацию,  $K_{тр}$  — коэффициент транспирации.

Под коэффициентом водопотребления  $K_v$  понимают количество воды, необходимое данной культуре для создания единицы урожая. Общее водопотребление культуры за вегетацию при использовании коэффициента водопотребления определяется по формуле

$$E = K_v N,$$

где  $E$  — водопотребление (общее) культуры ( $m^3/га$ ),  $N$  — проектируемый или фактический урожай культуры (т/га). При изменении агротехники в приведенные формулы должен вводиться добавочный коэффициент, характеризующий изменение затрат воды на единицу продукции.

Таким образом, коэффициенты транспирации и водопотребления дают возможность определить общий за вегетацию расход воды при определенной массе урожая. Разность между общим оптимальным расходом воды (формирующим оптимальный урожай) и фактическим расходом характеризует влагообеспеченность

данной территории. Фактические расходы воды наиболее часто определяются методом водного баланса.

В целом следует заметить, что оценке водопотребления по указанным коэффициентам свойственны значительные недостатки. Так, численные значения коэффициента водопотребления и особенно коэффициента транспирации могут резко отклоняться от средней величины (до 100—200%) даже для одного и того же сорта растения. Эти отклонения вызываются изменениями погодных условий, уровня урожая, агротехники и другими причинами. Важным возражением против использования коэффициентов является тот факт, что испарение с поля определяется не величиной растительной массы (при высоких урожаях), а энергетическими ресурсами атмосферы, если воды для растений достаточно. Коэффициенты не содержат в себе элементов времени, поэтому ими оценивается не абсолютная, а относительная потребность растений в воде. Использование коэффициентов не позволяет проследить динамику водопотребления культуры в течение вегетации, что важно для установления правильного водного режима растений. Коэффициенты можно определять лишь экспериментальным путем в конкретных почвенно-климатических условиях.

Вследствие всех этих недостатков коэффициенты транспирации и водопотребления для оценки влагообеспеченности используются в настоящее время ограниченно. Коэффициент транспирации можно применять как показатель пластичности сельскохозяйственной культуры.

## **§ 7. ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ПЕРЕЗИМОВКИ РАСТЕНИЙ**

Успешность возделывания зимующих сельскохозяйственных культур определяется не только агрометеорологическими и агроклиматическими условиями вегетационного периода, но и теми условиями, которые складываются в период перезимовки.

В зимний период на обширной территории Советского Союза 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.

Агроклиматическое изучение зимнего периода имеет также большое значение для животноводства, как стойлового, так (в особенности) и отгонного содержания.

В зимний период на территории нашей страны могут возникать следующие опасные явления:

1) сильный мороз, приводящий к вымерзанию посевов и обмерзанию древесных растений, длительные и глубокие оттепели, обуславливающие уменьшение закалки зимующих культур;

2) ледяная корка, приводящая к повреждению или гибели озимых культур;

3) гололед и другие ледяные отложения на деревьях, вызывающие механическое повреждение ветвей;

4) застой воды на полях с озимыми, обуславливающий их гибель от вымокания;

5) мощный снежный покров, способствующий выпреванию озимых и т. д.

Физическая сущность и условия образования этих явлений рассматриваются в курсе агрометеорологии.

Следует отметить, что не все указанные явления достаточно хорошо изучены, поскольку некоторые из них сложны по своей природе. Также сложна реакция на них зимующих растений, ибо она определяется многими факторами биологического характера.

В различных климатических условиях СССР 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 разные годы и в разные периоды зимы одного года. Это объясняется состоянием растений и их зимостойкостью, сильно изменяющейся в течение зимы и от года к году. Поэтому, прежде чем разбирать 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.

### **Зимостойкость 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, вымоканию, воздействию ледяной корки.

Зимостойкость как 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° (дневная температура порядка 10—15°, а ночная несколько ниже 0°) 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.

Так, по данным Туманова, после прохождения первой фазы закаливания озимые способны выдерживать морозы до  $-10$ ,  $-12^{\circ}$ .

После завершения первой фазы в растениях протекает вторая фаза закаливания, которая заканчивается за 5—7 дней (при морозах от  $-5$  до  $-8^{\circ}$ ). В это время для закаливания растений 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. В результате такого закаливания растения в начале зимы обладают большей способностью противостоять опасным явлениям. Так, озимые могут переносить морозы до  $-20$ ,  $-26^{\circ}$ , а кроны древесных культур — до  $-45$ ,  $-50^{\circ}$  и ниже.

Таким образом, осенние условия имеют большое значение для формирования зимостойкости. Так как погодные условия осенью из года в год резко меняются, то из года в год довольно существенно меняются зимостойкость и морозостойкость одних и тех же сортов сельскохозяйственных растений.

Интересные результаты изучения условий формирования зимостойкости озимых пшениц и ее изменчивости на территории СССР получены Н. Н. Яковлевым. Автор на основе многочисленных исследований показал, что зимостойкость озимой пшеницы существенно изменяется под воздействием осенних и зимних условий, причем резкие колебания урожая этой культуры на территории СССР, как правило, определяются условиями перезимовки.

Зимостойкость плодовых деревьев определяется не только агрометеорологическими условиями осени, но и такими факторами, как величина урожая, время созревания плодов, время опадения листьев и др.

Последние исследования советских физиологов показали, что закаливание многолетних древесных растений также происходит в два этапа. Первый этап (фаза) закаливания благоприятно протекает при температуре воздуха несколько выше  $0^{\circ}$ , а второй — при более низких (отрицательных) температурах.

### **Морозостойкость**

Под морозостойкостью понимают способность растений противостоять низким отрицательным температурам. Многолетними исследованиями Н. А. Максимова и его учеников 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,



подобно зимостойкости, зависит от многих факторов, как внутренних, так и внешних.

К внутренним факторам следует отнести биологические особенности растения и его состояние.

В настоящее время лучше всего изучен вопрос о морозостойкости злаковых и плодовых культур. Это объясняется тем, что наиболее распространенной причиной повреждения и гибели этих культур является вымерзание. Для озимых большое значение имеют сроки сева. Так, при слишком поздних или ранних сроках сева озимые уходят в зиму в первом случае в фазе всходов, а во втором — переросшими (10—12 побегов) и поэтому имеют пониженную морозостойкость. Если же озимые уходят в зиму в состоянии развития 4—6 побегов (что соответствует оптимальным срокам сева), то их устойчивость к вымерзанию повышается.

Под внешними факторами понимают метеорологические условия, среди которых основное значение принадлежит температуре, времени ее воздействия и свету.

Экспериментальные исследования морозостойкости показали, что в отдельные зимы морозостойкость озимой пшеницы сорта Украинка изменяется от  $-15,0$  до  $-20,0^{\circ}$  (табл. 10). Кроме того, она не остается постоянной в течение одной зимы. На рис. 10 показана динамика величины критической температуры озимой пшеницы.

Таблица 10

Максимальная морозостойкость озимой пшеницы Украинка в районе Киева в отдельные годы

Год	Дата	Критическая температура (град.)	Год	Дата	Критическая температура (град.)
1948-49	4 XII	$-19,0$	1952-53	9 XII	$-17,0$
1949-50	6 I	$-16,5$	1953-54	16 I	$-18,5$
1950-51	5 II	$-17,0$	1954-55	19 XII	$-16,0$
1951-52	27 XII	$-15,0$	1955-56	20 XII	$-20,0$

Данные рис. 10 дают представление о динамике критической температуры зимой 1950-51 г. в различных районах Украины для разных сортов озимой пшеницы. Из этого рисунка следует, что наибольшей морозостойкостью в этот период обладала пшеница сорта Лесостепка-75 в районе Глухова, а наименьшей — ОД-3 в районе Одессы. Однако у всех сортов с начала зимы морозостойкость увеличивается, а затем, начиная со второй-третьей декады февраля, падает.

Критическая температура для большинства сортов озимой пшеницы равна  $-16$ ,  $-18^{\circ}$  (на глубине узла кущения).

Большей морозостойкостью обладает озимая рожь, способная переносить температуры до  $-22$ ,  $-24^{\circ}$ , а для особенно устойчивых сортов ржи критической является температура  $-25$ ,  $-30^{\circ}$ .

Согласно исследованиям И. М. Петунина в различных районах страны степень морозостойкости озимой пшеницы разная. В среднем для агроклиматических расчетов ее можно принять равной  $-18$ ,  $-20^{\circ}$  для территории Украины, Белоруссии и северо-западных областей ЕТС;  $-20$ ,  $-22^{\circ}$  для центральной части ЕТС;  $-22$ ,  $-25^{\circ}$  для Поволжья, Заволжья и северных областей Казахстана. Для озимой ржи в указанных районах морозостойкость больше на  $2-3^{\circ}$ .

Анализируя материалы по вымерзанию озимых, Петунин пришел к выводу, что повреждение и гибель озимых наступает после того, как морозы ниже критических температур держатся не менее  $2-3$  суток.

Детальное исследование морозостойкости озимых пшениц, произрастающих на Украине, позволило В. М. Личикаки построить

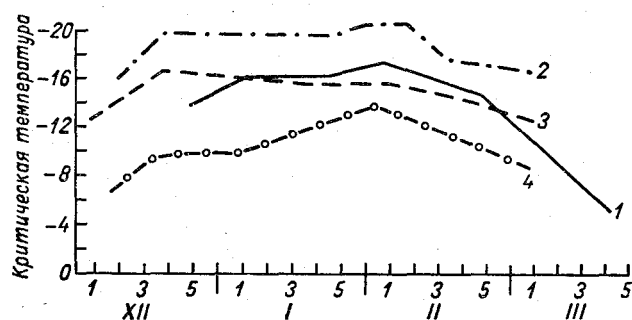


Рис. 10. Динамика критической температуры озимой пшеницы зимой 1950-51 г.

1 — Киев, сорт Украинка; 2 — Глухов, сорт Лесостепка 75; 3 — Полтава, сорт Украинка; 4 — Одесса, сорт ОД-3.

карту средней критической температуры на вторую половину декабря. По этой карте можно оценить морозостойкость озимой пшеницы для разных районов УССР (рис. 11).

Из плодовых семечковых наибольшей морозостойкостью обладает яблоня. Некоторые сорта местной ранетки в условиях Восточной Сибири выдерживают морозы до  $-46$ ,  $-50^{\circ}$ . При благоприятных условиях подготовки к зиме такие нежные сорта яблонь, как Розмарин белый и некоторые другие, выдерживают морозы до  $-34$ ,  $-35^{\circ}$ .

Груши менее зимостойки, чем яблони. Наиболее нежные сорта выдерживают морозы до  $-28$ ,  $-30^{\circ}$ ; более зимостойкие переносят температуру до  $-35^{\circ}$ .

Большинство сортов слив выдерживает морозы до  $-30$ ,  $-32^{\circ}$ .

Для персиков критическая температура доходит до  $-20$ ,  $-28^{\circ}$ , для абрикосов — до  $-25$ ,  $-28^{\circ}$ . Различные сорта винограда могут выдерживать морозы до  $-18$ ,  $-20^{\circ}$ .

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.

В связи с этим следует помнить, что в процессе развития растений жизнь корневой системы плодовых протекала в условиях более мягкого климата почв по сравнению с климатом обитания надземной части. Поэтому морозостойкость корневой системы значительно меньше, чем кроны. Этим можно объяснить, в частности,

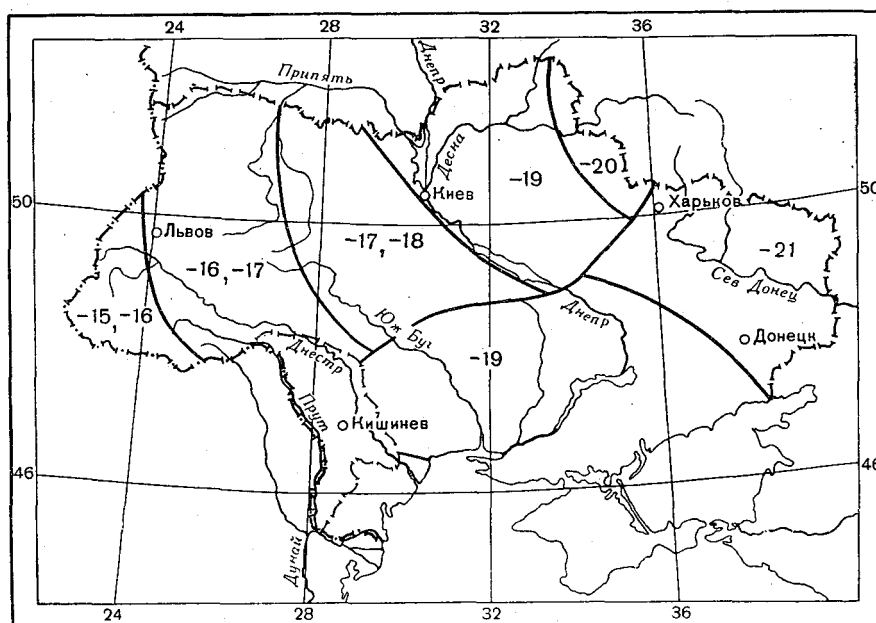


Рис. 11. Карта средней многолетней критической температуры озимой пшеницы на вторую половину декабря.

те известные в практике факты, когда крона оставалась живой, а погибала корневая система растений.

Известны также случаи, когда от морозов погибала крона, а корни оставались неповрежденными вследствие их защиты достаточно мощным снежным покровом и слоем почвы.

На территории СССР случаи гибели корневой системы плодовых нередки. Чаще всего повреждения возникают в районах с недостаточным снежным покровом. Такие случаи неоднократно наблюдались в Ростовской, Саратовской, Куйбышевской, Волгоградской областях и на территории Украины.

Морозостойкость корневой системы также изменяется в течение зимы, причем у разных плодовых она разная. В табл. 11 показано такое изменение морозостойкости корней плодовых.

Таблица 11

Изменение морозостойкости корней некоторых плодовых в течение зимы (град.)

Плодовые	X	XI	XII	I	II	III	IV
Дикая яблоня	-8,5	-9,0	-12,0	-15,0	-15,0	-14,0	-11,0
Дикая груша	-7,0	-7,5	-10,5	-11,0	-11,0	-10,5	-7,0
Дикая вишня	-8,5	-9,0	-12,0	-15,0	-15,0	-13,0	-10,0
Айва	-6,0	-6,5	-10,0	-10,5	-10,5	-10,0	-7,0
Дикий абрикос	-6,0	-7,0	-9,0	-10,0	-10,0	-9,0	-6,5
Алыча	-6,0	-6,5	-9,0	-10,0	-10,0	-9,0	-6,0

Из этих данных видно, что в начале зимы морозостойкость культур сравнительно невысока, затем она увеличивается до максимального значения в январе—феврале и к апрелю уменьшается.

#### Агроклиматическая оценка условий перезимовки растений применительно к территории СССР

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.

Оценка условий перезимовки складывается из характеристики опасных явлений: вымерзания, действия ледяной корки, вымокания и др.

**1. Вымерзание.** Гибель или повреждение растений при вымерзании, как было показано выше, происходит не в результате действия низкого среднего уровня температуры, а действия экстремальной температуры (температуры несколько ниже критической величины). Последняя (т. е. критическая температура) различна для разных экологических групп и сортов растений. Поэтому в качестве одного из основных показателей условий перезимовки применительно к вымерзанию культур используют не средние температуры самого холодного месяца, а средние величины абсолютных годовых минимумов температуры воздуха и почвы. Этот показатель впервые был предложен Г. Т. Селяниновым.

Для почвы минимум температуры определяется на двух горизонтах: на глубине 3—5 см (для характеристики термического режима озимых) и на глубине 20—40 см, в пределах которой располагается основная масса корней кустарников и деревьев.

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

Обычно для изучения 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 (близость моря, форму рельефа и т. д.). Можно построить карту любой обеспеченности абсолютных минимумов (например, 80% обеспеченности) или же построить карты



Рис. 12. Средний из абсолютных минимумов температуры почвы на глубине 25 см.

Если по картам или кривым обеспеченности получено, что вымерзание кукурузы в данном месте будет наблюдаться 3 раза в 10 лет, означает ли это, что и частота потери урожая будет в 3 годах из 10?

Исследуя этот важный вопрос, Давитая указывает, что для зимующих злаков частота вымерзания равна частоте потери урожая. Для многолетних же культур такой закономерности нет, так как частота потери урожая находится в зависимости от характера погибших органов. Эта идея впервые была высказана Г. Б. Надарая, который подтвердил ее на примере культуры лимонов. Лимоны, вступившие в пору плодоношения (возраст 5 лет и более), повреж-

этого, за границу возможного возделывания культуры винограда без укрытия на зиму принята изолиния указанного показателя, равная  $-15^{\circ}$ . Граница наиболее морозостойких субтропических культур (инжир, хурма и пр.) определяется изолинией  $-10^{\circ}$ , цитрусовых (мандарины)  $-5^{\circ}$  и т. д.

Общая характеристика условий перезимовки плодовых деревьев в зависимости от средних значений абсолютного минимума температуры воздуха  $\bar{T}_{\text{мин}}$  для территории Советского Союза дана в табл. 12.

Таблица 12

Условия перезимовки плодовых деревьев в СССР

Тип зимы (по средним многолетним данным)	$\bar{T}_{\text{мин}}$ СССР	Вероятность зим с $T_{\text{мин}} < -30^{\circ}$ (%)	$T_{\text{мин}}$ Дальний Восток	Культуры, обеспеченные благоприятной зимовкой
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, хладостойкие сорта персиков
Умеренно холодная	$-25, -30$	10—50	—	Среднехладостойкие сорта яблонь, груш и слив, хладостойкие сорта абрикосов
Холодная	$-30, -35$	50—70	$-25$	Среднерусские и мичуринские сорта яблонь, груш; абрикосы более хладостойких сортов
Очень холодная	$-35, -40$	70—100	$-25, -30$	Хладостойкие сорта яблонь, вишен, слив
Суровая	$-40, -45$	100	$-30, -40$	Яблони ранетки, более хладостойкие сорта вишен и слив, стелющиеся и приколочные формы яблонь
Очень суровая	$< -45$	100	$-40$	Наиболее хладостойкие формы тех же культур с применением специальной агротехники

В таблице выделено восемь типов зимы — от очень мягкой ( $\bar{T}_{\text{мин}} > -10^{\circ}$ ) до очень суровой ( $\bar{T}_{\text{мин}} < -45^{\circ}$ ). Помимо средних значений абсолютных годовых минимумов температуры воздуха, в таблице приведена повторяемость зим с абсолютным минимумом ниже  $-30^{\circ}$ . Последняя величина опасна для большинства плодовых деревьев. Для Дальнего Востока дана специальная графа с более высокими температурами, учитывающая специфику кли-

даются, по Надарая, низкими температурами следующим образом:

- 1) гибель листьев наблюдается при  $-6^{\circ}$ , что приводит к потере урожая в последующем вегетационном периоде;
- 2) отмерзание части кроны происходит при  $-7, -8^{\circ}$ , что приводит обычно к потере урожая в двух последующих годах;
- 3) гибель всего дерева наблюдается при температуре  $-9^{\circ}$  и ниже, что обуславливает потерю урожая на 4 года (требуется полное восстановление плантации).

Следовательно, для многолетних древесных культур задача оценки повреждаемости и потери урожая от низких температур воздуха значительно усложняется.

Изучением условий вымерзания растений применительно к их корневой системе занимались многие исследователи. Давитая, например, показал, что средний из абсолютных годовых минимумов температуры почвы на глубине 20—25 см является показателем условий перезимовки корневой системы многих древесных растений и, в частности, винограда. Им была составлена карта среднего из абсолютных минимумов температуры почвы на глубине 25 см для ЕТС (рис. 12) и график кривой обеспеченности абсолютных минимумов в отклонениях от средней ( $\Delta t$ ), который можно использовать для определения вероятности наступления любых значений низких температур в почве (рис. 13).

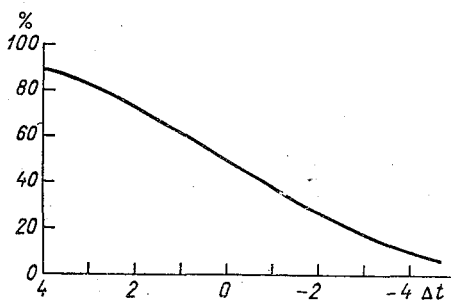


Рис. 13. Кривая обеспеченности абсолютных минимумов температуры почвы на глубине 25 см.

Исследуя условия перезимовки озимых на юго-востоке ЕТС, В. А. Моисейчик построила графики, представленные на рис. 14.

Изучая климаты почв и условия перезимовки озимых на территории СССР, А. М. Шульгин выделил семь районов с различными типами зимы (табл. 13). Средний из абсолютных годовых минимумов температуры почвы для указанной территории на глубине 3 см изменяется от  $-4$  до  $-32^{\circ}$ .

В целом в главнейших районах сева озимых (Европейская часть СССР) создаются довольно благоприятные условия перезимовки, а в Заволжье и Казахстане — весьма напряженные.

Для количественной оценки условий вымерзания В. М. Личикаки предложил коэффициент морозоопасности, представляющий отношение минимальной температуры почвы на глубине 3 см к критической температуре вымерзания растений. Им же найдена связь между коэффициентом морозоопасности и гибелью озимой пшеницы от вымерзания. Используя эти данные, Личикаки составил агроклиматическую карту вероятности гибели пшеницы от вымерзания для территории Украины.

Оценка климатических условий перезимовки озимых культур по температуре почвы на территории СССР

Тип зимы	Условия перезимовки озимых культур	Абсолютный минимум температуры			Вероятность температуры в отдельные зимы (%)			
		средний	наибольший	наименьший	выше —5°	—5, —15° (оптимальные условия)	ниже —16°	ниже —20°
Очень мягкая	Отличные	—4, —8	—1, —3	—11, —14	10—20	80—90	—	—
Мягкая	Хорошие	—8, —12	—1, —8	—12, —20	5—10	70—90	5—20	5
Умеренно холодная	Удовлетворительные	—12, —16	—2, —10	—20, —22	—	50—80	20—50	5—20
Холодная	Ниже удовлетворительных	—16, —20	—10, —15	—20, —30	—	20—50	50—80	20—50
Очень холодная	Плохие	—20, —24	—12, —17	—25, —30	—	10—20	80—90	50—70
Суровая	Плохие	—24, —25	—15	—30	—	—	100	70—80
Очень суровая	Плохие	—28, —32	—15	—35	—	—	100	100

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



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° осенью) накопилась сумма эффективных средних суточных температур 300° (при условии достаточного увлажнения). Предельно ранним будет тот срок сева, который обеспечил накопление сумм температур порядка 600° и появление 10—12 побегов; предельно поздним следует считать тот срок, после которого накапливается сумма эффективных температур порядка

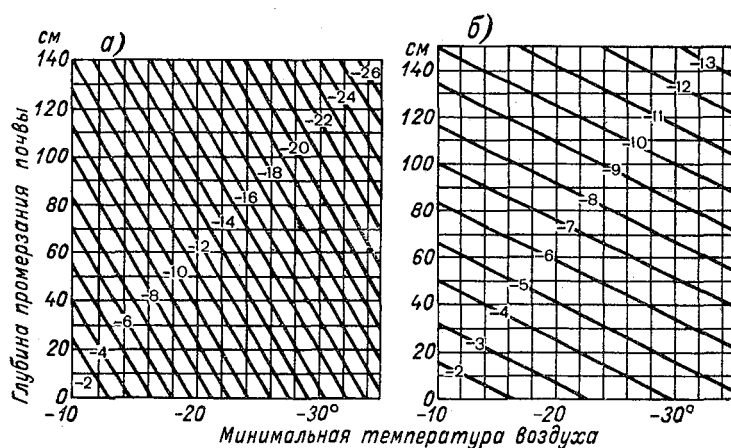


Рис. 14. Зависимость минимальной температуры почвы на глубине узла кущения озимых от минимальной температуры воздуха и глубины промерзания почвы при высоте снежного покрова 5 см (а) и 10 см (б).

130°, еще обеспечивающая всходы и начало кущения. При оптимальном сроке сева у озимой пшеницы ко времени прекращения осенней вегетации появляется 4—6 побегов.

По данным В. И. Степанова, на северной границе возделывания озимых сеять начинают в среднем в первой пентаде августа, на юге Украины — 15—20 сентября, на юге среднеазиатских республик — 25 октября.

В южных районах нашей страны даже в среднем многолетнем увлажнение пахотного слоя недостаточное, поэтому осеннее развитие озимых задерживается. В таких районах для определения оптимальных сроков сева используют графики или формулы Е. С. Улановой, отражающие зависимость продолжительности периодов посев—всходы и всходы—кущение от запасов продуктивной влаги в почве.

Формулы имеют вид:

$$n_1 = \frac{74,2}{W^{0,74}} \text{ и } n_2 = \frac{93,4}{W^{0,64}},$$

где  $n_1$  — продолжительность периода посев—всходы,  $n_2$  — продолжительность периода всходы—кущение,  $W$  — запасы продуктивной влаги (мм) в слое почвы 0—20 см.

Для территории Украины В. М. Личикаки составил карту оптимальных сроков сева (рис. 15). На этой карте показаны средние сроки сева озимых культур.

**2. Ледяная корка.** На территории нашей страны ледяная корка образуется весьма часто. Особенно она распространена в центральных районах Европейской части СССР. В отдельные годы ледя-

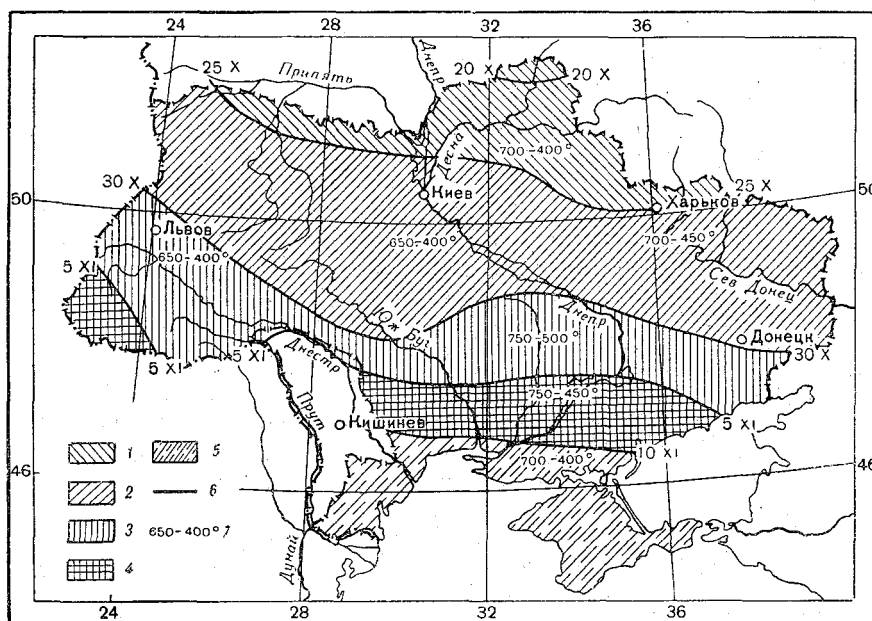


Рис. 15. Оптимальные сроки сева, средние даты прекращения вегетации и суммы средних суточных температур от посева до прекращения вегетации озимых культур.

Сроки сева: 1 — с 25/VIII по 10/IX, 2 — с 1 по 15/IX, 3 — с 5 по 20/IX, 4 — с 10 по 25/IX, 5 — с 15 по 30/IX, 6 — изолинии средних дат прекращения вегетации, 7 — суммы температур.

ная корка является причиной значительного повреждения или гибели зимующих растений.

По данным А. Н. Окушко, наиболее часто на ЕТС образуется притертая ледяная корка. Из всех рассмотренных им 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.

Повторяемость притертой ледяной корки в различных районах ЕТС неодинакова (рис. 16). Существенно изменяются как продолжительность ее залегания, так и толщина. Максимальная продолжительность залегания корки на ЕТС колеблется от 1 до 18 де-

кад, а максимальная толщина корки изменяется в пределах 1—15 см.

Повреждение озимых притертой ледяной коркой чаще всего наблюдается при ее толщине более 5 см, причем в таких случаях большое значение имеют рельеф местности и некоторые другие причины.

На Украине притертая ледяная корка образуется при оттепелях от таяния снега или выпадения жидких осадков и их после-

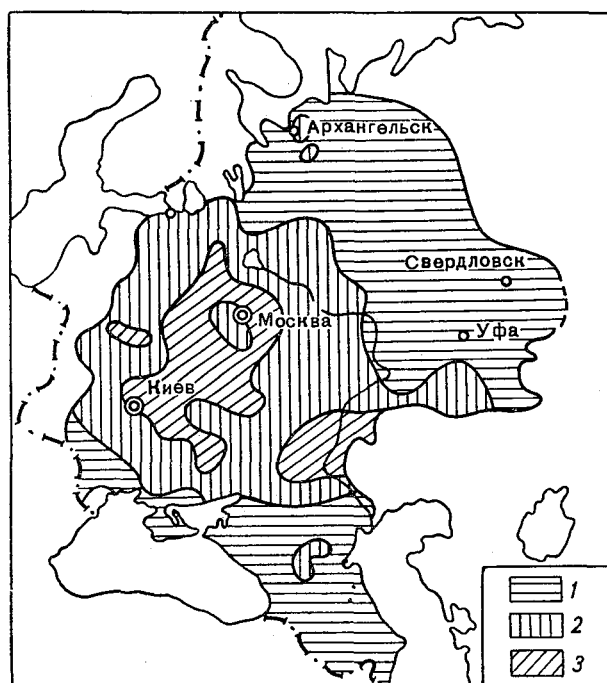


Рис. 16. Повторяемость притертой ледяной корки на ЕТС.

1 — менее 50% лет, 2 — от 50 до 70% лет, 3 — более 70% лет.

дующего замерзания. Чаще всего она образуется в феврале. За зиму она может появляться до 3 раз. В центральных и северных районах Украины ледяная корка бывает почти каждую зиму, в южных районах она редкое явление. Представление о повторяемости лет с продолжительным залеганием ледяной корки (шесть декад и более) на территории Украины дает рис. 17.

Таким образом, неблагоприятные явления зимой, связанные с ледяной коркой, создаются в основном в центральной и северной частях Украины и в центральной части ЕТС.

**3. Вымокание растений,** вызванное застоем на полях талых вод, часто служит причиной повреждения или гибели озимых культур

прежде всего в нечерноземной зоне нашей страны. Основные причины гибели озимых при вымокании — продолжительность периода застоя талых вод на полях весной, глубина затопления растений, температура воды.

Зимой затопление растений водой значительной гибели не вызывает. Полная гибель озимых весной наблюдается при затоплении растений водой на всю высоту в течение 35 дней, если температура воды была  $0^{\circ}$ , и при затоплении их в течение 26 дней, если

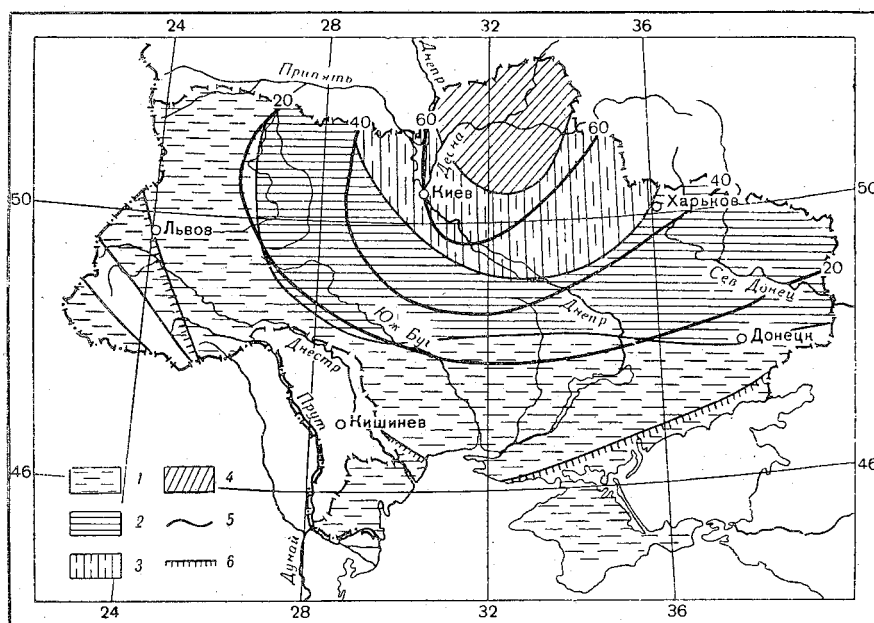


Рис. 17. Повторяемость залегания ледяной корки продолжительностью от шести декад и более.

1 — 0%, 2 — от 1 до 20%, 3 — от 21 до 40%, 4 — более 40%, 5 — повторяемость залегания ледяной корки три декады и более, 6 — граница появления ледяной корки.

температура воды была  $5^{\circ}$ . При затоплении не на всю высоту растения изреживаются несущественно.

На продолжительность весеннего затопления значительное влияние оказывает увлажнение почвы предыдущего осенне-зимнего периода, определяемое в основном количеством выпавших осадков.

Доказано, что весной изреженность растений из-за вымокания значительна, если за осень и зиму выпало более 230 мм осадков. Климатическими расчетами показано, что вероятность выпадения такого количества осадков за осенне-зимний период в нечерноземной зоне СССР велика. Так, в центральных районах нечерноземной зоны она составляет более 70%, а в северо-западных — 90%. Следовательно, агроклиматические условия вымокания озимых культур весной в нечерноземной зоне СССР возникают весьма

часто (7—9 лет из 10). Степень повреждения (гибель) озимых от вымокания определяется комплексом указанных выше причин.

В заключение подчеркнем еще раз, что в агроклиматологии наиболее полно изучены агроклиматические показатели вымерзания растений (средний из абсолютных годовых минимумов температуры, коэффициент морозоопасности и т. д.). Агроклиматические показатели других опасных явлений (выпревания, выпирания, ледяной корки и пр.) изучены слабее.

### Снежный покров

Значение снежного покрова для сельского хозяйства исключительно велико. Снег оказывает существенное влияние на условия перезимовки растений, является важным источником почвенной влаги, определяет многие черты климата почв в холодное время года.

Характеристиками снежного покрова применительно к условиям перезимовки растений являются высота, распределение по площади, даты образования и схода, динамика накопления, продолжительность периода с устойчивым залеганием и пр.

Исследования А. М. Шульгина на Алтае и В. А. Моисейчик в Казахстане выявили зависимость гибели озимых культур (вследствие вымерзания) от высоты снежного покрова на поле. Шульгин, например, получил следующие данные:

Высота снежного покрова (см) . . .	5	15	20	25—30
Гибель растений (%) . . . . .	40	14	4	0

Для территории Советского Союза и принятых сортов определены ориентировочные величины минимальной высоты снежного покрова, способствующие благополучной перезимовке озимых. Так, на Европейской территории СССР озимые благополучно зимуют при высоте снежного покрова 20—30 см; при высоте снежного покрова порядка 65—70 см создаются условия для выпревания озимых.

В Западной Сибири для перезимовки озимой ржи и пшеницы необходима высота снега 40—50 см, но и высота снега 80—100 см в этом районе не представляет опасности для выпревания из-за четко выраженного континентального климата.

В условиях Алтая благополучная зимовка наблюдается при высоте снежного покрова 30—40 см, а в суровые зимы — при высоте 60—70 см.

На рис. 18 показано распределение средних высот снежного покрова на территории СССР в третью декаду января за период наиболее низких температур. Высота снежного покрова существенно изменяется с севера на юг — от 50—70 до 10 см и менее.

Многие исследователи неоднократно подчеркивали, что судить об условиях перезимовки озимых только по средней высоте снеж-

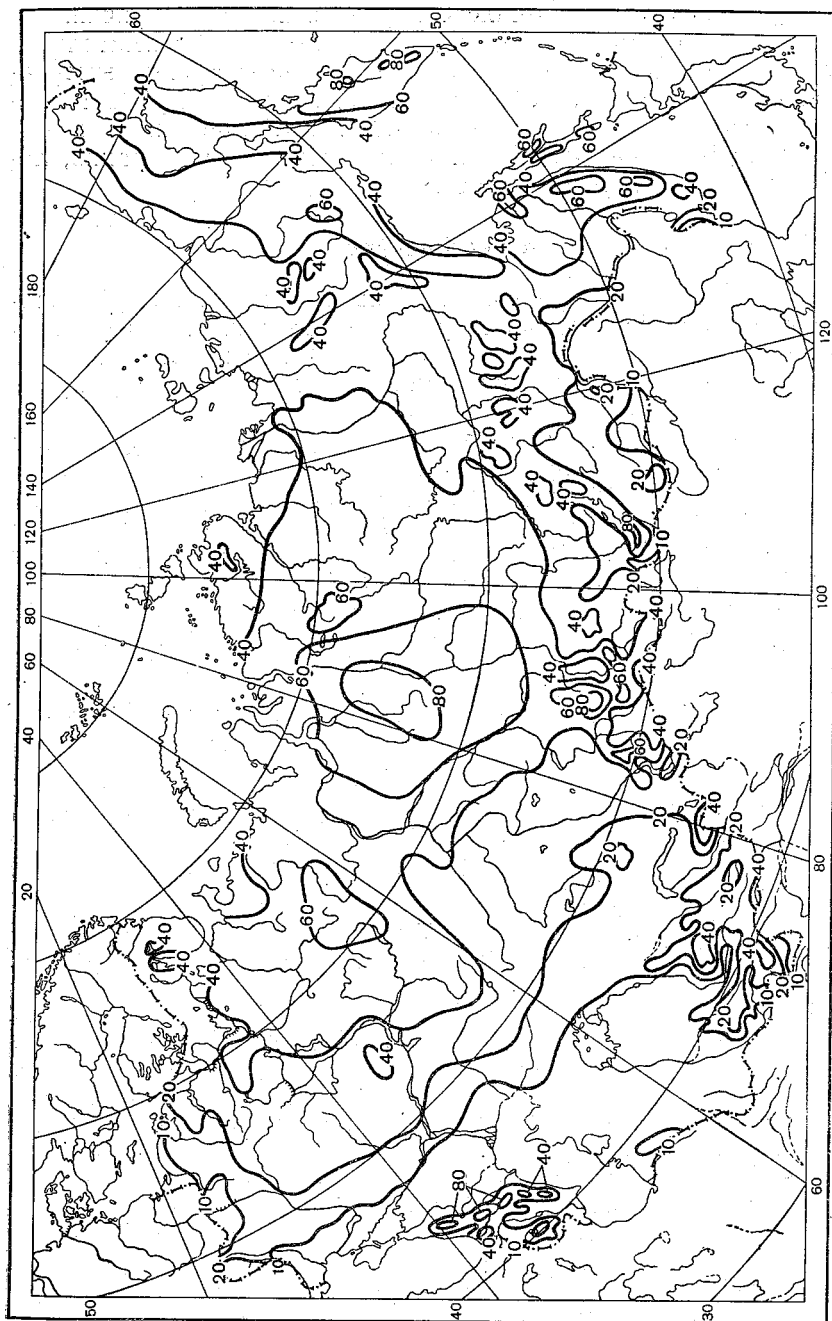


Рис. 18. Средний многолетний высота снежного покрова за третью декаду января (см).

ного покрова недостаточно. Средняя высота снежного покрова не отражает полностью характера залегания снега на всем поле.

В. А. Моисейчик показала (на примере снегосъемок в юго-восточных районах ЕТС), что при средней высоте снежного покрова 10 см примерно 60% всей площади поля покрыто снегом высотой менее 10 см, и, следовательно, на этой площади условия перезимовки озимых можно считать неблагоприятными. Лишь при средней высоте снежного покрова свыше 20 см практически все поле покрыто снегом высотой 10 см и более (табл. 14).

Таблица 14

Вероятность распределения высоты снежного покрова на полях озимых при различной средней высоте его (в % от общей площади поля)

Средняя высота снежного покрова по снегосъемке (см)	Градации высоты снежного покрова (см)								
	0	1—3	4—6	7—10	11—15	16—20	21—30	31—50	51—80
1	70	24	5	1	0	—	—	—	—
2	46	33	17	4	0	—	—	—	—
3	27	38	25	9	1	0	—	—	—
4	18	30	36	13	3	0	—	—	—
5	10	25	39	21	5	0	—	—	—
6	6	19	34	29	10	1	0	—	—
7	5	16	30	35	12	2	0	—	—
8	2	11	25	41	15	6	0	—	—
9	2	7	18	42	23	7	1	0	—
10	1	7	14	38	28	9	3	0	—
11	1	4	12	37	37	13	4	0	—
12	1	3	9	29	38	16	4	0	—
13	0	3	7	24	37	19	9	1	0
14	0	2	6	21	35	23	11	2	0
15	0	2	5	17	33	27	14	2	0
16	0	2	4	14	29	29	19	3	0
17	0	1	4	13	25	30	23	4	0
18	0	0	4	10	23	31	26	6	0
19	0	0	2	9	21	30	32	6	0
20	0	0	2	8	19	28	33	10	0
21—30	0	0	1	3	9	21	44	21	1
31—50	0	0	0	0	1	5	25	63	6

Даты перехода средней суточной температуры через 0° и образования снежного покрова в северных и западных районах ЕТС почти совпадают. На юге и юго-востоке ЕТС снежный покров появляется спустя 20—25 дней после перехода температуры воздуха через 0°. Эти данные свидетельствуют о том, что в среднем многолетнем режиме в северных и западных районах ЕТС почва не успевает подмерзнуть до покрытия ее снегом, в то время как в южных и юго-восточных районах она подмерзает.

Сопоставление даты наступления сильных морозов (при устойчивом переходе средней суточной температуры воздуха через  $-10^{\circ}$ ) с датой образования снежного покрова показывает, что на Кольском полуострове и в Архангельской области морозы  $-10^{\circ}$  наступают на 80 дней позже установления снежного покрова. На западе ЕТС эта разница составляет уже 60 дней, а в Якутии — лишь 8—10 дней. Следовательно, разница во времени между датами установления снежного покрова и переходом средней суточной температуры воздуха через  $-10^{\circ}$  резко уменьшается к востоку. Поэтому в этом направлении возрастает опасность вымерзания культур.

На территории СССР интервал времени между первым появлением снега и устойчивым его залеганием очень изменчив. Так, в западных областях ЕТС и на Украине проходит около месяца от первого появления снежного покрова до его устойчивого залегания. Этот период называется предзимьем. Его характеристике уделяется большое внимание, так как он оказывает существенное влияние на последующую перезимовку озимых культур.

О средней продолжительности периода со снежным покровом на территории СССР можно судить по карте (рис. 19). Эта карта построена с учетом первого появления снежного покрова и до полного его исчезновения, так что период с устойчивым снежным покровом входит в интервал времени, указанный на карте.

Необходимо отметить, что на время появления снежного покрова, продолжительность его залегания и высоту значительное влияние оказывают местные условия (лесные полосы, характер рельефа, господствующие ветры и т. д.). Как правило, в лесах, лесных полосах, пониженных и подветренных формах рельефа снежный покров устанавливается раньше, залегает более длительное время и бывает более мощным.

Динамика накопления снежного покрова в различных районах СССР различна. В западных, юго-западных и южных районах страны, где зима мягкая, снежный покров неустойчив, часто сходит зимой, а затем опять устанавливается. В остальных районах ЕТС идет непрерывное нарастание высоты снежного покрова.

В Сибири с ее континентальным климатом снежный покров нарастает непрерывно только в первой половине зимы; во второй половине он остается почти без изменения, так как здесь устанавливается антициклональная погода.

На большей части территории СССР максимальная высота снежного покрова приходится на март, в северных районах — на апрель, а в южных — на февраль.

Для комплексной характеристики зимнего периода предложены различные показатели. А. М. Шульгин, например, дает комплексный агроклиматический показатель условий зимнего периода, который он назвал показателем суровости зимы. Рассчитывается показатель по формуле

$$K = T_m / C,$$



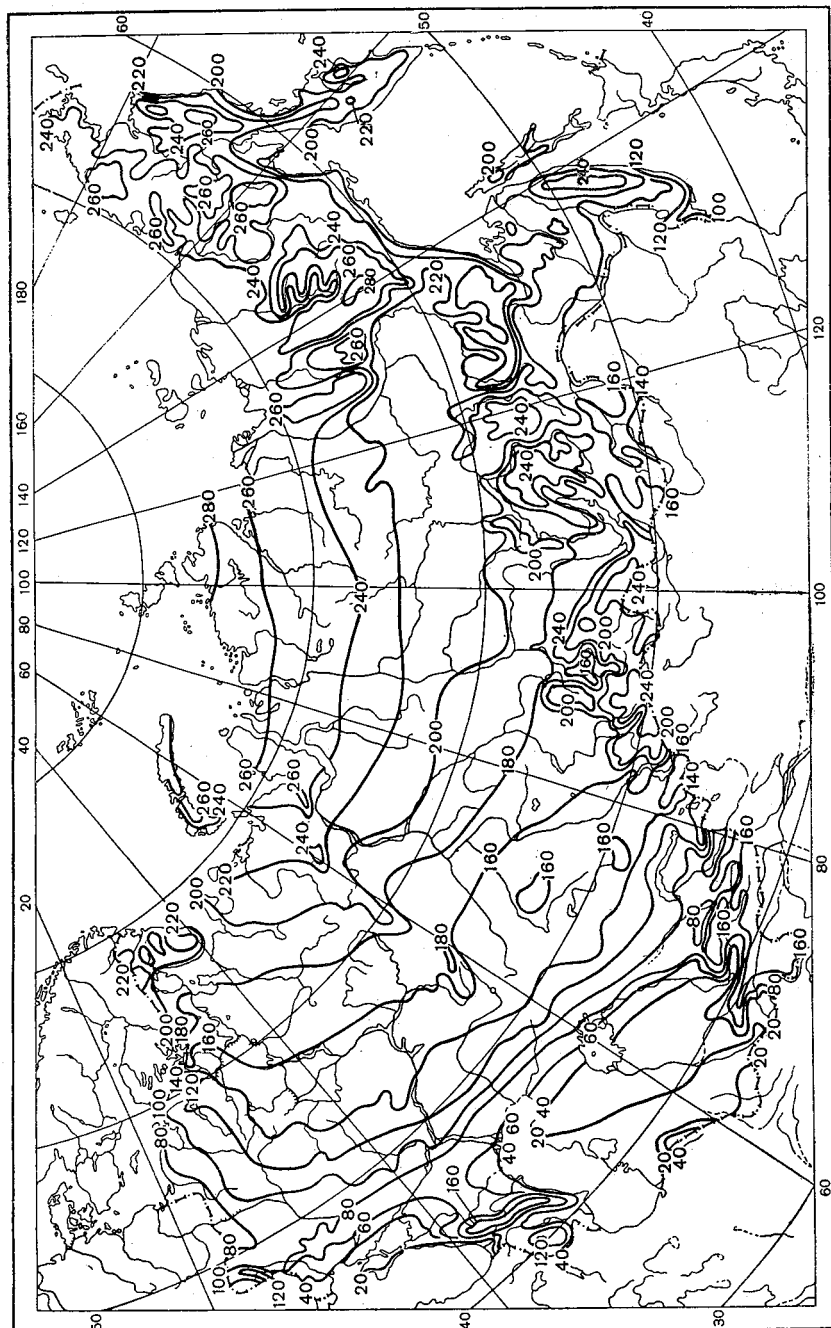


Рис. 19. Средняя продолжительность залегания снежного покрова (дни).

где  $T_m$  — средний из абсолютных минимумов температуры воздуха (за месяц или за зимние месяцы),  $S$  — средняя высота снежного покрова. Для оценки степени суровости зимы определены градации, представленные в табл. 15. Они получены для территории Западной Сибири.

Таблица 15

Оценка степени суровости зимы

Степень суровости зимы	Средний из абсолютных минимумов температуры воздуха за месяц или за зиму	Средняя высота снежного покрова (см)	Показатель суровости
Весьма суровая	Ниже $-30^\circ$	Менее 10	Более 3
Суровая	Ниже $-30^\circ$	От 10 до 30	От 1 до 3
Мягкая (мало суровая)	Выше $-30^\circ$	Более 30	Менее 1

Г. Д. Рихтер, назвавший свой показатель снежно-температурным коэффициентом, предложил вычислять его по формуле

$$K=10T/H,$$

где  $T$  — средняя температура воздуха,  $H$  — средняя высота снежного покрова (см) за средний период со снежным покровом выше 1 см. Снежно-температурный коэффициент показывает число градусов мороза, рассчитанное на каждые 10 см толщины снежного покрова. Коэффициент меняется на ЕТС с северо-запада на юго-восток от 1,6 до 17,8. В табл. 16 показаны его значения и изменчивость для территории ЕТС и Западной Сибири по ботанико-географическим зонам.

Таблица 16

Снежно-температурный коэффициент

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

Интересно отметить, что в годы, исключительно неблагоприятные для перезимовки озимых, снежно-температурный коэффициент резко изменяется по величине относительно своего среднего значения. Так, в среднем за 25 лет для Киевской области он равен 4,5,

а в годы с вымерзанием он возрастает до 37,8. В Минской области при среднем значении снежно-температурного коэффициента 2,1 в годы с вымерзанием он равен 20,0, а в годы с выпреванием — 1,7.

Таким образом, по отклонению снежно-температурного коэффициента от его средней величины можно в принципе судить о возможности образования опасных условий перезимовки озимых в данном географическом районе.

Рассмотренные выше характеристики снежного покрова свидетельствуют о различных условиях перезимовки озимых и древесных культур на территории СССР и, следовательно, о необходи-

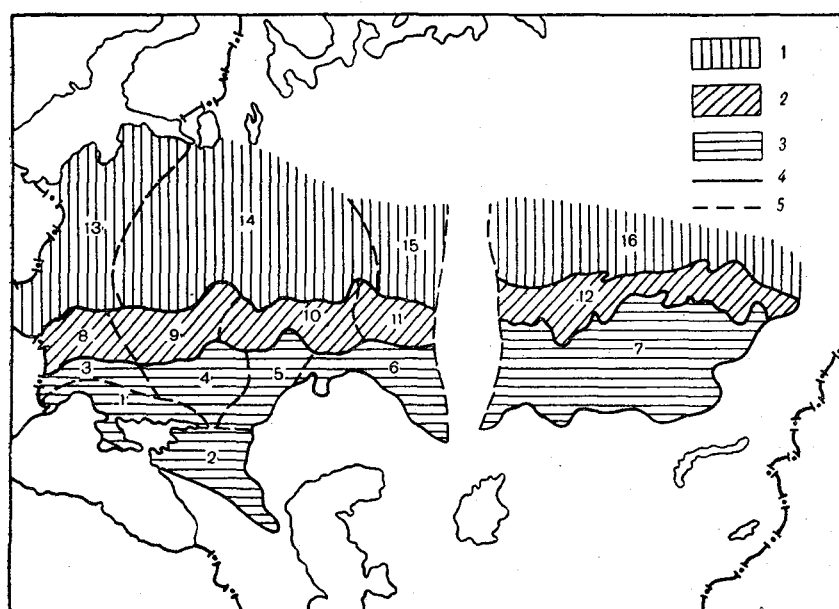


Рис. 20. Зоны и районы снежных мелиораций.

1 — лесная зона, 2 — лесостепная, 3 — степная, 4 — границы зон, 5 — границы районов;  
1, 2 и т. д. — номера районов.

мости дифференцированных для каждого района приемов снежной мелиорации.

А. М. Шульгин, С. Ф. Алексеева и В. И. Сомова предложили уточненную карту необходимых снежных мелиораций с учетом их эффективности (рис. 20). По мнению этих исследователей, особое значение и эффективность снежные мелиорации будут иметь в тех районах северной части степной и южной части лесостепной зон, в которых повторяемость засух и зимней гибели хлебов значительна; регулярное орошение полей ограничено, а снежный покров умеренной толщины дает возможность регулировать его перемещение ветром путем создания искусственных преград. К северу и югу от указанных территорий эффективность снежных мелиора-

ций уменьшается. Она также зависит от степени континентальности климата.

На основе агроклиматических расчетов для территории СССР, где снежная мелиорация наиболее эффективна, выделено 16 снежно-мелиоративных районов (рис. 20).

В районах 1, 2, 3, где условия перезимовки растений хорошие (вероятность гибели посевов от вымерзания менее 10%), снежные мелиорации рекомендовано осуществлять в отдельные годы. Вследствие неустойчивости погоды зимой эффективность снежных мелиораций в южной части этих районов наименьшая, что не всегда гарантирует сохранение озимых культур. Поэтому здесь необходимо принимать меры по удержанию и сохранению снежного покрова.

В районах 4—5, где условия перезимовки лишь удовлетворительные, снежная мелиорация должна способствовать дальнейшему накоплению снега на сельскохозяйственных полях. Для этого рекомендуется использовать кулисные посевы и полезащитные лесные полосы.

Для районов 6—7 характерны неудовлетворительные условия перезимовки растений (вероятность гибели посевов от вымерзания 20—50%). Здесь снежная мелиорация в большинстве зим может осуществляться кулисным снегозадержанием и кустарниковыми полосами.

В лесостепной зоне (районы 8, 9, 10, 11) повреждение озимых зимой составляет 10—20%. Здесь наибольший эффект дают кулисное снегозадержание и снегопахота.

Для лесной зоны (районы 13, 14, 15, 16) вероятность вымерзания озимых невелика (менее 10%), но в ряде лет (10—20%) они повреждаются от выпревания или вымокания. Именно в этих районах нужно прежде всего бороться с последними из указанных неблагоприятных явлений. Для этого в целях уменьшения избыточной толщи снежного покрова обычно применяют прикатывание снега. Необходимость этой меры в лесной зоне неодинакова в разных ее районах и в разные годы.

Следует подчеркнуть, что приведенные рекомендации ориентировочны. Они должны уточняться и детализироваться на основе анализа местных данных. Важно отметить, что снежные мелиорации авторы рассматривают не изолированно, а в комплексе с другими мелиоративными мероприятиями: агрохимическими, осушительными, культуртехническими, лесоразведением и т. д. Например, в северной части СССР снежные мелиорации рекомендовано проводить в сочетании с осушительными и агрохимическими мелиорациями, что в сумме должно создать оптимальный водный, термический и воздушный режимы почвы.

## § 8. ОЦЕНКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО БОНИТЕТА КЛИМАТА

Под сельскохозяйственным бонитетом климата понимают сравнительную оценку его продуктивности, выраженную в абсолютных величинах (урожайность в центнерах на гектар) или относитель-

ных величинах (баллах). Сельскохозяйственная оценка продуктивности климата необходима при решении многих важных производственных задач: обосновании капиталовложений в мелиорацию, определении соотношения площади чистых и занятых паров в различных климатических зонах, размещении новых сельскохозяйственных культур и т. д.

В Советском Союзе для сравнительной оценки климатических ресурсов территории предложены два метода: С. А. Сапожниковой и Д. И. Шашко. В основе сельскохозяйственной оценки продуктивности климата в любом из указанных методов лежат количественные зависимости, связывающие урожай растений с ресурсами тепла и влаги.

Сапожникова в качестве показателей ресурсов тепла и влаги использовала суммы активных температур (выше  $10^{\circ}$ ) и ГТК (по Селянинову). Так как длина вегетационного периода, определяемая суммой активных температур, оказывает значительное влияние на урожай, автор предложила рассчитывать урожай на условную единицу суммы тепла. В качестве последней она использовала сумму активных температур (выше  $10^{\circ}$ ), уменьшенную в 100 раз. Тогда показатель продуктивности климата данного района  $\Pi$  определяется по следующей формуле:

$$\Pi = \frac{Y}{\sum t_{>10^{\circ}} : 100},$$

где  $Y$  — урожай культуры (ц/га),  $\sum t_{>10^{\circ}}$  — сумма активных температур (выше  $10^{\circ}$ ).

Например, урожай культуры (пшеницы) в данном районе составляет 21 ц/га, а сумма активных температур равна 1700°. Показатель продуктивности климата в данном районе будет равен

$$\Pi = \frac{21}{1700 : 100} = 1,24.$$

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

$$Y = \Pi (\sum t_{>10^{\circ}} : 100).$$

В результате расчетов показателя продуктивности климата и использования ряда других данных Сапожникова составила карту сельскохозяйственного бонитета применительно к зерновым культурам. По сути дела это карта потенциальной урожайности зерновых (в ц/га) при естественном увлажнении во влажной и засушливой зонах и оптимальном увлажнении в сухой зоне.

Анализ этой карты показывает, что районами наибольшей потенциальной продуктивности климата в нашей стране 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.

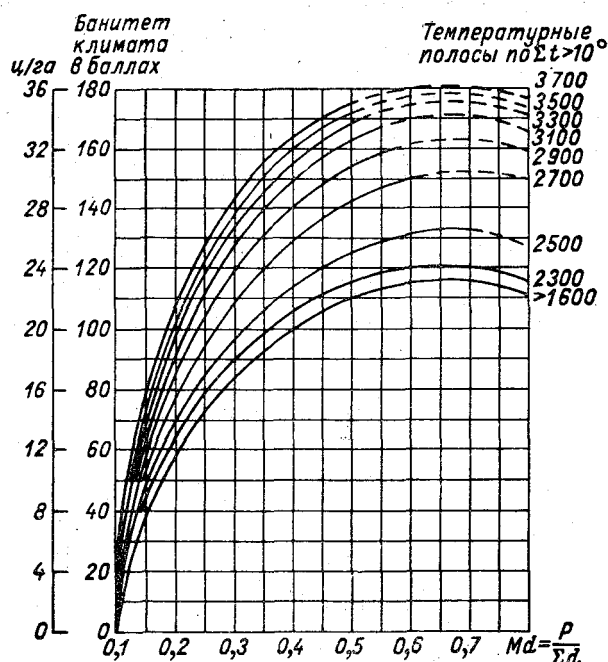


Рис. 21. Связь величины урожая зерновых культур (средневзвешенного) в центнерах с гектара и в относительных единицах (баллах) со значениями показателя увлажнения.

Метод оценки сельскохозяйственного бонитета климата, предложенный Шашко, основан на несколько иных положениях. Величина бонитета климата здесь оценивается в баллах нормальной фактической и потенциальной продуктивности. Под нормальной фактической продуктивностью Шашко 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.

За 100 баллов продуктивности климата автор принял средневзвешенный по всем сортоучасткам СССР урожай зерновых культур, равный 20 ц/га. Величина (в баллах) фактической продуктив-

ности климата рассчитывалась Шашко по графику связи урожая со значениями показателя увлажнения при разных суммах температур (рис. 21).

Показатель увлажнения  $Md$  вычислялся по формуле

$$Md = \frac{P}{\sum d} \quad \text{или} \quad Md = \frac{P}{f},$$

где  $P$  — осадки за год,  $\sum d$  — сумма дефицитов влажности воздуха (мм) за год,  $f$  — испаряемость (мм) за год.

Разность между фактической и потенциальной продуктивностью указывает на неполное использование климатических ресурсов данной территории. Потенциальная продуктивность климата нашей страны, по расчетам Шашко, изменяется от 25 до 426 баллов. Пользуясь картой климатических ресурсов, составленной Шашко, и данными бонитета, можно сравнивать между собой продуктивность (в баллах) различных районов территории СССР.

В целом отметим, что рассмотренные выше методы оценки продуктивности климата не нашли большого применения в практических расчетах. Необходимы дальнейшие исследования.

При общей оценке сельскохозяйственного бонитета климата желательно ввести интегральный показатель продуктивности, который, помимо зерновых, должен включать в себя оценку других, не менее важных культур (плодовых, технических, трав и пр.). Учитывая государственное значение данной проблемы, оценку бонитета климата в масштабах всей страны необходимо провести по строго однородным методам.

На основании опыта агрометеорологов Института экономики сельского хозяйства интегральный показатель сельскохозяйственного бонитета климата, видимо, перспективно выражать непосредственно в денежных единицах (рублях).

### Глава III

## АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОПАСНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

---

Метеорологическое явление считается опасным, если при его образовании необходимо принимать специальные меры для предотвращения серьезного ущерба в определенной отрасли народного хозяйства. К агрометеорологическим явлениям, опасным для сельского хозяйства, относят заморозки, засуху, суховеи, пыльные бури, градобитие, комплекс явлений в зимний период (сильные морозы, гололед, вымокание и выпревание озимых) и т. д. Эти явления могут повреждать сельскохозяйственные культуры как в период вегетации, так и во время перезимовки.

Особо опасными считают такие явления, которые по своей интенсивности, времени возникновения, продолжительности или площади распространения могут нанести или нанесли значительный ущерб народному хозяйству.

При конкретном рассмотрении этого вопроса к особо опасным относят те явления, характеристики которых (интенсивность, площадь охвата и т. д.) превосходят определенные критические пределы. Так, засуха и суховеи считаются особо опасными агрометеорологическими явлениями, если они охватили более 10% посевной площади (АССР, края, республики) при сохранении в течение 10 дней и более относительной влажности днем 30% и менее и при запасах влаги в пахотном слое почвы менее 10 мм.

Заморозок считается особо опасным, если он наблюдался в вегетационный период на площади 25% и более применительно ко всей посевной площади технических, овощных, плодовых и других культур (края, АССР или союзной республики).

В данной главе рассмотрим лишь наиболее существенные из опасных агрометеорологических явлений. Комплекс опасных явлений, влияющих на условия перезимовки озимых и древесных культур, дан в § 7 главы II. Зимние явления, опасные для отгонного животноводства, будут изложены в § 4 главы V.

### § 1. ЗАМОРОЗКИ

Заморозком называют понижение температуры до 0° и ниже на поверхности почвы или в травостое в период вегетации на фоне положительных средних суточных температур воздуха. В метеорологической будке в это время температура может быть как



ниже 0°, так и несколько выше (до +2, +3°). Применительно к плодовым культурам под заморозком понимают аналогичное понижение температуры в слое воздуха до уровня крон.

Сведения о заморозках необходимы для оценки морозоопасности территории, расчетов сроков сева, решения вопроса о рациональном размещении по территории наиболее теплолюбивых культур, определения вероятности гибели цветков и завязей плодовых растений, всходов различных культур, агроклиматической оценки условий произрастания сельскохозяйственных культур в весеннее и осеннее время. Кроме того, данные о заморозках широко используются при оперативном агрометеорологическом обслуживании сельского хозяйства, а также при выборе и разработке методов борьбы с ними.

В умеренных широтах ежегодно в весеннее и осеннее время возникают заморозки, которые создают неблагоприятные условия для роста и развития сельскохозяйственных культур, часто ограничивая использование в сельскохозяйственном производстве климатических ресурсов вегетационного периода.

Необходимо отметить, что заморозкам подвержены и субтропические районы, где зимние морозы носят характер заморозков умеренного пояса.

В отдельные годы заморозки наносят значительный ущерб народному хозяйству, полностью уничтожая или значительно снижая урожай в том или ином районе страны.

Заморозок — сложное явление. Изучению его посвящены многочисленные работы синоптиков, климатологов, физиологов, агрометеорологов, агроклиматологов и др. Эти работы позволили изучить различные вопросы: генезис заморозков, отношение растений к заморозкам, распространение и частоту возникновения их в различных районах СССР, степень опасности заморозков и вероятность повреждения ими сельскохозяйственных культур, выбор методов, устраняющих или ослабляющих вредное воздействие заморозков на сельскохозяйственные растения.

### **Заморозки и сельскохозяйственные культуры**

Отношение растений к заморозкам определяется их морозостойкостью. Степень морозостойкости растений выражается величинами критических температур, при которых наблюдается частичное повреждение органов растений или их гибель.

Разным растениям свойственны разные критические температуры; различные органы одного и того же растения имеют разную степень морозостойкости. В табл. 17 даны критические температуры повреждения ряда плодовых культур. С физиологических позиций противостоять заморозкам растениям помогают защитные свойства сахаров и ряда других веществ, содержащихся в протоплазме клеток.

В. И. Степанов составил сводку полевых культур по степени их устойчивости к заморозкам в различные фазы развития. По

Таблица 17

## Критические температуры повреждения некоторых плодовых культур заморозками

Культура	Часть растения, повреждаемая заморозком	Критические температуры
Лимон	Дерево полностью	—9, —10
	Крона	—7, —8
	Листья	—6
Апельсин	Дерево полностью	—10, —11
	Крона	—8, —9
	Листья	—7
Мандарин	Дерево полностью	—12
	Крона	—10
	Листья	—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

степени выносливости заморозков он выделил пять групп растений. Из табл. 18, где дана эта сводка, следует, что в начальный период роста растения обладают наивысшей морозостойкостью. В период цветения и созревания морозостойкость растений резко уменьшается. В это время большая часть растений гибнет уже при температурах —2, —4°.

Следует помнить, что в табл. 18 температуры даны на уровне растений; в метеорологической будке в это время минимальная температура может быть на 3—4° выше.

Устойчивость растений к заморозкам и степень повреждения их определяются многими факторами: закалкой растений, интенсивностью и длительностью заморозка, временем его появления, скоростью падения температуры, быстротой и условиями оттаивания растения, обводненностью тканей и т. д.

В целом устойчивость растений складывается из устойчивости его отдельных органов и тканей и определяется наиболее чувствительными из них. Как видно из сведений, приведенных в таблицах, у растений наименее устойчивы к заморозкам генеративные органы. Физиологические исследования последних лет показали, что заморозки, даже не оставляющие видимых внешних повреждений, оказывают значительное влияние на формирование урожая полевых культур.

На ранних стадиях развития растений легкие заморозки мало сказываются на урожае. Более сильные поздневесенние заморозки

Таблица 18

Устойчивость сельскохозяйственных культур по отношению к заморозкам  
в разные фазы развития (температуры даны на уровне растений)

Культура	Начало повреждения и частичная гибель (град.)			Гибель большинства растений (град.)		
	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 многолет- ний	-7, -8	-3	-3	-8, -10	-3, -4	-3, -4
Вика яровая	-8, -9	-2, -3	-2, -3	-8, -9	-3	-3, -4
Люпин узколист- ный	-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, кар- тофель	-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

даже тогда, когда они не оставляют значительных внешних повреждений и по своей интенсивности не превышают указанную выше критическую температуру повреждений, способствуют отставанию ряда культур в развитии и снижению конечного урожая на 10—15%. Но легкие раннеосенние заморозки, действующие в период окончания формирования урожая холодостойких культур, могут приводить даже к его повышению за счет усиления гидролитических процессов и оттока пластических веществ в запасующие их органы.

Опасными для сельскохозяйственных растений заморозки становятся тогда, когда начинается рост и растения активно вегетируют.

Применительно к территории СССР заморозки становятся опасными после устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 10° или после ее первого повышения до 15°.

Исходя из этого, на севере ЕТС (севернее широты 60°) опасны заморозки в начале и середине июня, в центральной части ЕТС — в конце мая, на юге ЕТС — в начале мая. В Молдавии, Крыму и на Северном Кавказе заморозки опасны в конце марта и начале апреля.

### Типы заморозков

В зависимости от процессов образования выделяют три типа заморозков: адвективные, радиационные и адвективно-радиационные.

Адвективные заморозки образуются в результате наступления волны холода с температурой ниже 0°. Как правило, они наблюдаются в течение нескольких суток подряд в начале весны и поздней осенью при общем низком уровне температуры, значительной облачности и ветре. Иногда при интенсивной адвекции холода средние суточные температуры остаются близкими к 0°.

Радиационные заморозки образуются в тихие ясные ночи в результате интенсивного ночного излучения подстилающей поверхности. Уровень средних суточных температур, при которых наблюдаются заморозки этого типа, различен в разных климатических условиях и резко возрастает при переходе от морского климата к континентальному. В приморских районах СССР эти заморозки прекращаются при средних суточных температурах около 5—6°, в континентальной части (Северный Казахстан, Средняя Азия, Забайкалье) — при 12—13°, в долинах с континентальным климатом — при средней суточной температуре 14—15°.

Наиболее опасны для растений адвективно-радиационные заморозки. Они образуются в результате вторжения холодного воздуха с севера и его последующего охлаждения за счет ночного излучения. В этом случае процессы адвекции и радиационного выхолаживания взаимно усиливают друг друга.

Понижение температуры ниже 0° при этом типе заморозка обычно составляет 2—3°. Оно часто затрагивает лишь припочвен-

ный слой воздуха. Температура на высоте 2 м (в метеорологической будке) может быть положительной. Заморозки этого типа в условиях континентального климата могут наблюдаться после установления средних суточных температур выше 15°.

Длительность действия разных типов заморозков различна. Адвективные заморозки могут продолжаться 3—4 дня без перерыва, радиационные заморозки могут длиться несколько ночей. Адвективно-радиационные заморозки могут наблюдаться одну-две ночи по 3—4 часа (во второй ее половине).

Микроклиматические условия имеют существенное значение для образования заморозков радиационного и адвективно-радиационного происхождения. При адвективных заморозках, сопровождающихся ветром и значительной облачностью, влияние микроклиматических различий сглаживается.

Наибольшую опасность для сельскохозяйственных культур представляют поздневесенние или раннеосенние заморозки, так как растения в это время интенсивно вегетируют (или дозревают) и их «закалка» мала. Обычно заморозки в это время бывают адвективно-радиационного происхождения.

### **Распространение заморозков на территории СССР**

На обширной территории СССР заморозки весьма разнообразны в своем проявлении. Они различаются по частоте и срокам возникновения, длительности и интенсивности действия, степени опасности для сельскохозяйственных растений и т. д. Агроклиматическая характеристика заморозков дана И. А. Гольцберг.

Для территории Советского Союза на рис. 22, 23, 24 даны карты средних дат окончания весенних заморозков, средних дат начала осенних заморозков, средней длительности безморозного периода.

Самый длительный безморозный период наблюдается на Черноморском побережье Кавказа, где он в среднем превышает 300 дней. Наиболее короткий безморозный период формируется в условиях севера Сибири (менее 45 дней). На этой территории весенние и осенние заморозки разделяются лишь условно: в летнее время наблюдается 2—3 безморозных периода продолжительностью всего по 10—15 дней.

Сопоставление средней длительности безморозного периода со средними датами начала и конца его показало, что климат влияет на зависимость между указанными величинами. В приморских районах по сравнению с континентальными при одинаковой длительности безморозного периода даты начала и конца его сдвинуты на более поздние сроки. Для большей части территории Советского Союза можно использовать карту средней длительности безморозного периода (рис. 24) и по ней с помощью табл. 19 определить средние даты начала и конца его на ровном месте, не прибегая к рис. 22 и 23.

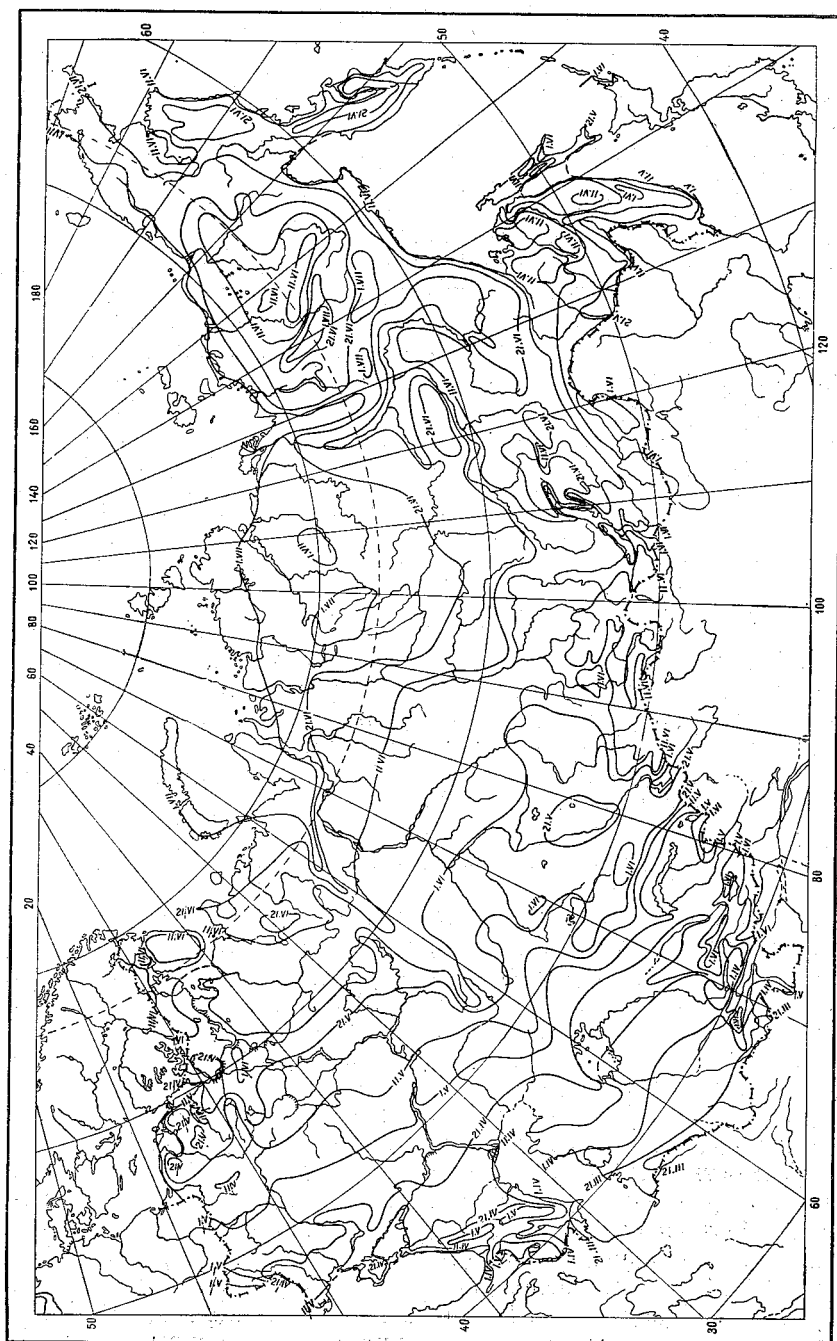


Рис. 22. Средние даты окончания весенних заморозков в воздухе (минимальная температура  $0^{\circ}$  и ниже в метеорологической будке на ровном открытом месте).

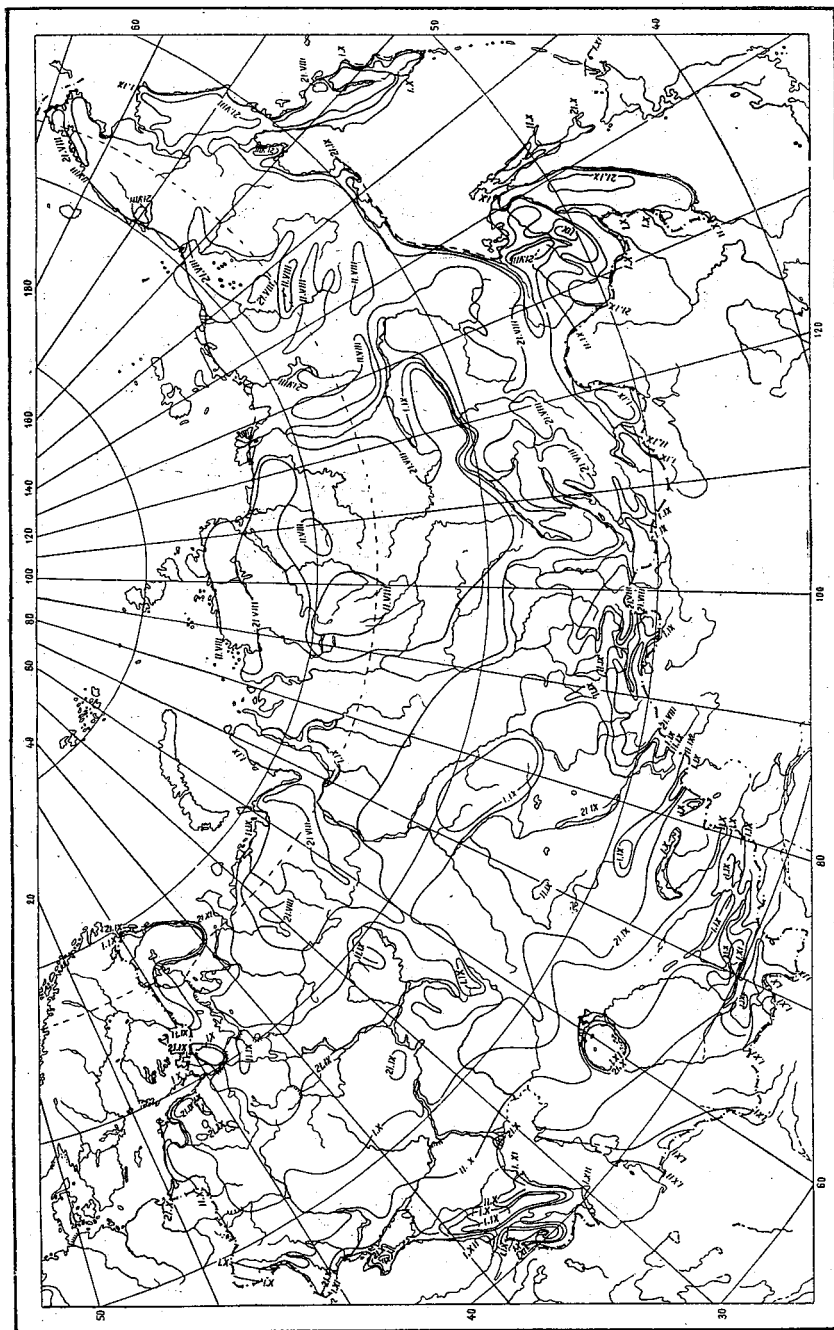


Рис. 23. Средние даты начала осенних заморозков в воздухе (минимальная температура  $0^{\circ}$  и ниже в метеорологической будке на ровном открытом месте).

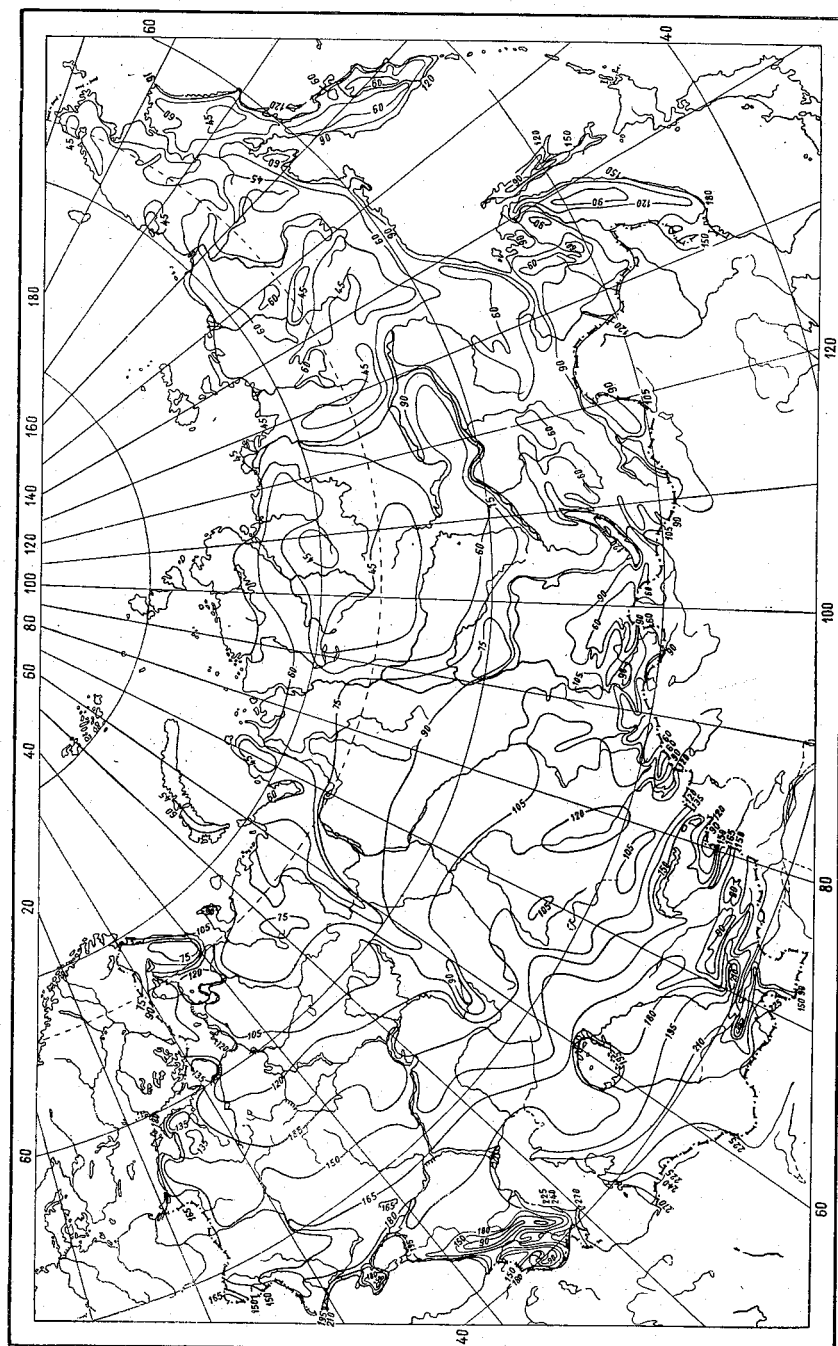


Рис. 24. Средняя длительность (в днях) безморозного периода (минимальная температура  $0^{\circ}$  и ниже в метеорологической будке на ровном открытом месте).



Таблица 19

**Зависимость средних дат начала и конца безморозного периода от средней длительности его для ровного открытого места в континентальной части СССР**

Длительность периода (дни)	Средние даты		Длительность периода (дни)	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 <sup>1</sup>	5 VI	3 IX	180	12 IV	9 X
90 <sup>2</sup>	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			

<sup>1</sup> Для Европейской территории СССР.

<sup>2</sup> Для Азиатской территории СССР.

В Справочниках по климату СССР характеристика средних дат заморозков дополнена сведениями о самом позднем заморозке весной и самом раннем осенью, а также данными о наименьшей длительности безморозного периода. Например, на юге Украины, где средняя продолжительность безморозного периода составляет 210 дней, наименьшая величина его равна 150 дням. Это означает, что в отдельные годы безморозный период может укорачиваться здесь на два месяца.

Сведения о продолжительности безморозного периода нужны для решения вопроса о том, успеет ли та или иная культура закончить вегетацию на данной территории или она будет систематически подмерзать.

Микроклиматические условия вносят существенные изменения в средние величины, приведенные на картах для ровного открытого места. Для уточнения средних данных, определенных по картам, необходим учет микроклимата. Для оценки морозоопасности разных по рельефу местоположений поля в тихие ясные ночи можно использовать табл. 26 на стр. 170—171.

Изменение длительности безморозного периода под воздействием мелиоративных мероприятий рассмотрено в главе IV.

#### Интенсивность заморозков

В связи с различной морозостойкостью растений в разные фазы развития важно знать время наступления осенью и прекращения весной заморозков разной интенсивности.

В табл. 20 сопоставляются длительности периода без заморозков разной интенсивности в воздухе и на почве для условий ровного и открытого места. Данные показывают, что в разных климатических условиях соотношения меняются.

Таблица 20

Сопоставление длительности безморозного периода (дни) разной интенсивности  
в воздухе и на поверхности почвы

Средняя длительность безморозного периода (0°)		Средняя длительность периода без заморозков ниже указанной интенсивности в воздухе			
в воздухе	на почве	—1°	—2°	—3°	—4°
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

Используя величины средней длительности безморозного периода в воздухе, приведенные в справочниках по климату СССР (вып. 2), можно с помощью табл. 20 дать характеристику заморозков разной интенсивности как в воздухе, так и на поверхности почвы.

Сведения о заморозках в воздухе обычно используются при оценке степени морозоопасности территории для плодовых культур. Для полевых культур оценку морозоопасности следует давать по заморозкам у поверхности почвы или на уровне травостоя.

В среднем разность температуры воздуха на уровне метеорологической будки (2 м) и у поверхности почвы для Европейской территории СССР порядка  $2,0-2,5^{\circ}$ , для континентальных районов Азиатской территории, а также Заволжья около  $3,5-4,0^{\circ}$ , но в отдельные ночи она достигает  $10-11^{\circ}$ . Такие большие разности температуры воздуха в приземном слое наблюдаются на ЕТС на осушенных торфяниках.

Указанные средние разности определены по отношению к ровному открытому месту, где ночью обычно наблюдается инверсия. На возвышенностях с хорошим перемешиванием приземного воздуха ночью обычно образуется изотермия, поэтому разность температур в этом случае практически близка к нулю. Изотермия часто наблюдается и в «озерах холода» до высоты 7—8 м, сменяясь затем мощной инверсией на верхней границе выхолаженного слоя воздуха.

### Вероятность заморозков

Сведения о вероятности окончания и наступления заморозков разной интенсивности в определенные сроки позволяют оценить возможность наступления заморозков в разные фазы развития сельскохозяйственных культур и определить, будут ли повреждены растения.

Заморозки заканчиваются и начинаются в различных районах СССР при разном термическом уровне, т. е. на разном фенологическом фоне. Так, весной в западных районах ЕТС и на побережье морей заморозки в среднем оканчиваются до наступления средней суточной температуры выше  $5^{\circ}$  и лишь изредка могут наблюдаться после установления средней суточной температуры  $10^{\circ}$ . Здесь опасность заморозков для плодовых и теплолюбивых культур незначительна. В континентальных районах заморозки могут наблюдаться месяц спустя после установления средней суточной температуры более  $10^{\circ}$ . Поэтому они представляют большую опасность для теплолюбивых культур.

Суммарная вероятность дат окончания весенних и начала осенних заморозков представляет собой изменчивость этих дат по годам, которая одинакова на больших территориях. Для СССР выявлено семь типов кривых вероятности заморозков с соответствующими им значениями среднего квадратического отклонения  $\sigma$ . На картах (рис. 25—27) выделены районы для каждого типа

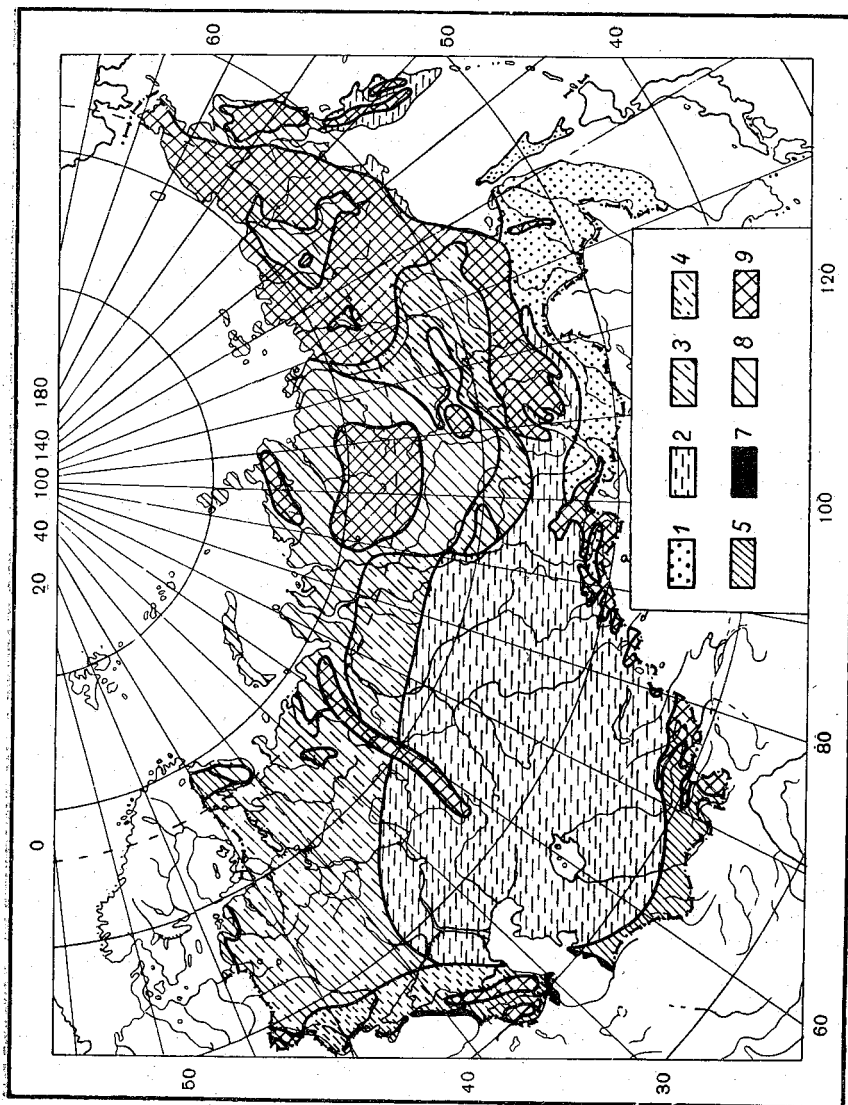


Рис. 25. Карта типов кривых вероятностей заморозков. Весна.

Величина  $\sigma$ : 1 — от 7 до 9, 2 — от 9 до 11, 3 — от 11 до 13, 4 — от 13 до 15, 5 — от 15 до 17, 6 — от 17 до 19, 7 — более 20, 8 — районы частых летних заморозков, 9 — горные районы.

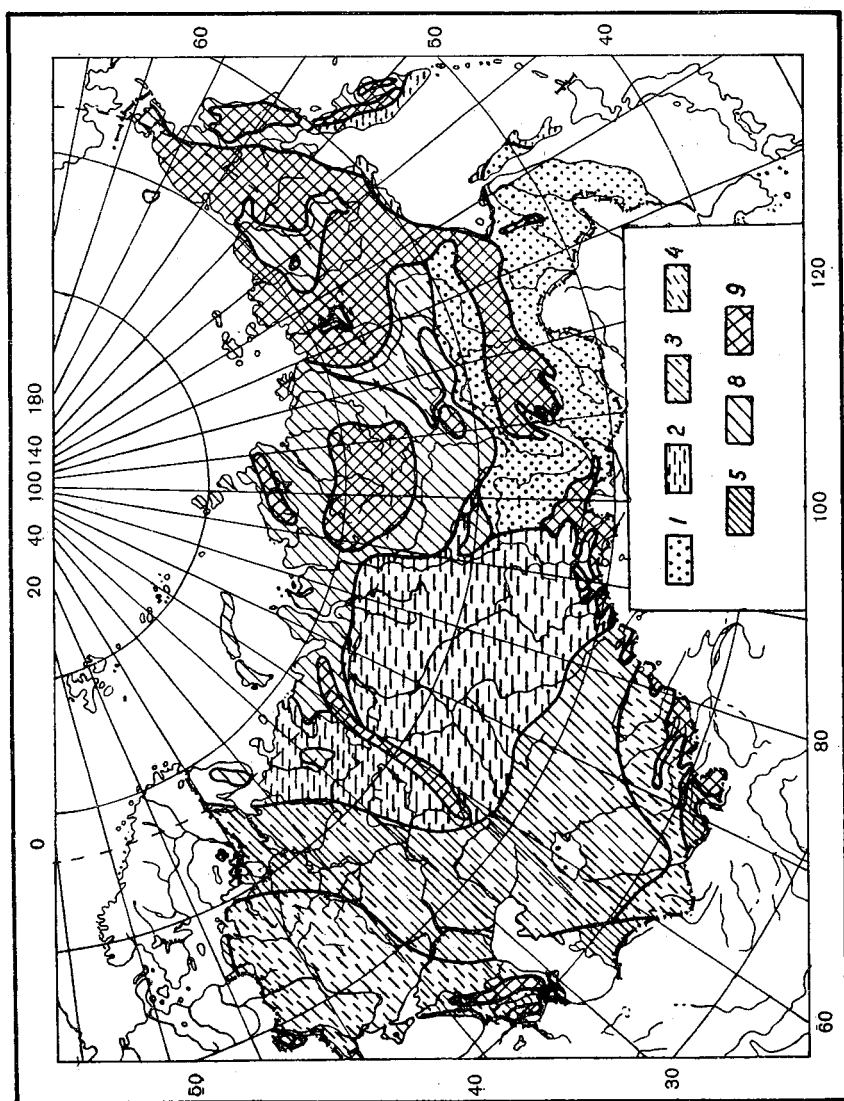


Рис. 26. Карта типов  
кривых вероятностей  
заморозков. Осень.  
Усл. обозначения см.  
рис. 25.

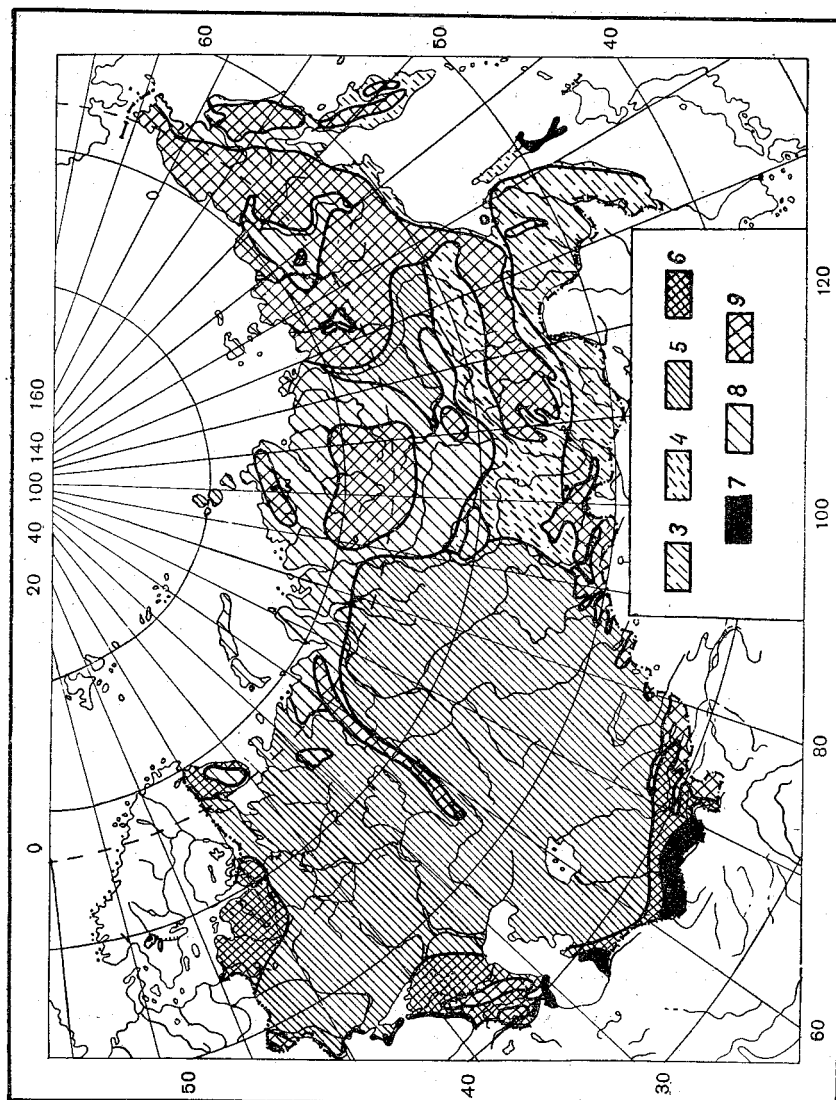


Рис. 27. Карта типов кривых длительности безморозного периода. Усл. обозначения см. рис. 25.

кривой. Зная  $\sigma$ , можно с достаточной точностью рассчитать для любого пункта вероятность окончания или начала заморозков ранее или позднее заданной даты.

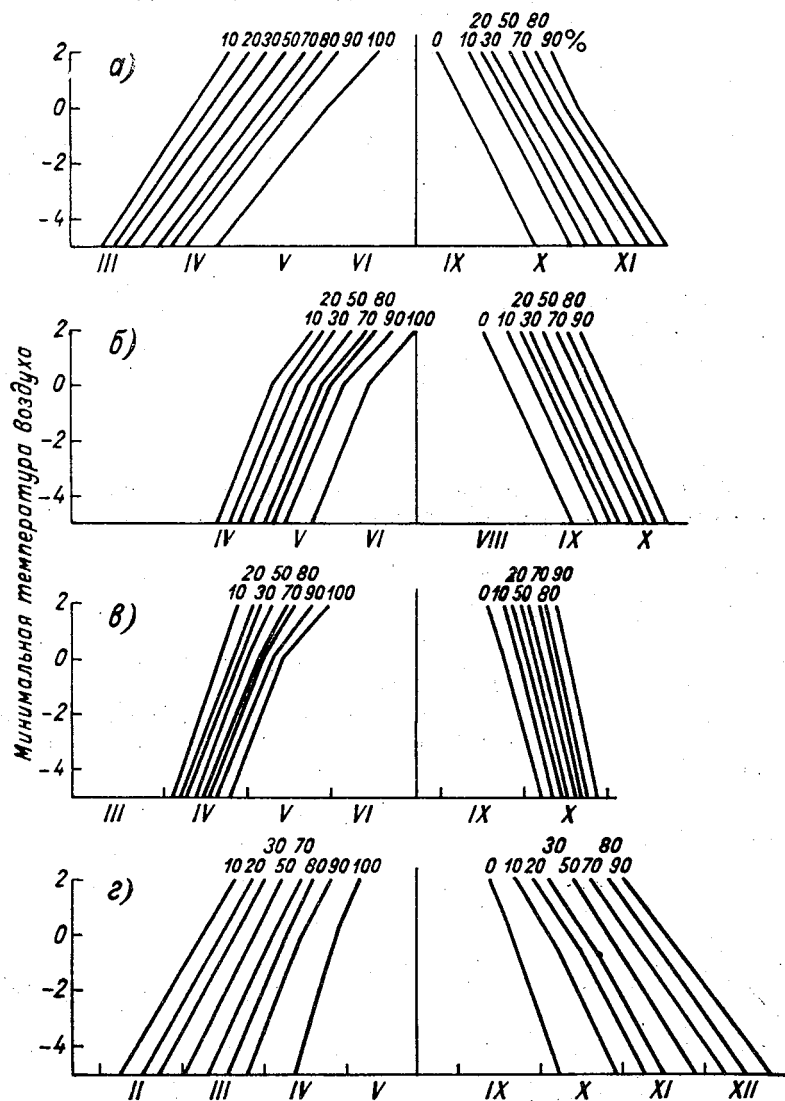


Рис. 28. Вероятность заморозков разной интенсивности в разных частях СССР.

а — Полесье, б — Западная Сибирь (район Павлодара), в — Дальний Восток (район Уссурийска), г — Средняя Азия (район Мерва).

Для расчета вероятности заморозков разной интенсивности можно использовать графики (рис. 28). На этих графиках, передвигаясь по горизонтали, соответствующей заморозку определенной

интенсивности, можно с определенной вероятностью определить даты его прекращения или начала. Перемещаясь по вертикали, соответствующей нужной дате, можно определить вероятность прекращения или начала заморозков разной интенсивности ранее этой даты. По графикам можно определить также среднюю длину периода без заморозков разной интенсивности и разной вероятности.

Например, в Полесье заморозки в воздухе  $-2^{\circ}$  и ниже один раз в 10 лет заканчиваются до 1 апреля, в 5 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, т. е. один раз в 10 лет, и в 9 годах из 10 ранее 8 ноября. Они никогда не начинаются ранее 20 сентября.

Графики позволяют определить вероятность заморозков различной интенсивности и на поверхности почвы. Например, в Полесье заморозки интенсивностью  $0^{\circ}$  в воздухе полностью прекращаются 30 мая и к этой дате также полностью прекращаются заморозки на почве и в травостое интенсивностью  $-3, -4^{\circ}$ .

#### **Вероятность повреждения заморозками некоторых сельскохозяйственных культур в различных районах СССР**

Вероятность повреждения заморозками той или иной культуры можно рассчитывать для любого района СССР, используя следующие данные:

- 1) морозостойкость культуры в разные фазы развития;
- 2) средние даты наступления различных фаз;
- 3) вероятность наступления заморозка на средние даты фаз и той его интенсивности, которая ниже морозостойкости растения в эти фазы.

Для примера рассмотрим яровую пшеницу и субтропические культуры.

##### **Яровая пшеница**

На ЕТС (по фактическим материалам) всходы яровой пшеницы очень редко повреждаются заморозками (их морозостойкость  $-7, -8^{\circ}$ , повреждение и гибель наступает при температуре  $-9, -10^{\circ}$ ). Агроклиматические расчеты возможного повреждения всходов яровой пшеницы в этом районе дали такие же результаты. Для иллюстрации приводим комплексные графики (рис. 29), на которых по оси X нанесены месяцы, а по оси Y — интенсивность заморозков на уровне растений. Прямые линии в поле графика — вероятность (в процентах) прекращения весной заморозков позже соответствующих дат и начала их осенью раньше соответствующих дат; прерывистая кривая — критическая температура повреждения яровой пшеницы в период развития. Анализ графика для Ленинградской области (рис. 29 а) показывает, что кривая морозостойкости не пересекается с линиями вероятности заморозков. Следовательно, вероятность повреждения заморозками яровой пшеницы на северо-западе ЕТС в период вегетации практически равна нулю.

В Западной и Восточной Сибири (рис. 29 б, в) в период всходов вероятность опасных заморозков для ровного места около 10%, а для морозобойных мест (рис. 29 г) — около 50%, т. е. в 4—5 годах из 10 всходы могут повре-



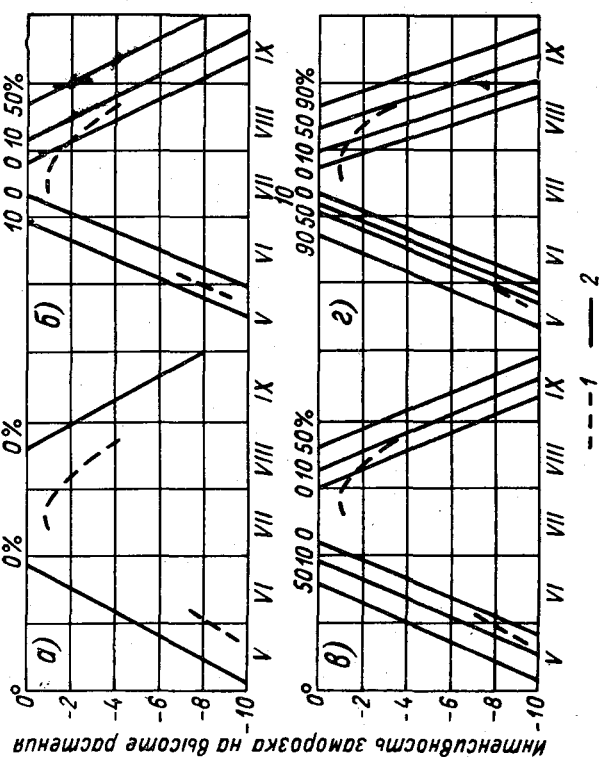


Рис. 29. Вероятность повреждения от заморозков яровой пшеницы Лютеценс 062 на разных фазах развития.

а — Ленинградская область (ровное место), б — Омская область (ровное место), в — Иркутская область (ровное место), г — Иркутская область (ни- зина); 1 — критическая температура повреждения яровой пшеницы замороз- ками на разных фазах развития; 2 — вероятность наступления заморозков разной интенсивности (%).

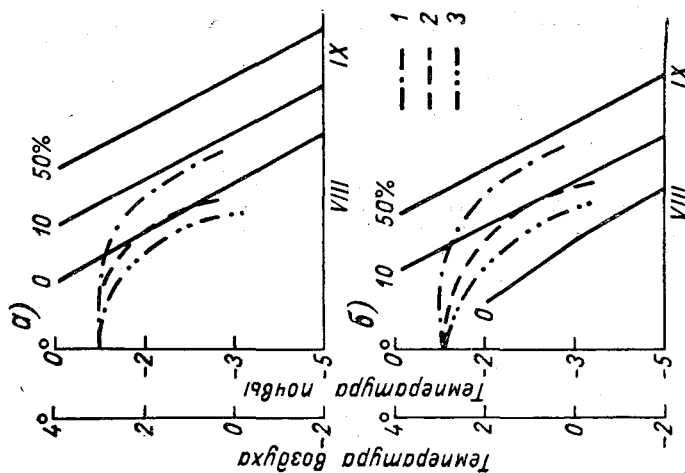


Рис. 30. Вероятность наступления опас- ных заморозков для сортов яровой пше- нны разной скороспелости.

а — средняя дата заморозков 11/IX; средняя дата созревания 25/VIII; 2 — средняя дата 15/VIII; 3 — ранних 10/VIII; 6 — средняя дата заморозков 5/IX; средняя дата созревания сор- тов яровой пшеницы: 1 — позднеспелых 30/VIII, 2 — среднеспелых 20/VIII, 3 — ранних 15/VIII.

ждаться. При таком повреждении всходы желтеют, однако после прекращения заморозков растения несколько оправляются, но в целом урожай снижается.

В период цветения, приходящийся на вторую и третью декады июля, когда генеративные органы пшеницы начинают повреждаться и гибнут при температуре  $-2^{\circ}$  и ниже, на ровных и открытых местах в Ленинградской области повреждений не бывает, а на территории Сибири они незначительны — менее 10% лет; в морозобойных местах повреждения увеличиваются до 20%. Гибель цветков растений приводит к уменьшению числа колосков в колосе и к резкому снижению урожая.

В период созревания пшеницы морозостойкость ее возрастает от  $-2$  до  $-7^{\circ}$ . В Сибири вероятность повреждения зерна заморозками на ровных участках в это время составляет около 20%, а в морозобойных местах — около 50%. На севере ЕТС в период созревания зерно повреждается заморозками в 10—15% лет. Вследствие повреждения в это время зерно получается щуплое («зяблое»), плохого хлебопекарного качества, с плохой всхожестью. Урожай пшеницы резко снижается.

На ЕТС морозоопасны районы, лежащие к северу от  $60^{\circ}$  с. ш., в Сибири — районы севернее  $55^{\circ}$  с. ш. Если в этих морозоопасных для пшеницы районах вместо сорта Лютеценс 062 возделывать более скороспелые сорта, которые созревают на 10—15 дней раньше, то вероятность повреждения скороспелого сорта заморозками в период созревания будет незначительна.

На рис. 30 показана вероятность образования опасных заморозков для сортов яровой пшеницы разной скороспелости в южной части Западной Сибири и в Северном Казахстане. Из рисунка видно, что скороспелые сорта, созревая рано, уходят от опасных заморозков, тогда как позднеспелые сорта сильно страдают от них.

Чтобы уменьшить опасность заморозков, здесь необходимо сеять скороспелые сорта.

#### Субтропические культуры

Субтропические культуры в Советском Союзе произрастают на северной границе их мирового ареала. Поэтому детальное изучение агроклиматических особенностей произрастания этих дорогостоящих культур и, в частности, изучение степени морозоопасности территории наших субтропиков имеет исключительное значение.

Большое внимание этому вопросу уделил в своих работах Г. Т. Селянинов. Полученные им величины критических температур для ряда субтропических культур были подтверждены последующими исследованиями.

В табл. 21 приведена классификация субтропических растений Г. Т. Селянинова по морозостойкости.

В 1936 г. Г. Т. Селянинов писал: «В большинстве случаев морозы в субтропиках сходны с весенними или осенними заморозками севера. Они образуются под влиянием ночного излучения при общем похолодании ... и обычно держатся только ночью».

Показателем морозоопасности для субтропических культур является средний из абсолютных годовых минимумов, от которого можно перейти к вероятности любого значения абсолютного годового минимума, используя кривые вероятности морозов. Типы таких кривых приведены на рис. 31. По оси Y здесь нанесена суммарная вероятность (в процентах), а по оси X — значения абсолютных минимумов в отдельные годы. Кривые отличаются друг от друга по крутизне и амплитуде, т. е. по устойчивости абсолютных минимумов.

Наиболее благоприятными для произрастания субтропических культур являются районы Западной Грузии, где средний из абсолютных минимумов составляет около  $-4^{\circ}$ . Наблюдающиеся здесь морозы до  $-8^{\circ}$  и ниже могут вызывать обмерзание кроны у лимонов, ветвей у апельсинов, листы и однолетних побегов у мандаринов. Однако вероятность таких морозов невелика — один раз в 10—15 лет.

Следует заметить, что даже в этих благоприятных районах необходима защита цитрусовых от морозов. Так, при морозе  $-8^{\circ}$  дерево лимона не дает уро-

Таблица 21

## Классификация древесных субтропических растений по их морозостойкости в период покоя

Растение	Критические температуры повреждения (град.)		
	слабые повреждения	сильные повреждения	гибель или отмерзание до корня
Группа I			
Анона, дынное дерево, герань, хинное дерево, индийские сорта чая	0, —2	—2, —5	—
Группа II			
Лимон, эвкалипт, мандарин итальянский, апельсины (итальянские сорта), акация австралийская	—4, —5	—6, —7	—8, —9
Группа III			
Акация Деальбата, драцена, апельсин турецкий, апельсин Вашингтон Навель, финик канарский	—5, —7	—8	—10
Группа IV			
Мандарин Уншиу, эвкалипт, агава, олеандр, лавр камфарный, алеуритесы	—7, —8	—10	—12
Группа V			
Юбеа, лавр благородный, маслина, чай — китайские сорта, гваюла, сабаль, хамеропс фейхоа, трахикарпус	—9, —10	—15	—18, —20
Группа VI			
Инжир, лавровишня, пробковый дуб, кипарис, гранат, пиния	—12	—16	—20, —22
Группа VII			
Хурма японская, криптомерия, мелкие сорта бамбука, юкка, магнолия	—15	—20	—25
Группа VIII			
Фисташка, зукомия, виноград, грецкий орех	—18	—22	—26

жая несколько лет. Если же мороз достигает  $-9^{\circ}$  и ниже, то дерево лимона при отсутствии защиты полностью погибает, и тогда для восстановления полного плодоношения новыми насаждениями необходим интервал времени 5—6 лет.

По исследованиям Селянинова, наиболее благоприятными районами для промышленной культуры лимонов, апельсинов и мандаринов без защиты являются те, в которых средний из абсолютных минимумов соответственно не ниже  $+0,3$ ;  $-1,2$ ;  $-6,6^{\circ}$ . Применительно к лимонам таких районов в субтропиках СССР нет; апельсины же могут возделываться без зимней защиты на крайнем юге Аджарской

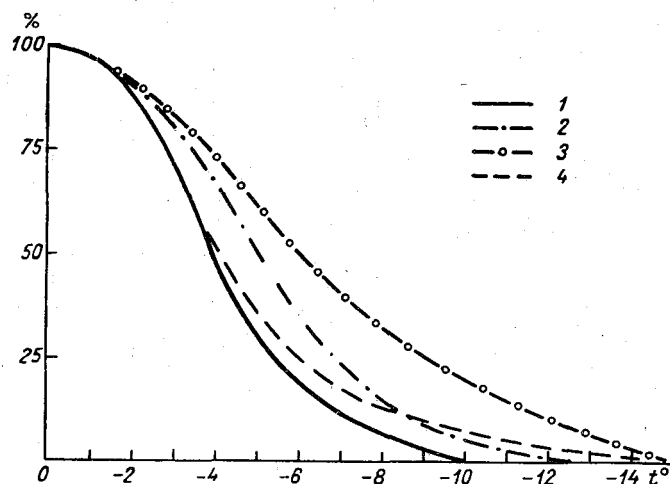


Рис. 31. Типы кривых вероятности наступления минимальных температур в разных местоположениях в субтропической зоне Западной Грузии.

1 — теплые склоны, обращенные к морю, 2 — склоны, удаленные от моря, 3 — широкие долины с подтоком холодного воздуха, 4 — низменные побережья.

АССР и в Гагринском районе Абхазской АССР. Культура мандаринов может произрастать без защиты на благоприятных по микроклимату участках Черноморского побережья Кавказа.

### Опасные заморозки на территории СССР

По соотношению длительности безморозного периода и времени наступления заморозков на территории СССР выделено три зоны: холодная, умеренная и зона с теплой зимой (рис. 32, 33).

**Холодная зона.** В пределах этой зоны, границы которой в основном совпадают с южной границей вечной мерзлоты, может быть выделено два крупных района, различающихся по длительности безморозного периода.

Первый район очень холодный, не земледельческий; средняя длительность безморозного периода в северной части около 25—30 дней, а на южной границе — не более 60 дней. В южной части района наименьшая длительность безморозного периода в воздухе не более 20—25 дней, на почве 10—12 дней. Заморозки возможны в любой день лета при температуре  $-2$ ,  $-3^{\circ}$  в метеорологической

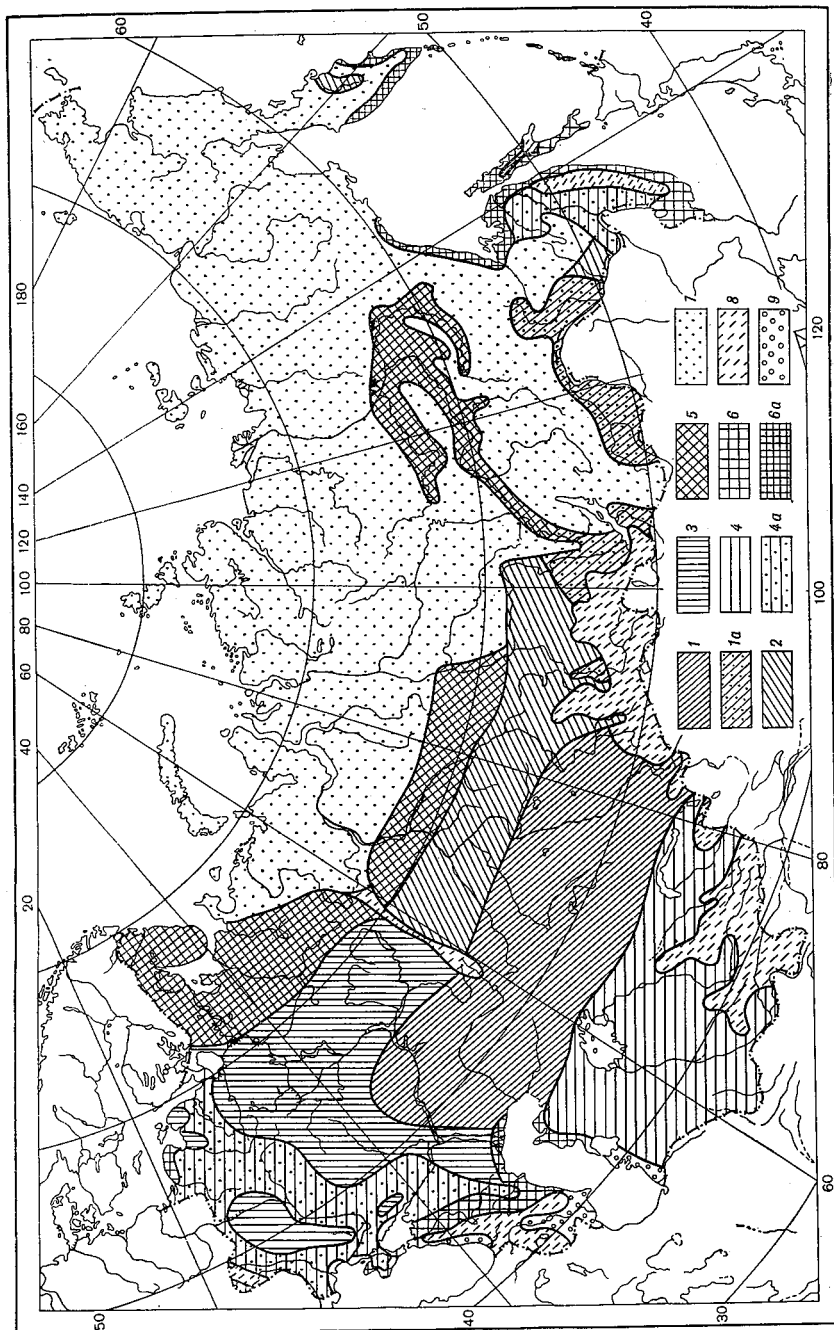


Рис. 32. Вероятность опасных заморозков. Весна.

Из 10 лет: 1 и 1а — от 5 до 6, 2 — от 3 до 4, 3 — от 2 до 3, 4 и 4а — от 1 до 2, 5 — от 0 до 1, 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.

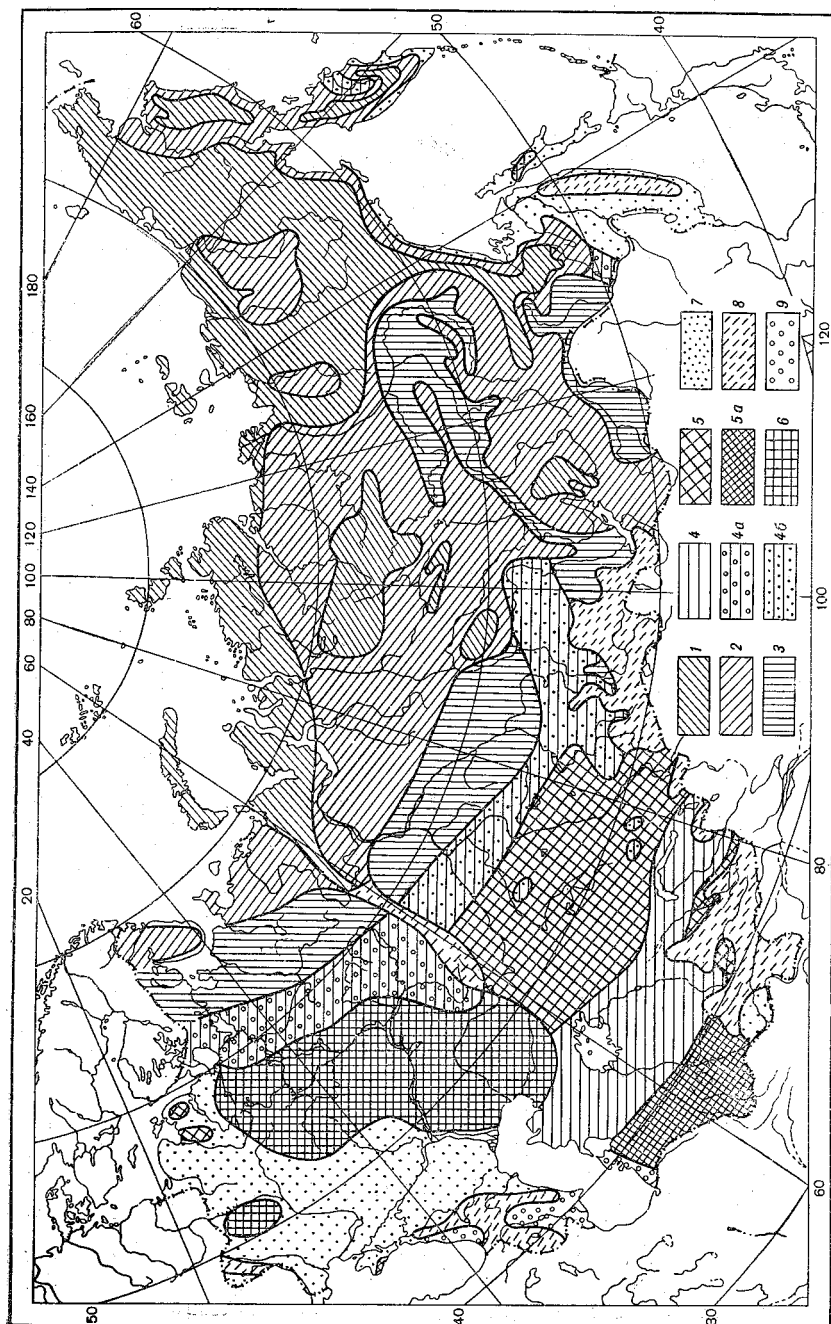


Рис. 33. Вероятность опасных заморозков. Осень.

Из 10 лет: 1 — ежегодно (нет посевов), 2 — более 5 (опасны и летом), 3 — от 3 до 4 (опасны и летом), 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.

будке. В северной части района преобладают адвективные заморозки.

Район занимает крайний север Азиатской части СССР и горные территории Восточной Сибири и Якутии (рис. 32, район 1).

Во втором холодном районе (рис. 32, район 1а) земледелие возможно отдельными очагами. Сюда относятся территории со средней длительностью безморозного периода от 60 до 90 дней (на поверхности почвы соответственно от 30 до 60 дней). Заморозки здесь возможны во все месяцы вегетационного периода. Короткий безморозный период наблюдается обычно со второй половины июля по начало августа.

Основная территория района расположена севернее 60—63° с. ш., вследствие чего весенние заморозки, приходящиеся на июнь, на период белых ночей, малоинтенсивны и опасности для всходов не представляют. В литературе описаны летние и осенние заморозки в июле и августе, губящие ботву картофеля и повреждающие зерновые (ячмень) во время цветения и налива зерна (рис. 32, район 7, рис. 33, район 2).

*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° на уровне растений (рис. 32, районы 2—6). По степени опасности осенних заморозков в этой зоне выделено пять районов, границы которых не совпадают с границами районов опасных весенних заморозков (рис. 33, районы 3—7).

Наиболее часты опасные заморозки весной в континентальном сибирском районе, территориально разделенном на отдельные части. Континентальность климата выражается в повышении средней температуры времени прекращения заморозков весной до 12,5—13,0° для ровных мест и до 14—15° в отрицательных формах рельефа (небольшие долины, лога, низины и т. п.) и на полянах.

В районе 1а (рис. 32), расположенном отдельными частями в Минусинской котловине, в Иркутской области и в Забайкалье, средняя длительность безморозного периода в результате резкой континентальности климата и относительно большой высоты над уровнем моря (выше 400—500 м) не превышает 90—120 дней, уменьшаясь на поверхности почвы еще на 30 дней.

Высокая средняя температура ко времени прекращения заморозков и малая длительность безморозного периода приводят к необходимости раннего сева и посадки сельскохозяйственных культур, поэтому опасность заморозков для всходов теплолюбивых культур и рассады здесь очень велика. Вероятность повреждения этих культур (без применения мер борьбы с заморозками) составляет около 5—6 лет из 10. Кроме теплолюбивых огородных культур (огурцов, томатов и т. п.), в районе часто страдают от заморозков всходы картофеля и кукурузы. Несколько реже страдают всходы яровых зерновых культур (яровая пшеница, овес, ячмень).

В районе 1, занимающем большую территорию южной части Западной Сибири, Северного Казахстана и Поволжья, повторяемость опасных заморозков для теплолюбивых культур также велика — 5—6 лет из 10.

Большая длительность безморозного периода в этом районе позволяет не спешить с посевом теплолюбивых овощей и высадкой рассады, в результате чего климатическая опасность весенних заморозков для этих культур может быть существенно уменьшена.

Весенние заморозки могут повреждать теплолюбивые огородные и полевые культуры (например, гречиху) в 5—6 годах из 10. В 2—3 годах из 10 в западной части района повреждаются цветки и завязи плодовых (вишня, яблоня) и винограда. К востоку повреждаемость этих культур несколько возрастает. Примерно с такой же частотой повреждаются ранние всходы картофеля, кукурузы, проса. Возможны повреждения всходов яровых зерновых (главным образом овса и ячменя).

Различие в морозоопасности районов 1 и 1а определяет разный набор культур, подвергающихся заморозкам.

В районе 2, занимающем территорию в средней части Западной Сибири к северу от района 1, южную часть Красноярского края, часть Иркутской области и низовья Буреи на Дальнем Востоке, опасность весенних заморозков для теплолюбивых культур уменьшается до 4—5 лет из 10. Средняя длительность безморозного периода здесь составляет примерно 90—100 дней, заморозки прекращаются в среднем после установления температуры 11—12°. Наиболее часто повреждаются заморозками всходы картофеля и сходных по уровню критической температуры культур. В отдельные годы страдают всходы яровых зерновых и даже озимые культуры в период цветения (озимая рожь в конце июня).

В районе 3, занимающем среднюю часть ЕТС, вероятность повреждения сельскохозяйственных культур весенними заморозками уменьшается до 3—4 лет из 10. Состав культур и календарное время повреждения их на этой большой площади, простирающейся от 60° с. ш. до Волыни, Донбасса и низовьев Волги, существенно различается, но повторяемость повреждений почти не изменяется.

Заморозки в среднем прекращаются при наступлении средней суточной температуры воздуха около 10—11°. В западной и южной частях территории могут повреждаться цветки и завязи плодовых (вишня, яблоня, слива), а также винограда (в границах ареала его распространения). Возможны незначительные повреждения яровых зерновых (пожелтение листьев и частичная гибель всходов овса и ячменя), гибель всходов картофеля, кукурузы, проса ранних сроков посадки и посева.

В северной части района, особенно на северо-востоке, опасны заморозки в первой и второй декадах июня, в средней части — во второй половине мая и в начале июня, а на юге (на Подольско-Волынской возвышенности, в Донбассе и в низовьях Волги) — в конце апреля и в начале мая.



Вероятность опасных заморозков весной в западной и южной частях ЕТС, в Средней Азии и в некоторых районах Дальнего Востока 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 ЕТС, Закарпатье и долины рек Усури и Амура к востоку от Буреинского хребта на Дальнем Востоке, отнесенные к району 4а, отличаются относительно ранним прекращением весенних заморозков при средней температуре воздуха около 9—10°. Наиболее часто повреждаются цветки и завязи плодовых, всходы картофеля ранних сроков посадки, всходы теплолюбивых культур. В отдельные годы возможны повреждения всходов яровых зерновых.

В районе 4 в условиях континентального климата с быстрым ростом температуры воздуха заморозки заканчиваются при средней температуре около 11—12°. В этом районе в 2—3 годах из 10 повреждаются виноградники в период распускания почек, цветки и завязи рано цветущих южных плодовых культур (абрикос), всходы теплолюбивых южных овощных культур. В отдельные годы повреждаются всходы хлопчатника.

Для района 5 характерно уменьшение опасности весенних заморозков до 1—2 лет из 10. Сюда относится северная часть ЕТС, Западная Сибирь и район в пределах 60—62° с. ш. 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 отмечаются здесь очень редко. Площади посевов невелики. Возможны повреждения всходов картофеля, небольшие повреждения всходов ячменя и овса.

Общим для района 6 является малая вероятность образования опасного заморозка (около 1 раза в 10—15 лет) вследствие раннего прекращения заморозков уже при температурах ниже 10°. На Северном Кавказе и в Приморском крае заморозки иногда повреждают всходы картофеля, кукурузы, цветки плодовых.

В пределах умеренной зоны летом и осенью наиболее опасны заморозки в северной части, прилегающей к холодной зоне, а также в Минусинской котловине, Иркутской области и в Забайкалье (рис. 33, район 3). Вероятность опасных заморозков здесь составляет 3—4 года из 10. Осенние заморозки начинаются уже при средних суточных температурах около 11° в условиях ровного места и при 12—13° в понижениях. В результате небольшой средней длительности безморозного периода от летних и ранних осенних заморозков страдает картофель, урожай которого может полностью погибнуть при наступлении заморозков в начале августа, и зерновые в период цветения и налива зерна. Эти культуры повреждаются также при посеве в морозобойных местах в отрицательных формах рельефа (пади, лога), в которых часто зерновые и карто-

фель гибнут от заморозков, в то время как на прилегающих склонах эти культуры дают хороший урожай. Сильны и часты повреждения яровых зерновых (яровая пшеница, овес, ячмень) среднеспелых и поздних сортов.

В районе 4а осенние заморозки начинаются при температуре воздуха ниже 10° и средней длительности безморозного периода около 100—120 дней. Осенние заморозки губят вегетативную массу теплолюбивых огородных и полевых культур, ботву поздних сортов картофеля. Однако урожай этих культур (огурцы, томаты, картофель, кукуруза, гречиха) от заморозков погибает редко вследствие того, что активная вегетация их прекращается еще до заморозков в результате общего недостатка тепла. Повреждение зерновых в период налива зерна здесь отмечается редко.

При неблагоприятном микроклиматическом положении места в районе 4б возможны заморозки в июле и в начале августа. Повреждаются те же культуры, что и в районе 4а, но значительно больше страдают яровые зерновые во время цветения и налива зерна, особенно яровая пшеница среднеспелых и поздних сортов.

В районе 4 (среднеазиатском) безморозный период значительно длиннее, чем в районах 4а и 4б. Летних заморозков здесь не бывает. Осенью заморозки начинаются при температуре воздуха около 11—12°. В 2—3 года из 10 ранние заморозки повреждают хлопчатник, поздние сорта винограда и поздние огородные культуры. Наступление заморозков в северной части района возможно в последнюю декаду сентября, в южной части — в конце этого месяца.

В районе 5 и 5а вероятность опасных заморозков не более 1—2 лет из 10. В районе 5а они в основном опасны для хлопчатника и наступают в отдельные годы уже в первых числах октября. В районе 5, отличающемся значительно более коротким вегетационным периодом, ранние осенние заморозки (в начале сентября) повреждают теплолюбивые огородные культуры, а во влажные годы с затянувшимся периодом вегетации — также зерно яровой пшеницы средних и поздних сортов в период созревания. В такие годы могут быть повреждены также кукуруза и просо.

#### **Агроклиматическая оценка методов борьбы с заморозками в различных климатических областях СССР**

Агроклиматическая оценка методов борьбы с заморозками основана на учете вероятности наступления опасного заморозка, его интенсивности и ценности урожая сельскохозяйственных культур.

На рис. 34 дана схема комплекса необходимых мероприятий по борьбе с заморозками в различных климатических областях СССР. В северных районах Сибири (на карте район 1) произрастание сельскохозяйственных культур возможно только в теплицах и парниках. На севере ЕТС и большей части Сибири (район 2) в зависимости от характера заморозка и рельефа необходимо применять комплекс мероприятий по борьбе с опасными заморозками.

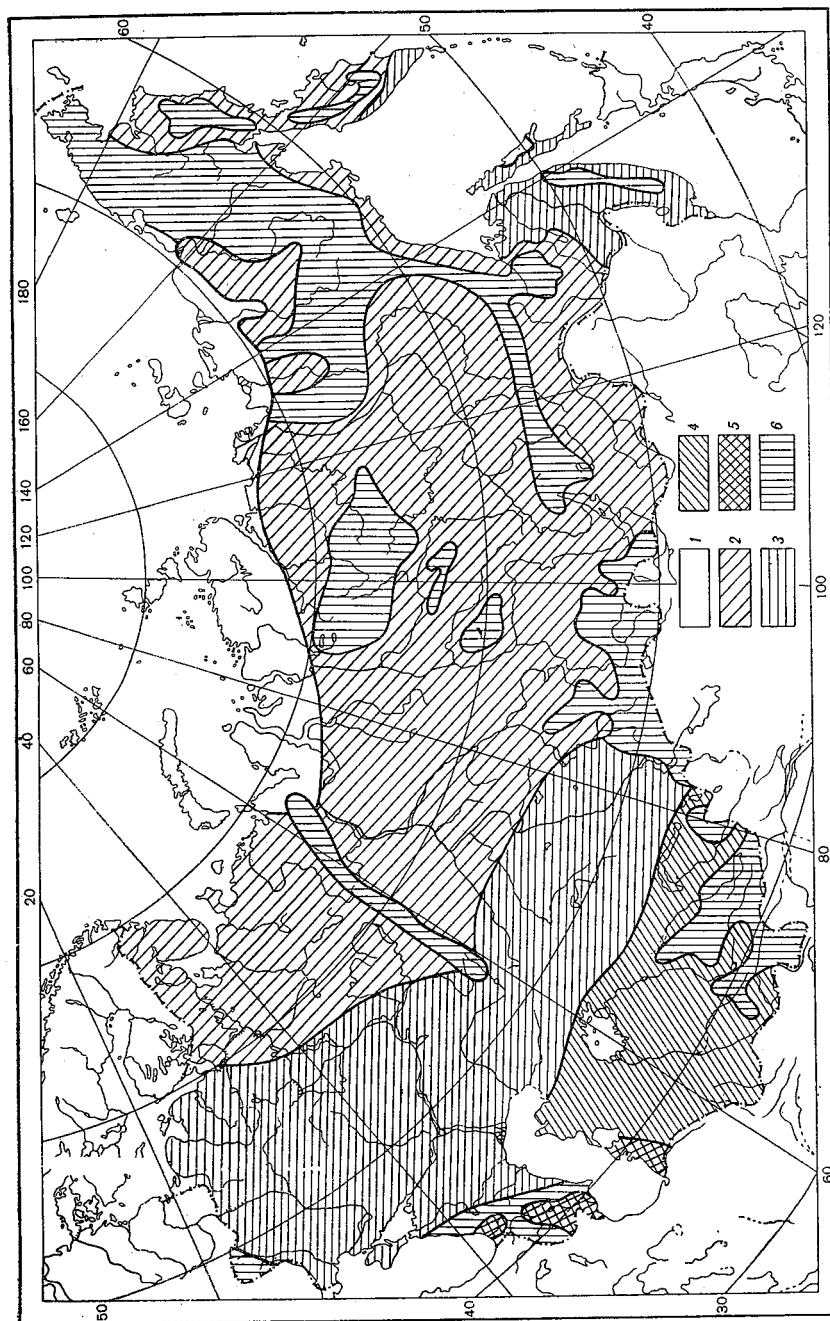


Рис. 34. Схематическая карта комплекса мероприятий по борьбе с заморозками в разных климатических областях СССР.

1 — закрытый и утепленный грунт; 2 — строгий учет микроклимата, защита от холодных ветров, сея местных морозоустойчивых сортов и сортов разной скороспелости, уборка зерновых до 1-5/IX; при летних заморозках интенсивное дымление; 3 — учет микроклимата, укрытие всходов, дымление; 4 — орошение, интенсивное дымление; 5 — для субтропических культур строгий учет микроклимата, специальная агротехника, укрытия, открытый обогрев; 6 — горные районы (характеристика не приводится).

Большое значение имеют здесь правильный выбор участков под посевы, гребневание, подбор сортов по морозоустойчивости и скороспелости, дымление и обогрев при легких заморозках, различные укрытия, более поздний сев культур, сокращение периода вегетации высадкой рассады.

Такие же меры борьбы с заморозками применимы и в районе 3 (рис. 34).

В Средней Азии рекомендовано орошение и интенсивное дымление. Эти меры здесь особенно продуктивны, так как заморозки в Средней Азии хотя и опасны, но не очень интенсивны.

Для субтропической зоны в целях предотвращения гибели догостоящих субтропических культур от морозов рекомендованы укрытия, использование благоприятных микроклиматических условий, открытый обогрев и специальная агротехника.

## § 2. ЗАСУХИ

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.

Изучение этих опасных явлений началось давно. Систематические исследования в нашей стране в этом направлении ведутся со второй половины XIX в. Особенно значительные исследования в последнее время проведены в научных институтах Гидрометеорологической службы и Академии наук СССР.

### Сущность засух и условия их образования

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.

Различают два типа засух: почвенную и атмосферную. Под почвенной засухой понимают явление, при котором вследствие длительного бездождя или недостаточного количества осадков почва в корнеобитаемом слое значительно высыхает и растения начинают страдать от недостатка влаги. Во время почвенной засухи недостаток влаги в растениях обусловлен несоответствием между потребностью растений во влаге и имеющимися ресурсами ее в почве. Однако иногда и при достаточном количестве влаги в почве некоторые растения страдают от недостатка воды. Такая засуха называется атмосферной. 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. Атмосферная за-

суха часто предшествует почвенной. Когда оба типа засух наблюдаются совместно, отрицательный эффект их действия становится наибольшим.

Потребность растений во влаге и реакция их на засуху определяются многими факторами, что еще раз подчеркивает сложный, комплексный характер засухи. К числу факторов следует отнести погодные условия, биологические особенности культур, обеспеченность растений питательными веществами, уровень применяемой агротехники. Особого внимания среди них заслуживают биологические свойства растений.

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. С физиологической стороны многие засухоустойчивые растения характеризуются мелкоклеточностью строения, большим числом устьиц на единицу поверхности и малыми их размерами, отложениями крахмала в важнейших участках листьев, что предохраняет их от перегрева и обезвоживания.

Эти и другие приспособительные реакции, сформировавшиеся под непосредственным воздействием условий жизнеобитания, во многом определяют разную потребность растений во влаге. Такое различие может проявиться даже в различных сортах одного и того же растения. Поэтому правильно определить влияние засухи можно только применительно к определенной сельскохозяйственной культуре.

В последнее время показано, что засухоустойчивость растений является свойством, которое можно изменять в ходе развития растения (что открыло возможности управления этим свойством). Так, было установлено, что подсушивание предварительно намоченных семян перед посевом вызывает значительные изменения в коллоидно-химическом состоянии клеток. В последующем оно проявляется в виде повышенной засухоустойчивости у растений, полученных из этих семян.

Из других факторов отметим связь реакции растений на засушливые условия с уровнем агротехники. Доказано, что одни и те же засушливые условия при низком уровне агротехники могут вызывать угнетение растений и даже их гибель, в то время как высокий уровень агротехники зачастую позволяет тем же растениям выйти из-под влияния засухи без больших потерь урожая. Следовательно, применение передовой агротехники может существенно улучшать условия развития растений, которые ранее считались неблагоприятными.

Таким образом, по мере развития сельскохозяйственной науки и техники (выведение засухоустойчивых сортов, применение орошения, передовой агротехники и пр.) будут улучшаться условия существования растений и поэтому должен будет снижаться эффект влияния засух, хотя общие атмосферные процессы, возможно,

останутся неизменными. Это, естественно, приведет к необходимости изменения агроклиматической оценки засух.

Образование засух на территории СССР связано с мощными атмосферными процессами, которые приводят к установлению длительной антициклональной погоды. Обычно это квазистационарные антициклонические образования, занимающие обширные пространства. Чаще всего антициклоны на ЕТС приходят из Арктики (примерно 70% всех случаев).

Воздушные массы таких антициклонов, сформированные из арктического воздуха, характеризуются большой прозрачностью и малой влажностью воздуха. Устанавливаясь над центральной частью, югом или юго-востоком ЕТС, антициклоны приводят к формированию ясной или малооблачной погоды. Вследствие этого происходит быстрая трансформация арктического воздуха: он прогревается, температура его в приземном слое возрастает, влажность резко падает. Идет быстрое испарение почвенной влаги. Длительное время не выпадают осадки. Следствием таких процессов является образование засухи. Таким образом, засухи на ЕТС чаще всего возникают после прихода на эту территорию холодного и сухого арктического воздуха. Процесс образования засухи резко интенсифицируется при поступлении свежих арктических масс.

Засухи на ЕТС возникают и в антициклонах западного, азорского происхождения. Самые обширные и катастрофические засухи обуславливаются взаимодействием антициклонов арктического и азорского происхождения; такими, например, были засухи 1921 и 1946 гг.

В общем виде схема возникновения засух, предложенная Ф. Ф. Давитая, представлена на рис. 35.

Следует подчеркнуть, что свойственная засухам уменьшенная затрата тепла на испарение (обусловленная малым количеством влаги в почве) способствует резкому увеличению затрат тепла на прогревание воздуха. Это придает засухам черты процесса саморазвития. Процесс такого типа наиболее эффективно проявляется в условиях ослабленной атмосферной циркуляции, часто наблюдающейся в мощных антициклонах.

Характерно, что циркуляционные атмосферные процессы, приводящие к образованию засух, одновременно часто создают предпосылки к появлению суховеев. Можно утверждать, что суховей также характерен для засухи, как засуха характерна для континентального климата. Детально вопросы, связанные с природой суховея, рассмотрим в § 3 этой главы. Здесь же укажем лишь на основные различия между засухами и суховеями.

При засухе (в отличие от суховеев) метеорологические элементы (температура, влажность, ветер, испарение) характеризуются суточным ходом, близким к нормальному. Так, температура воздуха, высокая днем, ночью обычно понижается, что приводит к повышению ночью относительной влажности воздуха. Поэтому в ночные часы возможно образование росы. Наибольшая в околополуденные часы скорость ветра к вечеру уменьшается. Благодаря

таким особенностям испарение влаги при засухах также наиболее интенсивно протекает днем.

В заключение отметим частую повторяемость засух и значительные площади, захватываемые засухами (применительно к территории СССР). На территории нашей страны за 75 лет (с 1890 по 1965 г.) было 30 лет с засухами. Они приходились на разные районы. Например, засуха 1911 г. охватила восточную часть Европейской территории СССР от линии Одесса—Воронеж—Горький (без Кубани); сильная засуха 1946 г. распространилась на боль-

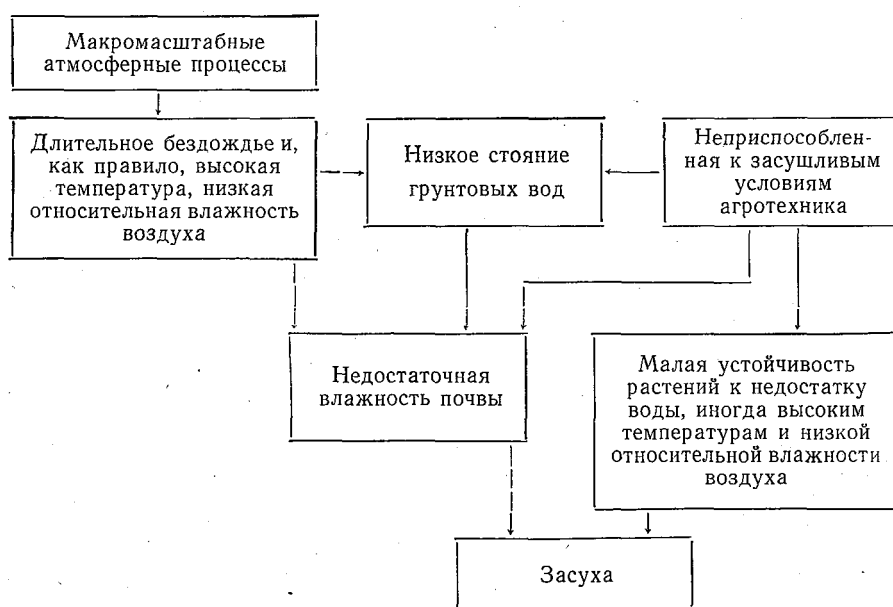


Рис. 35. Схема образования засухи.

шое пространство, но особенно резко она проявилась на юго-западе Украины, в центрально-черноземной зоне и примыкающих областях центра, и в Поволжье.

#### Агроклиматические показатели засух

Различные исследователи в процессе анализа засух предлагали различные показатели. В. В. Докучаев, например, в конце прошлого века для характеристики степени засушливости района сопоставлял осадки с испаряемостью. В дальнейшем эта идея, нашедшая широкое признание, развивалась многими исследователями.

В ряде работ и сейчас при оценке сухости климата используется гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова. Известны формулы В. П. Попова, Н. В. Бовы и других исследователей.

Некоторые из этих показателей рассмотрены в § 5 главы II. Существенным недостатком многих из них является отсутствие учета уровня агротехники, величины падения урожая и ряда других факторов.

Р. Э. Давид, А. В. Процеров, А. М. Алпатьев и некоторые другие считают, что надежным показателем напряженности засухи является снижение урожая по сравнению со средней многолетней величиной. Алпатьев рекомендует к засушливым годам относить те, при которых снижение урожая составило более 25% средней многолетней величины. Снижение урожая до 25%, по его мнению, возможно вследствие действия других причин: отступлений в агротехнике, разницы сортов и т. д.

Процеров предложил следующие показатели интенсивности засухи: засуха очень сильная — снижение урожая более 50%; засуха сильная — снижение урожая более 20%; засуха слабая — снижение урожая на 20%.

Интересны исследования засух применительно к определенным сельскохозяйственным культурам. В 1958 г. вышла работа о засухах на территории СССР, выполненная агрометеорологами ВИРа применительно к яровым культурам. Оценка засух в этой работе проведена с учетом урожая и увлажнения почвы. Такой комплексный подход к решению проблемы позволил получить биоклиматические (агроклиматические) показатели засух для яровых культур. Годы с засухами считались те, в которые урожай по сравнению со средним значением снижался более чем на 25%.

Агроклиматический показатель засухи в этой работе выражен через ГТК за период май—июль, что имеет решающее значение для урожая яровых.

Дифференциация показателя по климатическим зонам дала следующие 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=0,6 показатель засухи равен 0,5.

Используя эти показатели, можно составить агроклиматическую характеристику засух территории применительно к яровым культурам.

Для этого необходимо:

1) рассчитать среднюю многолетнюю величину ГТК за период май—июль или снять с карты (рис. 36) и по графику обеспеченности (или номограмме) найти обеспеченность различных значений ГТК;

2) определить, в какой климатической зоне расположена станция и далее найти агроклиматический показатель засухи этой зоны;

3) по найденным значениям обеспеченности различных значений ГТК определить обеспеченность показателя засухи.



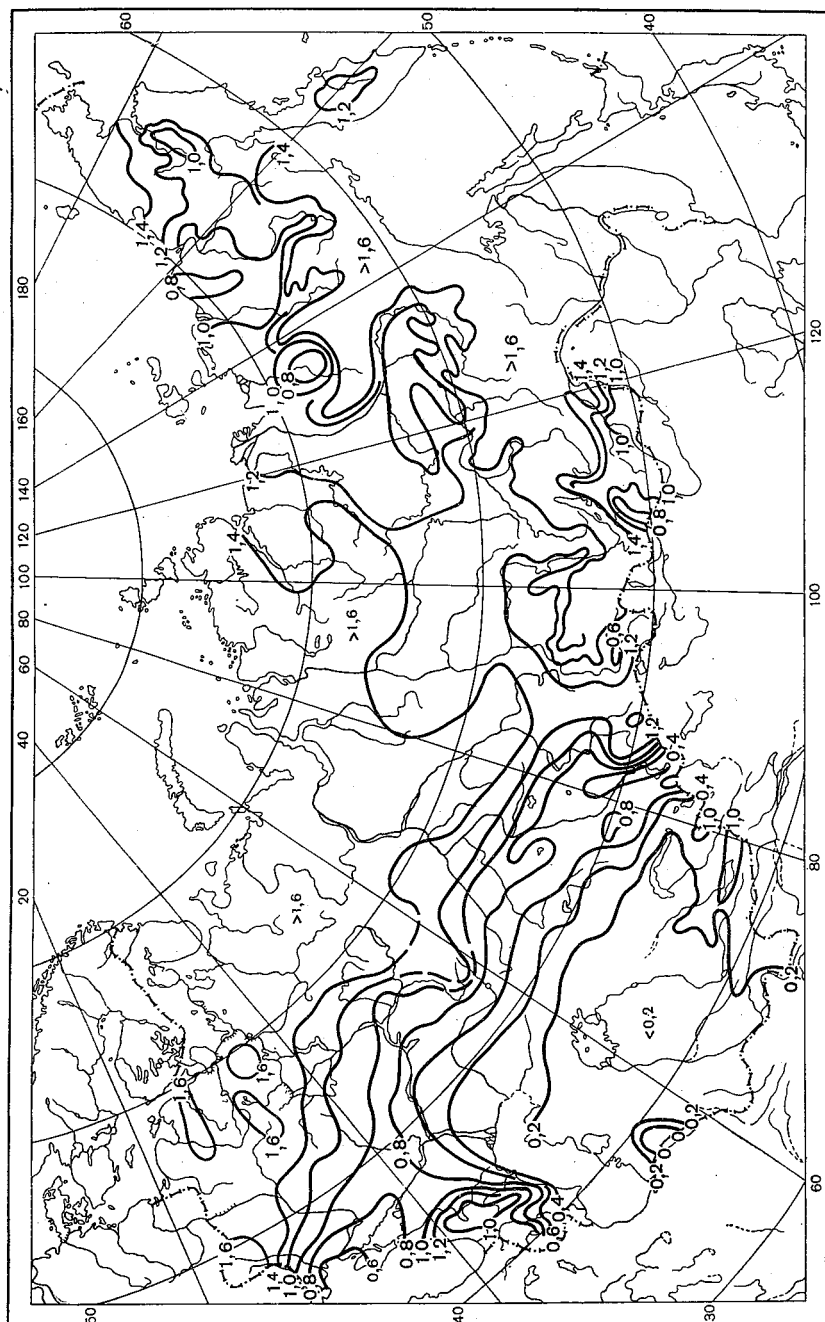


Рис. 36. Обеспеченность влагой за май—июль по показателю увлажнения Селянинова.

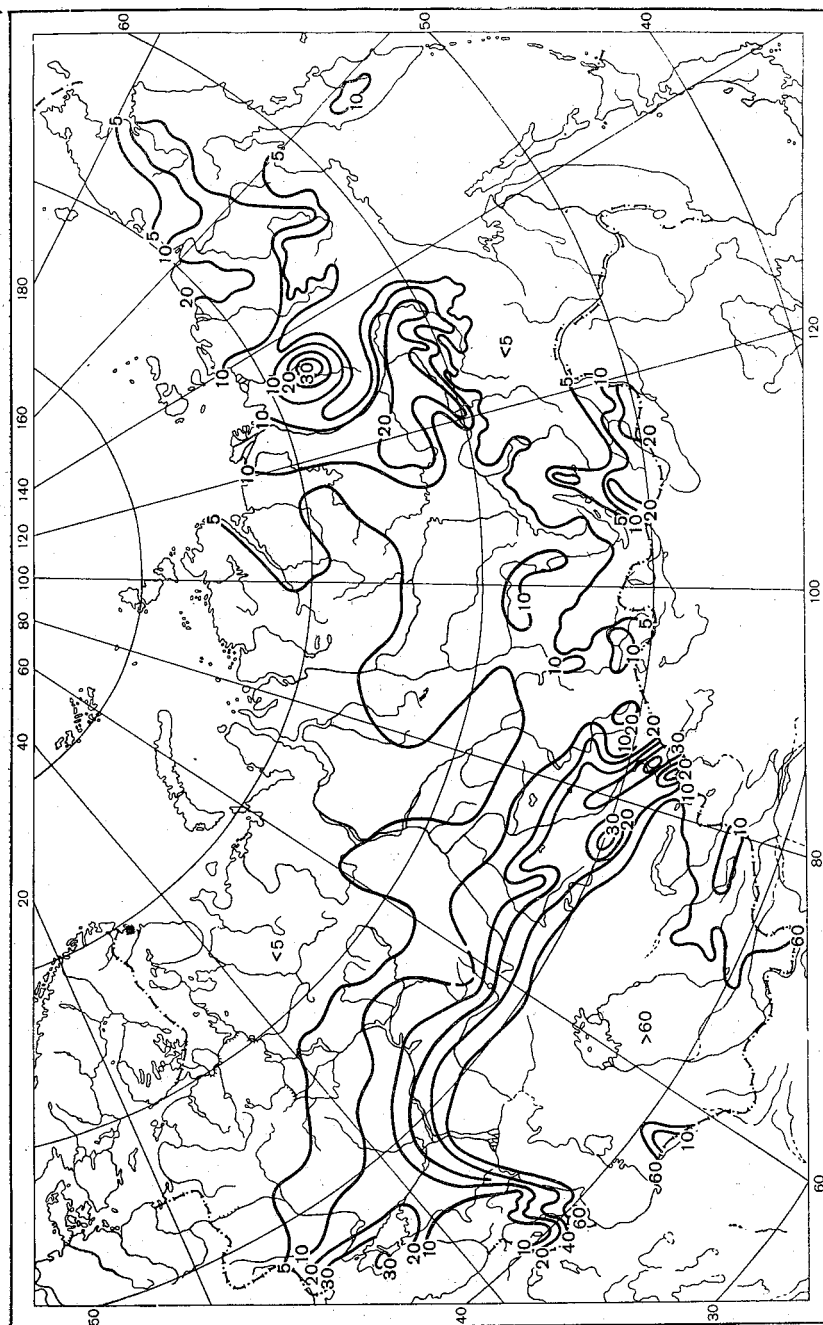


Рис. 37. Вероятность засух (%).

На рис. 37 приведена карта вероятности засух на территории СССР, которая дает общее представление об их опасности в различных районах для культур, вегетация которых в основном проходит с мая по июль.

Исследования засух применительно к культуре картофеля были выполнены А. И. Руденко. Он пришел к выводу, что в период клубнеобразования засуха приводит к резкому снижению урожаев картофеля. Им установлены следующие агроклиматические показатели засухи для ЕТС в период клубнеобразования: сильная засуха — ГТК ниже 0,4; засуха меньшей интенсивности — ГТК изменяется от 0,4 до 0,6.

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.

Анализ сопряженных материалов наблюдений за влажностью почвы и состоянием сельскохозяйственных растений показал, что снижение запасов продуктивной влаги в пахотном слое 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.

Влияние почвенной засухи на урожай зерновых особенно велико в период выход в трубку—цветение. Количество сухих декад в это время считается главным критерием при оценке засухи применительно к яровым зерновым.

Пересыхание пахотного слоя резко сказывается на корнеплодах в период интенсивного роста корней, на кукурузе — накануне выбрасывания метелки и т. д. Величина снижения урожая в конечном итоге определяется интенсивностью засухи в это время, биологическими особенностями культуры, типом почв и другими причинами.

### Типы засух

Типизация засух позволяет, с одной стороны, судить о времени их возникновения (а следовательно, о степени опасности для растений) и, с другой стороны, планировать приемы борьбы с ними.

По времени возникновения и продолжительности действия выделяют три типа засух: весенние, летние и осенние. Весенняя засуха характеризуется сравнительно низкими температурами, низкой относительной влажностью воздуха, сухими ветрами. Этот тип засухи задерживает всходы, ослабляет кущение и укоренение растений, уменьшает количество заложившихся колосков в колосе. При больших запасах почвенной влаги весной эта засуха влияет на растения незначительно. Наименьшему влиянию весенней засухи подвержены хорошо развитые озимые.

Летняя засуха характеризуется низкой относительной влажностью воздуха, высокой температурой, большой величиной испаряемости. Летняя засуха приостанавливает накопление вегетативной массы, прирост корней и клубней, может вызвать щуплость зерна. Поскольку к моменту возникновения летней засухи в степных и лесостепных районах запасы влаги в пахотном слое (при отсутствии орошения) оказываются недостаточными, летняя засуха оказывает гораздо более сильное отрицательное воздействие на сельскохозяйственные растения, чем весенняя.

Осенняя засуха опасна лишь для позднеспелых культур, особенно озимых.

По данным Процерова, повторяемость засух на ЕТС следующая: весенних — 42%, летних — 33%, осенних — 25%. В отдельных случаях засуха может захватить большую часть периода вегетации. Засуха 1946 г., например, продолжалась все три сезона — весну, лето, осень.

Отдельные исследователи типизировали засухи применительно к конкретным сельскохозяйственным культурам. А. И. Руденко выделил четыре типа засух применительно к яровой пшенице:

тип I — засуха в период от посева до начала молочной спелости;

тип II — от посева до восковой спелости;

тип III — от кущения до начала восковой спелости;

тип IV — в разные периоды формирования урожая (а — от посева до кущения, б — от конца кущения до восковой спелости, в — от колошения до восковой спелости, г — от посева до кущения и от колошения до восковой спелости). В качестве критериев интенсивности засухи Руденко использовал осадки и величину снижения урожая. Засухи были разделены на очень сильные, сильные и средние. Очень сильная засуха, по Руденко, приводит к снижению урожая более чем на 50%. Ей соответствует сумма осадков за период всходы—колошение до 18 мм. Сильная засуха снижает урожай яровых на 20—25%. При этом за период всходы—колошение выпадает 30—35 мм осадков. Средняя засуха снижает урожай на 20%; осадков за период всходы—колошение выпадает несколько более 35 мм.

Интенсивность засух оценивалась им также по величине ГТК и количеству засушливых декад. Очень сильной засухе соответствует пять засушливых декад и ГТК более 0,4; сильной засухе — три-четыре засушливые декады и ГТК = 0,4 ÷ 0,5; средней засухе — две засушливые декады и ГТК = 0,6.

Детальный анализ засух с учетом указанных показателей выявил, что на ЕТС преобладают длительные засухи. При этом длительные засухи являются и наиболее интенсивными.

#### Методы борьбы с засухой

Ранее было указано, что засуха возникает под воздействием комплекса причин, главнейшими из которых являются макромасштабные атмосферные процессы, малая устойчивость растений

к высоким температурам и отсутствию осадков, недостаточная влажность почвы и низкий уровень агротехники. Отсюда методы борьбы с засухой должны состоять из воздействий на указанный комплекс причин. В борьбе с засухой должны предусматриваться такие затраты средств и труда, которые не увеличат себестоимость продукции сверх допустимых пределов.

В настоящее время в результате многочисленных научных исследований и обобщения опыта возделывания сельскохозяйственных культур разработано три основных направления по борьбе с засухой: селекционно-генетическое, географическое и агротехническое.

**Селекционно-генетическое направление** заключается в создании растений с определенными (иногда заданными) свойствами. Для условий нашей страны 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 районов нашей страны.

В указанных направлениях имеются значительные успехи, особенно в селекции зерновых культур. Мировую известность получили сорта озимой пшеницы, выведенные академиком П. П. Лукьяненко в результате селекционной работы. Они перешагнули границы нашей страны и занимают сейчас первое место в мире по посевным площадям. Сорт пшеницы Безостая 1, получивший мировое признание, отличается гармоническим сочетанием ценных качеств: высокой засухоустойчивостью, значительной продуктивностью колоса, устойчивостью к полеганию, хорошими мукомольно-хлебопекарными качествами зерна. Созданные им в последние годы сорта Аврора и Кавказ по потенциалу урожайности применительно к определенным почвенно-климатическим условиям не имеют себе равных среди мирового сортимента озимых пшениц.

**Географическое направление.** Известно, что засухи возникают в отдельных районах нашей страны, причем в разные годы их воздействию подвергаются разные территории. Исследованиями показано, что в соседних районах, где засуха отсутствует, часто наблюдаются хорошие условия увлажнения, и поэтому урожай здесь получают большой. Используя эту географическую закономерность, можно в определенной мере компенсировать недобор урожая за счет районов, не подверженных засухе.

По данным А. И. Руденко, если на юге Украины (Николаев) было 26 засух за период с 1888 по 1955 г., а в Ростовской области — 21 засуха, то одновременно эти районы были охвачены засухой лишь 5 раз. Также очень редко одновременно засухи

наблюдаются на Украине и в Казахстане. Следовательно, географическая разобщенность посевов является важным средством борьбы с засухой.

Другой важный географический фактор — неравномерность развития культур по территории. Часто на пораженной засухой территории 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. Это означает, что в разных районах страны ведущие культуры должны быть представлены разными экологическими группами. 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.

В связи с этим Ф. Ф. Давитая отмечает, что идея о неодинаковом соотношении урожайности различных растений по природным зонам и о наиболее выгодном их районировании является новой и представляется перспективной как в научном, так и в практическом отношении.

**Агротехническое направление.** К важнейшим из многочисленных агротехнических мер следует отнести парование полей, полезащитное лесоразведение, снегонакопление и задержание талых вод, разные сроки и нормы сева, дифференцированную систему обработки почвы.

*Парование полей* способствует накоплению влаги и питательных веществ в почве, очищению от сорняков, сохранению почвенной влаги. По данным Ф. Ф. Давитая, в различных климатах нашей страны влияние чистых паров на сохранение воды в почве различно. Так, в сухостепной зоне юго-востока Европейской части СССР и в Казахстане ко времени сева под чистым паром запасы влаги в метровом слое больше на 50 мм, чем на полях к моменту уборки яровых хлебов. В степной и лесостепной зонах эта разница составляет 50—100 мм, в лесной — менее 50 мм.

В южных районах Европейской территории СССР, Северном Казахстане чистые пары необходимы как массовый способ сохранения влаги в почве. В лесной и лесостепной зонах широко практикуются занятые пары.

*Полезащитное лесоразведение* — важное средство борьбы с засухой и суховеями. Лесные полосы влияют на большой комплекс метеорологических условий межполосных полей. Они уменьшают скорость ветра (поэтому уменьшается расход влаги из почвы), способствуют снегонакоплению, пополняя тем самым запасы влаги в почве и т. д.

Снегозадержание также используется как прием борьбы с засухой. На полях в южных районах страны благодаря этому приему за зиму удается накопить снежный покров высотой 20—30 см. По-

этому весной почва получает больше влаги и даже при небольшом количестве осадков летом растения в целом лучше обеспечены влагой.

Районы применения снегозадержания определяются климатическими условиями. Данный вопрос более детально рассмотрен в § 7 главы II.

*Задержание талых вод весной* является существенной мерой борьбы с засухой. Однако это мероприятие должно вестись с учетом промерзания почвы и образования на ее поверхности ледяной корки, так как от этих факторов зависит степень впитывания почвой талых вод.

*Агротехника* оказывает существенную помощь в борьбе с засухой. Сельскохозяйственные учреждения разработали различные приемы обработки почвы и ухода за посевами в засушливых районах нашей страны, благодаря которым удастся получать хорошие урожаи. При их применении необходимо строго учитывать текущие условия погоды, поэтому принципиально важно правильно использовать агрометеорологические рекомендации. Например, сроки сева определяются ходом весны, запасами влаги в почве.

Такой важный вопрос, как сокращение или увеличение площади озимых посевов, решается в соответствии с условиями осеннего периода. Так, при малых запасах влаги и сухой осени лучше сократить посевы озимых, а весной на парах сеять яровые.

Соотношение площадей посевов ранних и поздних яровых также определяется с учетом весенних условий. Если весной влаги мало, то лучше расширить посевы поздних яровых, так как они используют осадки второй половины лета.

Исследованиями последних лет доказана необходимость применения дифференцированной агротехники в разных почвенно-климатических зонах. Так, под руководством академика ВАСХНИЛ А. И. Бараева в Северном Казахстане для зерновых культур разработана новая безотвальная система обработки почвы. Она является важным средством в борьбе с засухой, суховеями и ветровой эрозией в этом районе. Подробнее данный вопрос изложен в § 4 этой главы.

*Орошение* — наиболее эффективный метод борьбы с засухой. При орошении создаются благоприятные условия для жизни растений и получения высоких урожаев. В засушливых районах страны 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 нашей страны. XXIV съезд КПСС определил оросительные мелиорации как одно из наиболее перспективных направлений развития нашего сельского хозяйства.

Орошение как мера борьбы с засухой дает должный эффект лишь при правильном режиме орошения. Учитывая важность этой

проблемы и ее тесную связь с климатом и погодой, остановимся кратко на принципиальных основах режима орошения.

Под режимом орошения понимают установление и распределение на протяжении вегетации количества подаваемой воды (числа, норм и сроков поливов) в соответствии с почвенными условиями орошаемого поля, видами выращиваемых культур и плановой урожайностью.

Правильное определение сроков и норм полива в соответствии с потребностью растений имеет большое значение для экономного использования воды, повышения плодородия почвы, получения высоких и устойчивых урожаев.

Количество воды, которое необходимо подать на единицу площади (1 га) за один полив, называют нормой полива. Эта норма часто определяется как разность между верхним и нижним пределами оптимального увлажнения почвы по формуле

$$m = H p (\beta_{\max} - \beta_{\min}),$$

где  $m$  — поливная норма ( $\text{м}^3/\text{га}$ ),  $p$  — порозность почвы (процент от объема),  $\beta_{\max}$  — верхний предел оптимального увлажнения (процент от порозности почвы),  $\beta_{\min}$  — нижний предел оптимального увлажнения в тех же единицах,  $H$  — глубина увлажнения корнеобитаемого слоя (м).

За верхний предел оптимального увлажнения обычно принимают наименьшую полевую влагемкость (НПВ). За нижний предел оптимального увлажнения принимают такое количество влаги в почве, при котором резко изменяется ее подвижность и связанная с этим скорость транспирации. На основании обобщения данных многих исследований можно принять, что нижний предел оптимального влагосодержания для большинства растений примерно равен 70% НПВ. Поэтому поливную норму часто считают равной 0,3 НПВ. В конкретной полевой обстановке в зависимости от динамики развития растений эту величину можно уточнять.

Сроки полива устанавливают по разным факторам: влажности почвы, метеорологическим данным, физиологическим показателям, фазам развития растений.

Установление сроков полива по влажности почвы основано на том, что полив следует производить тогда, когда запасы воды в корнеобитаемом слое снизятся до нижнего предела оптимальной влажности. При применении этого способа необходимы систематические измерения влажности корнеобитаемого слоя, что требует больших затрат труда и времени.

Определение сроков полива по физиологическим показателям (величине сосущей силы листьев, концентрации клеточного сока и т. д.) является одним из перспективных методов диагностики полива. То обстоятельство, что значения этих показателей (по данным разных авторов) не совпадают, говорит о необходимости дальнейшей разработки данного метода с целью получения устойчивых физиологических показателей для каждой культуры.



При использовании физиологических показателей поливную норму можно установить на основе корреляционной связи между нею и влажностью корнеобитаемого слоя.

Сроки полива по метеоданным устанавливаются на основании определения времени испарения поливной нормы (с учетом выпавших осадков) в зависимости от условий погоды, характеризующихся определенными метеорологическими параметрами. В качестве таких параметров, определяющих скорость суммарного испарения, в настоящее время используют температуру воздуха, дефицит влажности воздуха и некоторые другие величины. Метод определения сроков полива по метеоданным, хотя и менее точен, проверен на практике и показал достаточную надежность. Преимуществом метода является широкая доступность и значительная пространственная репрезентативность метеорологических параметров, возможность автоматизации измерений и связанная с этим целесообразность создания в перспективе автоматизированных систем полива.

Установление сроков полива по фазам развития довольно широко применяется в Средней Азии и Закавказье. Метод основан на связи изменяющихся потребностей растений во влаге с фазами развития растений. В целом он весьма неточен вследствие возможного отклонения погодных условий от нормы. Поэтому даже в условиях указанных территорий при определении сроков полива по этому методу в расчеты часто приходится вносить коррективы.

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.

Величину оросительной нормы можно определить как разность между оптимальным водопотреблением и естественными ресурсами влаги. В этом случае используется формула

$$M = E - P - \Delta W - G,$$

где  $M$  — оросительная норма (нетто) ( $\text{м}^3/\text{га}$ ),  $E$  — суммарное оптимальное водопотребление (потребность в воде) ( $\text{м}^3/\text{га}$ ) за вегетацию,  $P$  — осадки ( $\text{м}^3/\text{га}$ ) за вегетацию,  $\Delta W$  — использованные за период вегетации запасы почвенной влаги ( $\text{м}^3/\text{га}$ ),  $G$  — количество использованной растениями воды за счет грунтовых вод ( $\text{м}^3/\text{га}$ ).

Некоторые аспекты расчета оптимального водопотребления и оросительной нормы рассмотрены в главе II, § 6. Вопросы, связанные с изменением микроклимата при орошении, рассмотрены в главе IX, § 1.

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 ЕТС, но и в условиях Северо-Запада. Данное обстоятельство объясняется тем фактом, что если в целом за год на Северо-Западе ЕТС 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. Такие совмещенные оросительно-осушительные системы в настоящее время проходят стадию лабораторно-полевых испытаний.

В целом, 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 районах почвы являются более плодородными, ибо здесь отсутствует характерный для влажного климата промывной режим почвы, при котором питательные вещества систематически вымываются осадками из пахотного слоя. И, наконец, в засушливых и сухих районах эффект орошения проявляется ежегодно, что существенно повышает уровень рентабельности оросительных систем.

В районах с влажным климатом в условиях более бедных почв минеральные удобрения необходимо вносить в большом количестве. Как было указано выше, наличие в этих районах засушливых периодов приводит к необходимости сооружения здесь более дорогих совмещенных осушительно-оросительных систем. В годы достаточного увлажнения оросительная часть системы будет бездействовать, что должно сказаться отрицательно на себестоимости сельскохозяйственной продукции.

В качестве источников орошения в зависимости от возможностей района используются поверхностные, подземные и сточные воды. Поверхностные воды, представленные реками, озерами, водохранилищами, являются основным источником водоснабжения.

Важным источником орошения становятся сточные воды. Интенсивная индустриализация промышленно развитых стран и рост их населения (в том числе и в СССР) вызывают резкое увеличение объема сточных вод. Вред, приносимый ими, и трудности их очистки общеизвестны.

Многими исследованиями показано, что орошаемые поля являются хорошим средством очистки сточных вод. Последние, неся с собой значительное число полезных элементов, часто являются

хорошим видом удобрений. В недалекой перспективе в Советском Союзе площадь орошения сточными водами возрастет до 70 000 га. Однако эту величину следует считать лишь началом работ по эффективному использованию сточных вод в сельском хозяйстве.

Подземные воды в большинстве отличаются постоянством дебита, относительно низкой температурой, значительным количеством минеральных веществ (сравнительно с поверхностными источниками). Возможность использования минерализованной подземной воды определяется свойствами почвы, характером естественного промывного режима, составом солей и солевывносливостью растений. Как показали натурные исследования и теоретические расчеты, в условиях Северо-Запада на хорошо дренированных почвах возможно использование подземных вод с довольно высокой минерализацией — до 6 г/л (без опасности засоления почвы). Последнее обусловлено формированием в пахотном слое достаточного по интенсивности промывного режима, создаваемого здесь выпадением естественных осадков.

Интересно отметить, что соленость вод некоторых морей (например, многих заливов Балтийского моря) не превышает указанной величины концентрации солей. Поэтому в принципе возникает перспектива использования вод таких морей (и, в частности, Балтийского) для орошения сельскохозяйственных культур. Однако этот вопрос требует предварительной тщательной проработки.

### § 3. СУХОВЕИ

Под суховеем понимают горизонтальный поток воздуха с повышенной температурой и низкой относительной влажностью, возникающий на периферии антициклона чаще всего в трансформированном арктическом воздухе. Таким образом, суховеи, как и засухи, развиваются главным образом в воздушных массах, приходящих с севера. Перемещаясь над ЕТС 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 ЕТС в виде суховея. Поэтому в юго-восточных районах и южной полосе ЕТС суховеи обычно имеют восточное, юго-восточное или южное направление. В Западной Сибири суховеи могут 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 не только

у более старых листьев, но и у развивающихся органов плодonoшения. Зерно в таких условиях становится пустым или щуплым.

Большой вклад в исследования природы суховеев внесли Е. А. Цубербиллер, И. Е. Бучинский и другие ученые. Их работами установлено, что суховей одной и той же силы по-разному влияет на растения в зависимости от сорта растения, его физического состояния, ресурсов почвенной влаги, периода вегетации. Но по этим зависимостям трудно определить степень повреждения культур и, следовательно, установить критерий суховейности.

Многие авторы считают, что в южных и юго-восточных районах страны суховей со скоростью ветра (на высоте флюгера) не менее 5 м/сек., температурой выше 25° и дефицитом влажности воздуха более 15 мм (20 мб) (или с относительной влажностью 30% и ниже) оказывает вредное действие на растения.

Цубербиллер установила агрометеорологические показатели суховеев, которые нашли широкое применение при агрометеорологическом обслуживании сельского хозяйства и в агроклиматологии. Она разделяет суховеи по их интенсивности на слабые, средние, интенсивные и очень интенсивные (табл. 22).

Большую опасность для растений представляют длительные суховеи, наблюдающиеся несколько дней подряд. Однодневные су-

Таблица 22

Агрометеорологические показатели суховеев разной интенсивности

Суховей	Дневной дефицит влажности воздуха (в один из сроков) (мм)	Запасы (мм) продуктивной влаги в слое почвы			Испаряемость (мм/сутки)	Характер повреждения злаков
		0—20 см	0—50 см	0—100 см		
Слабый	15—24	20	50	—	3—5	Снижение тургора листьев
Средний	25—29	10	30	50	2—6	Значительное снижение тургора листьев, их скручивание и пожелтение, захват зерна
Интенсивный	30—39	10		30	6—8	Сильное увядание, пожелтение и усыхание растений и захват зерна
Очень интенсивный	Более 40	0		30	Более 8	Быстрое увядание растений, захват и запал зерна

ховеи тоже опасны, однако в последующие дни растения могут оправиться.

Цубербиллер установила, что если в почве имеется достаточное количество влаги, а именно: в слое 0—20 см более 20 мм, в слое 0—50 см более 50 мм и около 100 мм в слое 0—100 см, то посевы без повреждения могут в течение пяти дней переносить слабые суховеи, четырех дней — средние суховеи, трех дней — интенсивные и одного-двух дней — очень интенсивные. По истечении этих сроков и при отсутствии пополнения запасов влаги в почве произойдет повреждение посевов.

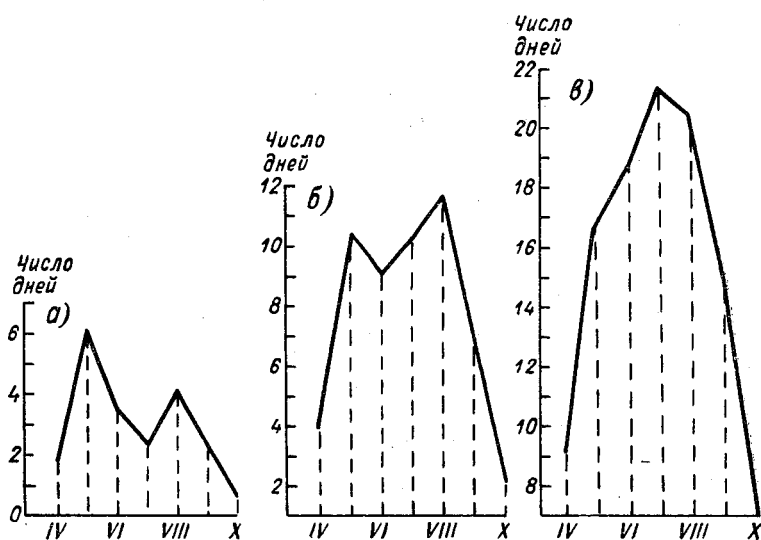


Рис. 38. Годовой ход общего числа суховеев.

а — Пенза, б — Ершов, в — Эмба.

Частота появления суховеев, число дней с ними, их длительность и интенсивность существенно меняются в географическом разрезе, что является хорошим показателем засушливости климата. В лесной зоне среднее многолетнее число 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. Для пустыни число дней с суховеями возрастает до 250.

Важно отметить, что каждой физико-географической зоне свойствен 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. 38 а).

Два максимума характерны и для степной зоны, но второй обычно равен или несколько больше первого. Минимум суховейности в летние месяцы приходится на июнь (рис. 38 б).

В полупустыне хотя и наблюдается два максимума, но июньский максимум незначителен. Пустыне свойствен один летний максимум на общем высоком фоне суховейности за период апрель—октябрь (рис. 38 в).

Указанные закономерности различных типов годового хода дают возможность наметить ряд мер по борьбе с суховеями. Так, ранней весной, учитывая весенний максимум суховейности, 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 данных.

Для характеристики изменчивости на ЕТС числа дней с суховеями в отдельные годы приведем данные их вероятности (табл. 23). Как следует из таблицы, в лесостепной зоне при среднем числе суховеев, равном 20 дням, только в 10% лет не бывает суховеев, а в 5% лет бывают 50 дней с суховеями и более.

Таблица 23

Вероятность числа дней с суховеями в отдельные годы в зависимости от среднего числа дней (%)

Среднее число дней с суховеями	Число дней с суховеями в отдельные годы						
	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 5% лет число дней с суховеями составляет 90 и более.

В полупустынных районах страны практически ежегодно общая длительность суховеев составляет не менее 30 дней. В отдельные годы суховеи здесь продолжаются не менее 4 месяцев.

Цубербиллер, учитывая сочетание интенсивности суховеев, их продолжительности и запасы продуктивной почвенной влаги в репродуктивный период развития яровой пшеницы, построила агро-

климатическую карту вероятности повреждения зерна (рис. 39). В выделенных на карте районах условия суховейности и соответствующее им повреждение зерна характеризуются следующим образом.

В лесной зоне повторяемость интенсивных суховеев небольшая, всего один раз в 10—20 лет; сочетание опасных суховейных условий наблюдается очень редко — один раз в 10—20 лет. Поэтому вероятность повреждения зерна в этой зоне невелика (менее 10% лет).

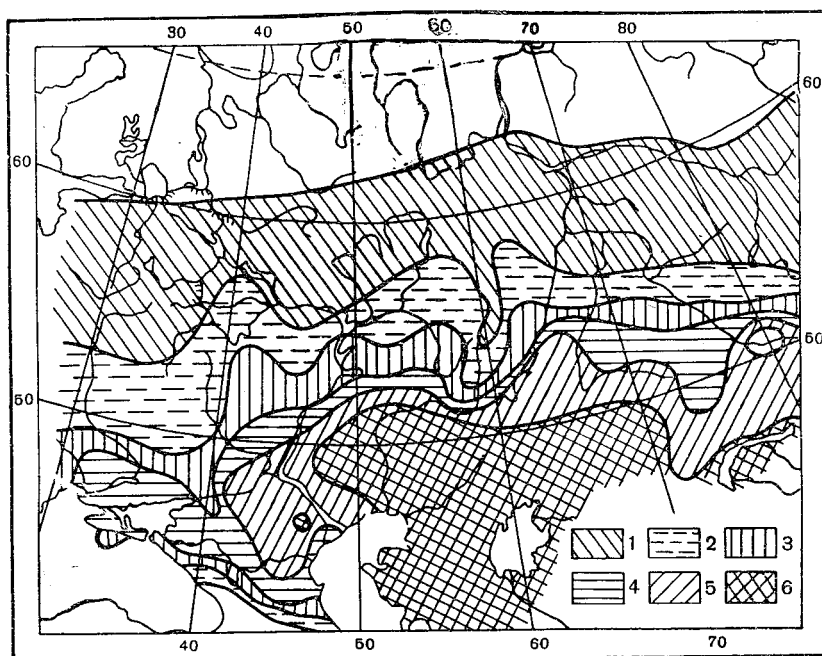


Рис. 39. Вероятность повреждения зерна (число лет из 10) суховеями в репродуктивный период яровой пшеницы.

1) 1 год, 2) 1—2, 3) 2—3, 4) 3—5, 5) 5—7, 6) более 7.

В лесостепной зоне повторяемость суховеев увеличивается. Суховей средней интенсивности бывают ежегодно, интенсивные суховей 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 годах из 10 сочетание суховейных условий может вызывать 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.

Применение высокой агротехники возделывания, использование засухоустойчивых сортов, орошение и насаждение лесополос, безусловно, изменят рассмотренную выше картину суховеев.

#### § 4. ПЫЛЬНЫЕ БУРИ

Под пыльной бурей понимают перенос сильным ветром больших количеств густой пыли или песка. При пыльных бурях сильный ветер выдувает верхние слои почвы, часто с семенами и молодыми растениями. Выдувание верхних слоев почвы в районах с развитыми пыльными бурями начинается уже при скорости ветра 8—10 м/сек. Под действием ветра частицы почвы отрываются от поверхности, причем более легкие в виде пыли переносятся на большие расстояния, а более тяжелые, падая, выбивают новые частицы, которые затем также вовлекаются в общее движение.

Частицы или комки почвы, переносимые ветром вдоль поверхности земли, приобретают большую разрушительную силу. Попадая на всходы растений, они засекают их, часто практически полностью уничтожая.

В виде пыли (частицы почвы диаметром менее 0,1 мм) с полей может уноситься громадное количество почвы. В отдельных случаях пыльная буря за сутки может лишить поле слоя почвы толщиной 1—5 см. Если вспомнить, что для восстановления 1 см почвы в естественных условиях требуется около 250—300 лет, то следует признать, что пыльная буря и связанная с ней ветровая эрозия приносят почвенному покрову невосполнимые утраты. Поднятая пыль может затем выпадать из воздуха в количестве миллионов тонн на больших площадях вдали от района возникновения бури. Если в таких случаях растения засыпаются толстым слоем пыли, то могут погибнуть даже хорошо раскустившиеся посевы.

Пыльные бури часто зарождаются в США, Китае, многих странах Африки. В Советском Союзе они распространены в Средней Азии и Казахстане, Предкавказье, на юге Украины.

Возникновение и развитие пыльных бурь обусловлено комплексом факторов, к главнейшим из которых следует отнести сильный ветер, большую сухость воздуха, иссушенность и распыленность верхнего слоя почвы.

Среднее многолетнее количество дней с пыльными бурями на юге ЕТС увеличивается в направлении с запада на восток. Так, по данным Л. А. Разумовой, в большинстве северных районов Поволжья, а также Астраханской области оно колеблется от 1 до 10 дней, а юго-восточнее линии Волгоград — Оренбург составляет уже примерно 20—40 дней.



Все еще распространено мнение, что пыльные бури, являясь стихийным бедствием, мало зависят от деятельности человека. Однако наблюдения показывают, что в последнее время пыльные бури возникают чаще, охватывая все большие территории. Так, в Ставропольском крае за 100 лет (1870—1970 гг.) в первую четверть этого периода (1870—1894 гг.) было четыре года с пыльными сильными бурями, во вторую четверть — шесть лет, в третью — семь лет и в последнюю — четырнадцать лет. Такая же тенденция наблюдается в Ростовской области, Краснодарском крае и на юге Украины.

Данная закономерность позволяет сделать следующий важный вывод: пыльные бури и связанная с ними ветровая эрозия возникают и усиливаются в результате деятельности человека, когда система земледелия или ее отдельные приемы не соответствуют особенностям почв и климата данного района.

Учитывая серьезность рассматриваемой проблемы, в последние годы ей уделяется большое внимание. Значительные успехи в решении этой проблемы прежде всего получены коллективом ученых Научно-исследовательского института зернового хозяйства (Целиноградская область). Взамен классической, традиционной формы земледелия (отвальная вспашка, дискование, боронование и т. д.) институтом предложена новая, безотвальная обработка почвы в сочетании с рядом других мер. Специально для этого созданы новые сельскохозяйственные машины, позволяющие обрабатывать почву без оборота пласта.

Новый принцип обработки — вспашка под слоем сохраняемой стерни — в смежных районах Казахстана и Сибири привел к уменьшению числа пыльных бурь, явился существенным средством в борьбе с засухой и суховеями. Сохраненная на полях стерня лучше задерживает снег на полях, способствуя тем самым большому увлажнению почвы.

Помимо нового способа обработки почвы, в борьбе с ветровой эрозией и пыльными бурями эффективны и другие меры: полосные лесные полосы, введение почвозащитных севооборотов с посевами многолетних трав, полосное чередование многолетних трав и посевов однолетних культур и т. д.

В целом научным учреждениям нашей страны предстоит важная задача разработать для каждой климатической зоны свою зональную почвозащитную систему земледелия с учетом специфики климата, почв и возделываемых культур.

**МИКРОКЛИМАТ И ЕГО УЧЕТ В АГРОКЛИМАТОЛОГИИ**

---

Развитие агроклиматологии способствует переходу от приемов классической климатологии к характеристикам, уточняющим средние величины в их пространственно-временной изменчивости. Особенно большое значение при этом принадлежит учету тех вариаций климата, которые возникают в приземном слое воздуха под влиянием подстилающей поверхности и оказывают весьма существенное влияние как на разные стороны деятельности человека, так и на рост, развитие и продуктивность растений и животных. Эти особенности климата в приземном слое воздуха широко известны под названиями «мезоклимат», «местный климат» и «микроклимат». В литературе под местным (или мезо-) климатом и микроклиматом понимаются часто одни и те же особенности, и поэтому оба эти понятия сливаются в одно вследствие отсутствия четких критериев для их разделения. Влияние подстилающей поверхности во многих случаях прослеживается до высоты 100—150 м и более над уровнем земли. Поэтому, очевидно, под микроклиматом нельзя понимать особенности метеорологического режима только самого нижнего двухметрового слоя воздуха, как это было предложено Р. Гейгером в 20-х годах и до сих пор принимается С. А. Сапожниковой и С. П. Хромовым.

В настоящее время имеется ряд определений местного (мезо-) климата и микроклимата. В дальнейшем под микроклиматом мы будем подразумевать климат небольших участков, возникающий под влиянием рельефа, растительности, состояния почвы, наличия водоемов, застройки и других особенностей подстилающей поверхности на суше. Это климат поля, склона холма, опушки леса, берега озера, осушенного болота, города и т. п., для изучения которого обычно проводятся специальные наблюдения.

Особенности микроклимата проявляются в верхнем слое почвы и в нижнем, приземном слое воздуха до высоты нескольких десятков метров, часто до высоты 100—150 м. В более высоких слоях воздуха они исчезают под влиянием перемешивания воздуха как по вертикали, так и в горизонтальном направлении.

Под фитоклиматом понимают особенности распределения климатических элементов во всем слое растительного покрова как

в надземной, так и в подземной его части, например среди зерновых культур, в саду, в лесу. Эти особенности возникают под влиянием самой растительности на микроклимат приземного слоя воздуха и определяются густотой и мощностью растений, сомкнутостью их. Изменения режима метеорологических элементов среди растений могут варьировать в весьма широких пределах и регулироваться с помощью соответствующих агротехнических приемов.

Микроклиматические различия наиболее полно проявляются при ясной тихой погоде и сглаживаются часто до нуля при пасмурной и ветреной.

Ход метеорологических элементов в приземном слое воздуха днем при инсоляции совершенно иной, чем ночью при выхолаживании, поэтому микроклиматические изменения днем и ночью обычно имеют разный знак. При вычислении средних суточных и особенно средних месячных характеристик, принятых в климатологии, особенности микроклимата сглаживаются и подчас полностью исчезают. В то же время из практики растениеводства хорошо известно, что рост и развитие растений, их урожайность определяются не столько средним состоянием метеорологических элементов, сколько их суточным ходом и часто крайними значениями. Гибель растений от заморозков, например, часто определяется погодой одной ночи, от низких температур зимой — погодой одного-двух дней. Таким образом, особенности микроклимата приобретают решающее значение для сельскохозяйственного производства.

Исследование микроклимата для обслуживания сельскохозяйственного производства осуществляется в основном в двух направлениях: 1) определение мест естественного наиболее благоприятного микроклимата для произрастания различных по теплолюбивости и влаголюбивости культур; 2) выяснение изменений микроклимата, создаваемого хозяйственной деятельностью людей, для определения мероприятий, приводящих к существенному улучшению того или иного участка.

Необходимо отметить, что в условиях благоприятного естественного или созданного определенными приемами микроклимата удается продвинуть возделывание ряда ценных культур на 300—350 км и более к северу от средней границы произрастания их в поле.

Сведения о микроклимате территорий отдельных хозяйств позволяют правильно разместить культуры и севооборот, а также дифференцировать сельскохозяйственные работы, что способствует получению более высоких и устойчивых урожаев.

Особым разделом сельскохозяйственной микроклиматологии является изучение микроклимата закрытых помещений, теплиц, оранжерей, скотных дворов и т. п., который регулируется деятельностью человека. Но рассмотрение этого раздела в задачи настоящей книги не входит.

Начало развития науки о микроклимате в СССР связано с именами А. И. Воейкова и В. В. Докучаева. По идее и при участии последнего были заложены первые лесные полосы в Каменной степи (Воронежская область). В 30-е годы обширные исследования

микроклиматических особенностей субтропической зоны СССР для правильного размещения субтропических культур были выполнены Г. Т. Селяниновым и его учениками.

Физические законы, вызывающие изменение метеорологических элементов в приземном слое воздуха и в почве, везде одинаковы. Однако количественные проявления этих законов в разных физико-географических и, в частности, климатических условиях существенно различаются. Для количественного определения величин микроклиматических изменений, которые необходимо учитывать при изучении климата конкретных территорий, используются три основных метода работы: 1) экспериментальный — проведение обширной программы экспедиционных наблюдений; 2) климатологический — выявление особенностей микроклимата по данным гидрометеорологической сети; 3) расчетный — вычисление некоторых характеристик микроклимата также по данным основной сети станций.

В настоящее время благодаря многочисленным исследованиям, а также теоретическим расчетам изучены микроклиматические особенности многих районов нашей страны, различных по характеру подстилающих поверхностей. Получены количественные показатели микроклиматических характеристик ряда метеорологических элементов и определено влияние их на состояние сельскохозяйственных культур.

Существует два процесса образования микроклимата: 1) микроклимат, возникающий на обширном ровном месте под непосредственным воздействием подстилающей поверхности, 2) микроклимат, образующийся вследствие притока и стока воздуха путем местной адвекции, возникающей при переходе от одной деятельной поверхности к другой, например в условиях изрезанного рельефа, при переходе с воды на сушу, с орошаемого участка на сухой и т. п.

В природных условиях, особенно в дневные часы, при скоростях ветра более 2—3 м/сек. микроклиматические особенности даже на больших полях проявляются только в нижнем приземном слое воздуха и среди травостоя. При малых скоростях ветра, особенно ночью, причиной возникновения микроклиматических различий является местная адвекция, интенсивность которой определяется термодинамикой смежных площадей.

Микроклимат больших сельскохозяйственных полей в условиях ровного места определяется тепловым балансом деятельной поверхности, который можно представить следующим уравнением:

$$R = LE + V + P,$$

где  $R$  — радиационный баланс деятельной поверхности,  $LE$  — теплообмен, связанный с испарением или конденсацией воды, включающий и транспирацию растений,  $V$  — турбулентный теплообмен между деятельной поверхностью и прилегающим к ней слоем воздуха,  $P$  — теплообмен в почве.

Численные значения отдельных составляющих теплового баланса определяются на основании соответствующих специальных наблюдений и расчетов и отражают интенсивность тепло- и влаго-

обмена деятельной поверхности (почвы и травостоя) с выше- и нижележащими слоями воздуха и почвы.

Интенсивность обмена как по вертикали, так и по горизонтали определяет микроклиматические особенности участка. На рис. 40 показано соотношение дневных сумм составляющих теплового баланса на трех разных участках: рисовом поле (с затоплением), неорошаемом участке, находившемся недалеко от рисового поля и поэтому отличавшемся несколько повышенной влажностью почвы, и в полупустыне с сухой почвой (Кзыл-Орда). Цифрами дано соотношение (в процентах) отдельных составляющих теплового баланса по точкам наблюдений.

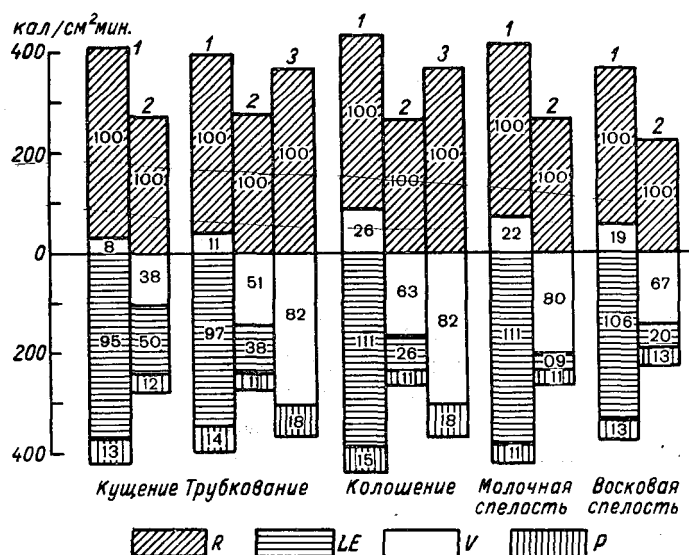


Рис. 40. Соотношение дневных сумм составляющих теплового баланса по фазам развития риса.

1 — рисовое поле, 2 — неорошаемый участок, 3 — полупустыня. R — радиационный баланс, LE — затрата тепла на испарение, V — турбулентный теплообмен между деятельной поверхностью и прилегающим слоем воздуха, P — теплообмен в почве. Незаштрихованные столбики в приходной части баланса — адвекция тепла с прилегающей перегретой неорошаемой территории.

Как видно из этого рисунка, днем приходная часть теплового баланса — радиационный баланс — на рисовом поле значительно выше, чем на покрытом травой неорошаемом участке, хотя величины прямой солнечной радиации на обоих участках практически одинаковы. Это получается за счет различий в излучении деятельной поверхности и альбедо двух полей. Еще больше отличается расходная часть теплового баланса на разных участках. На рисовом поле (в течение всех фаз развития) тепла радиационного баланса не хватает для обеспечения расхода его на испарение и теплообмен в почве. На последний в течение всего вегетационного периода используется только 10—15%. Но расход тепла

на испарение с поверхности воды и транспирацию растений риса при полном развитии растений значительно превышает радиационный баланс. Недостаток тепла, обусловленный этим, пополняется за счет турбулентного обмена воздуха с прилегающей хорошо прогретой территории. Этот «недобор» радиационного тепла во вторую половину вегетационного периода превышает 20% радиационного баланса.

На неорошаемом поле и в полупустыне радиационное тепло в основном расходуется на нагревание почвы и воздуха, причем к концу лета при сильном иссушении почвы на эту статью расхода идет 70—80% тепла. Такого же порядка величины отмечаются и в полупустыне уже с начала лета, где вследствие отсутствия влаги испарения с иссушенной поверхности почвы практически нет.

Изучение теплового и водного баланса смежных участков позволяет объяснить физические различия в особенностях хода отдельных метеорологических элементов над ними.

В табл. 24 приводится суточный ход температуры и влажности воздуха на высотах 20 и 150 см для тех же полей, для которых даны расчеты теплового баланса на рис. 40.

Таблица 24

Суточный ход температуры воздуха, относительной влажности и дефицита влажности по среднечасовым данным на рисовом поле (Р) и неорошаемом участке (Н), покрытом травой, в фазе молочной спелости риса

Высота над уровнем почвы (см)	Участок	Часы					
		1—2	5—6	9—10	13—14	17—18	21—22
Температура воздуха (град.)							
0	Р	23,2	22,0	23,4	26,3	26,2	24,5
	Н	13,4	15,3	46,2	55,4	32,1	18,0
20	Р	15,6	15,0	26,5	29,5	25,3	17,9
	Н	13,8	14,0	29,9	34,6	30,6	18,2
150	Р	16,2	15,4	27,1	30,3	28,1	21,5
	Н	15,2	14,9	28,9	33,1	30,6	29,0
Относительная влажность (%)							
20	Р	86	84	57	52	52	81
	Н	63	67	32	20	25	48
150	Р	74	77	42	35	31	63
	Н	61	65	31	20	23	46
Дефицит влажности (мб)							
20	Р	2,2	2,6	14,8	19,7	15,4	3,7
	Н	6,1	5,3	29,1	44,0	33,0	11,3
150	Р	4,5	4,2	20,5	28,1	28,5	11,2
	Н	6,8	5,9	27,6	40,7	33,8	12,6

В результате интенсивного испарения с почвы и транспирации температура среди мощного травостоя риса на высоте 20 см над уровнем поливной воды в течение суток ниже, чем на высоте 150 см. Следовательно, среди травостоя риса в течение суток наблюдается инверсионное распределение температуры. На сухом участке инверсии образуются только ночью под влиянием излучения и охлаждения поверхности. Днем под влиянием сильно нагретой (до 55° и выше) незатененной поверхности почвы температура приземного слоя воздуха очень велика, а с высотой она понижается.

На высоте 20 см разность температур днем на соседних полях на расстоянии 1,5 км превышает 5°, ночью 2°, но знак разности меняется — сухой участок становится холоднее рисового поля. На высоте 150 см под влиянием значительного турбулентного перемешивания разности температуры между участками днем уменьшаются до 2,5—3°, ночью — до 1°. Аналогично распределяется по точкам и высотам относительная влажность воздуха и дефицит влажности, являющийся хорошим показателем условий испарения. Среди травостоя риса недостаток насыщения воздуха парами относительно мал, но быстро увеличивается с высотой. На неорошаемом участке самые сухие слои воздуха располагаются над поверхностью почвы. Относительная влажность воздуха здесь на высоте 20 см на 20—30% ниже, чем на орошаемом поле.

Приведенный пример характеризует основные различия микроклимата как по горизонтали на двух близко расположенных площадках с разной деятельной поверхностью, так и в приземном слое воздуха по вертикали в условиях ровного места.

Показанное в табл. 24 распределение температуры воздуха по вертикали на рисовом поле, характеризующееся понижением температуры днем среди травостоя (т. е. дневной инверсией), наблюдается только среди мощного, хорошо сомкнутого травостоя, полностью обеспеченного влагой.

Фитоклимат, который создается среди травостоя различных растений, определяется структурой растительного покрова, т. е. высотой растений, их сомкнутостью, наличием и характером междурядий. Он может изменяться под одной и той же культурой в широких пределах и быть очень близким под разными культурами при одинаковой структуре посевов. Он закономерно изменяется с ростом и развитием растений. Регулируется фитоклимат с помощью агротехнических приемов, физическую сущность воздействия которых на него всегда следует учитывать.

Особенности фитоклимата отдельных культур оцениваются путем сопоставления ряда биометрических характеристик травостоя (площадь листьев и стеблей на 1 м<sup>2</sup>, высота роста, густота стояния и т. п.) с соответствующим распределением основных метеорологических элементов по вертикальному профилю их среди травостоя. Таковы некоторые закономерности микроклимата и фитоклимата в условиях ровного места.

Однако большая часть территории СССР имеет изрезанный, холмистый или горный рельеф. Даже в пределах больших равнин

и низменностей встречаются отдельные холмистые участки, а в степной зоне участки волнистой степи с небольшими уклонами склонов занимают большие пространства.

Микроклиматические различия в условиях изрезанного рельефа обычно больше, чем на ровных местах, отличающихся только по характеру почвы, растительности и увлажнению. Поэтому учет их для сельскохозяйственной практики особенно существен. Влияние на растения почвенных и микроклиматических особенностей в разных условиях рельефа оказывается противоположным. В верхней части склонов почвы часто смыты и мало плодородны, но микроклимат там более благоприятен для развития растений. В нижней части склона с намытыми плодородными почвами микроклимат часто бывает неблагоприятным для нормального развития растений. Здесь могут наблюдаться наиболее опасные заморозки, избыток влаги в почве и т. п. Лишь зная особенности распределения почв и микроклимат в разных условиях рельефа, можно разработать и применить различные приемы агротехники и сроки обработки почв для отдельных частей рельефа с таким расчетом, чтобы сельскохозяйственные культуры могли максимально использовать положительные условия и не страдали от неблагоприятных факторов среды обитания.

Микроклиматические различия в разных формах рельефа возникают вследствие двух основных причин: особенностей нагревания различно ориентированных в отношении стран света склонов и особенностей стока и подъема воздушных масс по склону.

Количество солнечного тепла, поступающего в разное время года на склоны разной экспозиции и крутизны, может быть точно измерено и рассчитано для условий ясной погоды. Больше всего дополнительного тепла получают крутые южные склоны ранней весной и осенью, когда Солнце стоит невысоко. На широте  $60^\circ$  южные склоны крутизной  $30^\circ$  в середине апреля получают на 50% больше тепла, чем ровное место, на широте  $50^\circ$  — только на 28% больше, потому что Солнце здесь поднимается выше и его лучи как бы скользят по крутым склонам, не очень сильно нагревая их. Но поскольку Солнце здесь стоит относительно высоко, оно лучше облучает и обогревает северные склоны, чем на широте  $60^\circ$ .

К середине июня, когда Солнце поднимается выше всего над горизонтом, различия в прямой солнечной радиации сглаживаются как по широте, так и на склонах разной экспозиции. Даже крутые северные склоны (с крутизной  $20^\circ$ ), сильнее всего затененные от прямых солнечных лучей, получают в это время на широте  $60^\circ$  около 80% той радиации, которая поступает на ровное место.

Приведенные в табл. 25 данные учитывают изменение прямой солнечной радиации на склонах разной экспозиции по месяцам в зависимости от высоты Солнца над горизонтом. Но на широте  $60^\circ$  весна наступает почти на месяц позднее, чем на широте  $50^\circ$ , поэтому продолжительность вегетационного периода сельскохозяйственных культур на разных широтах тоже значительно различается. Чтобы иметь возможность правильно использовать данные



Таблица 25

Сопоставление прямой солнечной радиации в ясные дни на северных и южных склонах с радиацией на ровном месте (%)

Дата	Северные склоны		Ровное место	Южные склоны		
	крутизна			крутизна		
	20°	10°		10°	20°	30°
60° с. ш.						
20 IV	55	78	100	116	130	150
20 V	72	86	100	106	110	122
20 VI	82	92	100	101	102	103
20 VII	72	86	100	106	110	122
20 VIII	55	78	100	116	130	150
20 IX	34	70	100	128	153	172
50° с. ш.						
20 IV	68	88	100	108	120	128
20 V	80	92	100	103	108	112
20 VI	87	94	100	101	102	103
20 VII	80	93	100	103	108	112
20 VIII	68	88	100	108	120	128
20 IX	52	77	100	117	134	145

табл. 25 в сельскохозяйственном производстве, необходимо каждый раз учитывать совпадение их с соответствующим развитием растительности. Например, в северной части Кировской области среди холмистого рельефа Северных Увалов всходы яровых зерновых появляются в среднем около 15—20 мая. Созревание яровых зерновых здесь затягивается до конца августа. Вегетационный период картофеля ранних сортов длится с начала июня до середины сентября. В этих условиях сельскохозяйственные культуры используют благоприятные особенности местоположения на южных склонах главным образом во время созревания, когда даже относительно небольшое повышение температуры имеет существенное значение. Тепло ранней весны расходуется на южных склонах на ускорение таяния снега, просыхание и прогревание почвы; растениями оно используется только косвенно. На южных склонах возможен более ранний сев.

На широте 50° в пределах Приволжской возвышенности всходы яровых зерновых появляются уже в конце апреля. Но, появляясь на 20—25 дней раньше, чем в Кировской области, они могут использовать лишь немного больше дополнительного тепла на южных склонах, чем растения в Кировской области. Осенью же это тепло растениями не может быть использовано, так как вегетация заканчивается уже в конце июля—начале августа. Здесь дополнительное

тепло на южных склонах в период созревания используется позднеспелыми сортами плодовых культур, виноградом и другими культурами с длительным периодом вегетации.

Нельзя забывать, что пахотные склоны обычно пологи, крутизна их менее  $10^\circ$  и редко превышает  $6-7^\circ$ . Как видно из табл. 25, в этих условиях различия между прямой солнечной радиацией на южных и северных склонах летом (в июне) не превышают  $7-8\%$ , осенью же они могут достигать  $35-40\%$ .

Солнечное тепло расходуется на нагревание почвы и воздуха, испарение с поверхности почвы и транспирацию растений. С ранней весны южные склоны получают некоторое дополнительное количество прямой солнечной радиации, поэтому они быстрее прогреваются и быстрее высыхают. На северных склонах снег лежит дольше, почва медленнее прогревается и медленнее просыхает. Таким образом, уже с весны микроклимат северных и южных склонов становится различным — на северном склоне в нижней части его влажно и холодно, на южном склоне влажно и тепло. В верхней части склонов почва и воздух всегда бывают значительно суше, чем в нижней части.

Различия в количестве солнечной радиации, поступающей на южные и северные склоны, летом во время вегетационного периода не очень велики (табл. 25). Поэтому в дневные часы при скоростях ветра более  $2-3$  м/сек. (что приводит к хорошему перемешиванию приземных слоев воздуха) даже при ясном небе различия в температуре и влажности воздуха на открытых полях, расположенных в разных условиях рельефа, невелики. Разность температур воздуха (на высоте  $150$  см над почвой) в этих условиях колеблется от  $0$  до  $1,0^\circ$ , разность относительной влажности воздуха — от  $0$  до  $2-3\%$ , причем наиболее теплыми оказываются дно долин и подветренные юго-восточные, южные и юго-западные склоны, наиболее холодными — вершины и верхние части наветренных склонов даже при наличии южной составляющей в их экспозиции.

При ветре в ночные часы разность температур между северными и южными склонами сглаживается. При сильном южном ветре подветренный северный склон часто оказывается теплее южного наветренного. Днем при малых скоростях ветра (менее  $1,5-2,0$  м/сек.) разность температур открытых пологих южных и северных склонов в приземном слое воздуха до высоты  $20-50$  см может достигать  $5-6^\circ$ , на высоте  $1,5-2,0$  м — только  $1-2^\circ$ . Разность температур на поверхности почвы, покрытой низким и негустым травостоем, может доходить до  $10^\circ$ . Разность температур почвы значительна только в верхних слоях, до глубины  $5-8$  см. Влажность почвы на северных и южных склонах в одинаковых частях их (верх, середина, низ) также значительно различается за счет усиленного испарения на теплых южных склонах.

Восточные и западные склоны занимают промежуточное положение между северными и южными. Более теплым является западный склон, потому что на восточном склоне часть прямой солнечной радиации в утренние часы расходуется на испарение росы. Дно

долин и нижние части склонов при ветрах, дующих под углом 60—90° к направлению долины, на 2—3° теплее вершин.

Влияние различий в солнечном нагревании на склонах разной экспозиции четко проявляется в температуре деятельной поверхности. Амплитуда суточного хода температуры деятельной поверхности может быть на 16—19° больше суточной амплитуды температуры воздуха.

В тихие ясные ночи влияние экспозиции склона обычно не проявляется. В этом случае распределение температуры и влажности воздуха определяется условиями стока охлажденного воздуха. В ясные тихие ночи поверхности почвы и травостоя сильно излучают тепло и сами охлаждаются, охлаждая далее прилегающие слои воздуха. В условиях ровного рельефа при отсутствии ветра этот охлажденный более тяжелый воздух остается на месте своего образования. В условиях изрезанного рельефа охлажденный воздух, образовавшийся на склоне, как более тяжелый начинает сте-

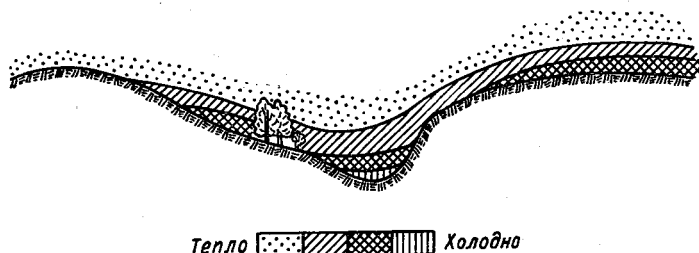


Рис. 41. Схема распределения температуры воздуха ночью в условиях пересеченного рельефа (от тепла к холоду).

кать по склону и скапливается у подножия его в виде «озера холода», иногда достигающего значительной мощности (рис. 41). Всякие препятствия, расположенные поперек склона, — группы деревьев, лесные полосы, изгороди и т. п. — вызывают скопления холодного воздуха выше их по склону, иногда отклоняют его течения в сторону.

В верхней части склона мощность слоя холодного воздуха очень мала, порядка 10—20 см, но уже в средней части склона она может достигать 1 м и более. У подножия склона и в нижней части его глубина «озера холода» может достигать 8—10 м и более. Такие «озера» в понижениях рельефа бывают хорошо выражены только в тихие ясные ночи. Глубина их определяется формой рельефа, протяженностью и высотой склона, условиями стока холодного воздуха в долине и колеблется в довольно широких пределах. Так же велики и различия в минимальных температурах ночью в верхних и нижних частях склона, в положительных (выпуклых) и отрицательных (вогнутых) формах рельефа.

Ночью самые низкие температуры и высокие значения относительной влажности воздуха наблюдаются на дне замкнутых долин без стока или с затрудненным стоком холодного воздуха. Наиболее

теплыми являются вершины холмов и верхняя треть склонов. Днем при наличии ветра вершины и верхние части наветренных склонов могут быть несколько холоднее прилегающих долин и низин, ночью они значительно теплее. В результате средняя суточная температура в разных частях рельефа может изменяться незначительно, но суточная амплитуда температуры, т. е. разность между максимальной температурой днем и минимальной ночью, различается существенно. Суточные амплитуды температуры на вершинах и на склонах малы по сравнению с суточной амплитудой температуры в долинах. Влияние различий суточного хода температуры на жизнь растений очень велико.

Влияние рельефа на сельскохозяйственные культуры не ограничивается только теплым вегетационным периодом. Оно также очень велико и зимой. Снежный покров ложится в разных формах рельефа по-разному, а от высоты и плотности его зависят условия перезимовки озимых, плодовых и многолетних культур.

В условиях изрезанного рельефа микроклиматические особенности отдельных форм и частей его остаются почти постоянными из года в год, немного изменяясь только под влиянием погоды. Поправки же на фитоклимат, который определяется особенностями структуры травостоя культурных растений, могут изменяться при смене культур в севообороте.

Метеорологические станции и посты Гидрометслужбы, расположенные в типичных для данного района местностях, проводят регулярные метеорологические наблюдения. Данные этих наблюдений характеризуют макроклиматические условия района, которые отражают основные черты климата больших территорий. Лишь относительно небольшая часть этой сети, расположенная в особых местоположениях, характеризует также некоторые микроклиматические особенности района. Все микроклиматические наблюдения всегда сравниваются с наблюдениями этой основной сети станций, по возможности приводятся к ее наблюдениям. Микроклиматические характеристики даются в виде отклонений от показаний станций или в виде отклонений от данных открытого ровного места. В зависимости от изучаемого элемента эти отклонения выражаются в разностях (градусы температуры, дни периода, проценты относительной влажности) или в виде отношений (скорость ветра, количество осадков).

Приемы, методика проведения микроклиматических наблюдений и используемые при этом приборы могут быть весьма различны, они определяются исходя из поставленной задачи и имеющихся технических возможностей.

Для изучения закономерностей микроклимата и физических процессов, его обуславливающих, проводятся сетевые и экспедиционные исследования в приземном слое воздуха обычно до высоты 2—3 или 10—15 м с применением специальных приборов. Кроме того, проводятся градиентные наблюдения (одновременное измерение отдельных метеорологических элементов на разных уровнях

над поверхностью почвы). Такие наблюдения ведутся в нескольких точках, расположенных на разных полях, в разных условиях рельефа или на разном расстоянии от водоема. Результаты их сравниваются между собой и с одной основной опорной точкой, которая должна характеризовать открытое ровное место.

Ниже приводится ряд таблиц, характеризующих микроклиматическую изменчивость отдельных метеорологических элементов, полученную путем обобщения большого материала экспедиционных и сетевых наблюдений, а также расчетными методами.

Для удобства расчетов в табл. 26 дается оценка морозоопасности различных форм холмистого рельефа в баллах, полученная в результате многочисленных исследований. Чем больше морозоопасность, тем выше балл. Для ровного места принимается оценка 3 балла. Эта приближенная оценка морозоопасности холмистого рельефа умеренной зоны СССР предназначается для характеристики открытых, лишенных леса и высоких кустарников склонов и долин с относительными разностями высот 10—150 м.

Ориентировочно можно принять, что в умеренной зоне для холмистого рельефа в местоположениях с морозоопасностью, оцениваемой в 1 балл, минимальная температура может быть на 3—5° выше, чем на открытом ровном месте; в местоположениях с морозоопасностью 2 балла — на 1—3° выше, причем в долинах больших рек и на побережьях озер минимальная температура выше на 2—4°. В местах с морозоопасностью, оцениваемой в 4 балла, температура на 2—5° ниже, чем на ровном месте, а с морозоопасностью 5 баллов — ниже на 4—6°.

Наличие леса меняет приведенные в табл. 26 характеристики. Можно считать, что лес на склонах долины уменьшает ее морозоопасность на 1 балл, лес внизу склона увеличивает морозоопасность вышележащего участка долины на 1 балл.

В работах по агроклиматологии до последнего времени почти не учитывалось влияние ветра на тепловой и водный режим среды обитания растений, хотя это влияние велико. В табл. 27 приводится характеристика изменчивости скорости ветра в разных формах рельефа, которая в исследованиях по микроклимату принимается во внимание при всех расчетах, связанных с определением режима испарения, температуры деятельной поверхности и т. п. Данные этой таблицы необходимо учитывать также при размещении сельскохозяйственных культур, закладке садов и виноградников и т. д.

В табл. 28 дана характеристика изменчивости среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха.

Исследуя изменчивость сумм температур деятельной поверхности в условиях изрезанного рельефа (рис. 42), З. А. Мищенко нашла, что она является причиной различий в скорости прохождения отдельных фаз развития растений.

Некоторые примеры изменчивости дат наступления различных фаз развития растений приведены в табл. 29.

Теплообеспеченность отдельных форм рельефа

Форма рельефа	Холодный воздух		Степень морозо-опасности (баллы)	Изменение		
	приток	сток		минималь-ной темпе-ратуры за тихую ясную ночь весной и осенью (град.)	длитель-ности безмороз-ного периода (дни)	суммы температур за эти дни (град.)
				от до	от до	от до
Вершины, верхние и средние части крутых склонов (относительная высота $\Delta h > 50$ м, уклон $> 10^\circ$ )  Вершины и верхние части пологих склонов (относительная высота $\Delta h < 50$ м, уклон $3-10^\circ$ )  Равнины, плоские вершины, средние части дна широких (больше 1 км) открытых долин  Средние части пологих склонов (уклон $3-10^\circ$ )  Дно и нижние части склонов узких долин с большим уклоном вдоль оси долины	Нет	Хороший	1	3 5	15 25	150 200
	"	Есть	2	1 3	5 15	50 150
	"	Нет	3	0	0	0
	"	Есть	3	0	0	0
	Есть	Хороший	1	3 5	15 25	150 200

Дно и низкие части склонов узких долин с умеренным уклоном	Есть	Есть	2	1 3	5 15	50 150
Долины больших рек, берега водоемов	"	"	2	2 4	10 20	100 200
Дно и нижние части склонов нешироких глубоких долин с большим уклоном вдоль оси долины	"	"	3	0	0	0
То же со слабым уклоном	"	Слабый	4	-2 -3	-10 -15	-100 -200
Дно и нижние части склонов нешироких извилистых замкнутых долин	"	Почти нет	5	-3 -5	-15 -25	-200 -300
Котловины	"	Нет	5	-4 -6	-20 -30 и более	-250 -350 и более
Нижние части склонов и прилегающие части дна широких долин	"	Слабый	4	-3 -5	-15 -25	-200 -300
Замкнутые, широкие, плоские (корытообразные) долины	"	Почти нет	5	-4 -6	-20 -30 и более	-250 -300 и более
Сырые низины	Нет	Нет	4	-3 -6	-15 -30	-200 -350

П р и м е ч а н и е. Положительные величины означают повышение минимальной температуры за ночь и увеличение длительности безморозного периода и суммы температур воздуха за этот период по сравнению с ровным местом, отрицательные — соответственно понижению и уменьшению.

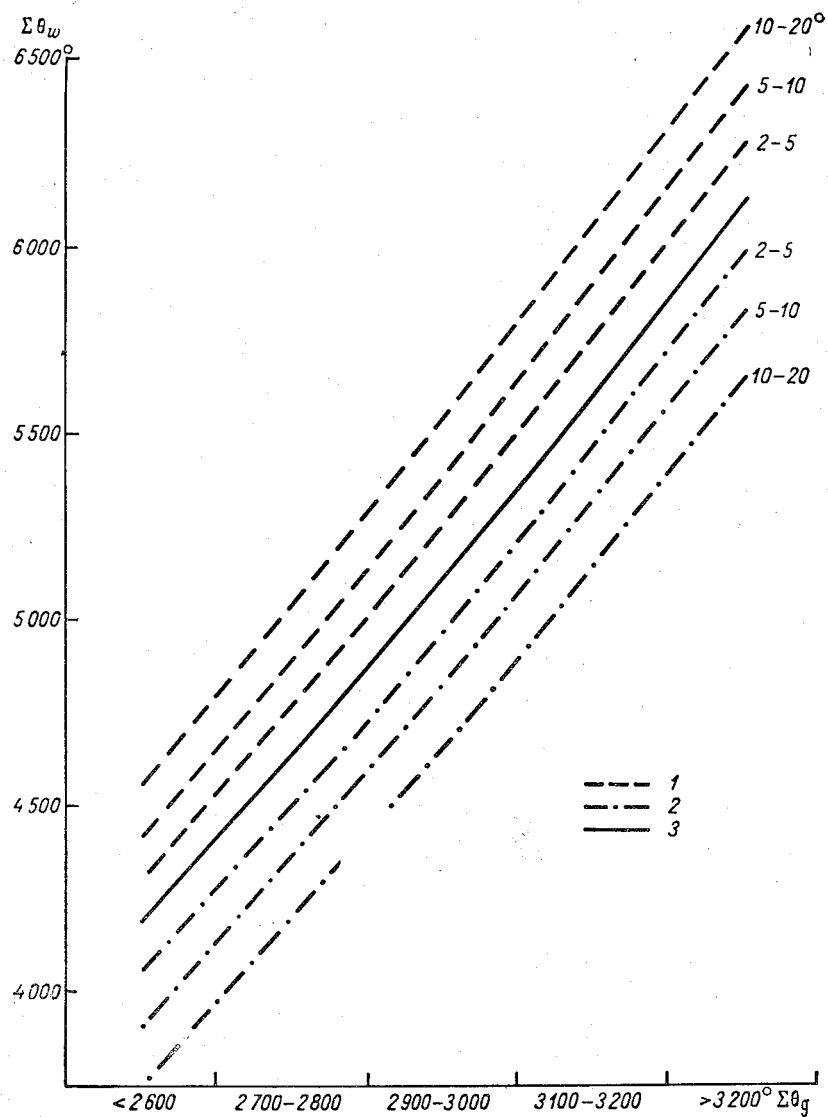


Рис. 42. Номограмма для расчета возможных сумм температур деятельной поверхности ( $\Sigma\theta_w$ ) за день на северных и южных склонах различной крутизны в разных районах Оренбургской области по дневным суммам температур воздуха выше  $10^\circ$  ( $\Sigma\theta_g$ ).

1 — южные склоны, 2 — северные, 3 — ровные участки (у линий указана крутизна склонов в градусах).



Таблица 27

Коэффициенты изменения скорости ветра в различных условиях рельефа  
по сравнению с открытым ровным местом (для высоты 2 м)

Форма рельефа	Время суток	Скорость ветра на ровном месте (м/сек.)	
		3—5	6—10
Открытое ровное место		1,0	1,0
Вершины открытых возвышенностей			
$\Delta h$ более 50 м	День	1,4—1,5	1,2—1,1
	Ночь	1,8—1,7	1,5—1,4
$\Delta h$ менее 50 м	День	1,3—1,4	1,1
	Ночь	1,7—1,6	1,3—1,4
Наветренные склоны крутизной 3—10°			
верхняя часть	День	1,2—1,3	1,0—1,1
	Ночь	1,4—1,6	1,2—1,3
средняя часть	День	1,0—1,1	1,0
	Ночь	1,0—1,1	1,1
нижняя часть	День	1,0	0,9—1,0
	Ночь	0,8—0,9	1,0
Параллельные ветру склоны крутизной 3—10°			
верхняя часть	День	1,2—1,1	0,9—1,0
	Ночь	1,4—1,3	1,0—1,1
средняя часть	День	0,9—1,0	0,9—0,8
	Ночь	1,1—1,0	1,0
нижняя часть	День	0,9—0,8	0,8—0,7
	Ночь	1,0—0,9	0,8—0,7
Подветренные склоны крутизной 3—10°			
верхняя часть	День	0,9—0,8	0,8—0,9
	Ночь	0,9—1,0	0,9—1,0
средняя часть	День	0,9—0,8	0,8—0,9
	Ночь	1,0—1,1	0,9—1,0
нижняя часть	День	0,8—0,7	0,7—0,6
	Ночь	0,9—1,1	0,7—0,6
Дно долин, ложин, оврагов, продуваемых ветром	День	1,2—1,1	1,1—1,0
непродуваемых	Ночь	1,5—1,3	1,3—1,4
	День	0,8—0,7	0,7—0,6
замкнутых	Ночь	0,6 и менее	—
	День	0,6 и менее	—
	Ночь	0,6 и менее	—
Холмы с плоскими вершинами и пологими склонами крутизной 1—3°			
вершины, верхние части наветренных и подветренных склонов	День	1,2—1,4	—
	Ночь	1,3—1,5	—
средние и нижние части таких склонов	День	0,8—1,1	—
	Ночь	1,0—1,3	—

Таблица 28

Изменение  $T_{\text{мин}}$  под влиянием местоположения в холмистом и горном рельефе на территории СССР

Зона	Вершина, верхняя треть склона	Середина склона	Широкая долина	Замкнутая долина, котловина	Разность вершина — котловина
Слабовсхолмленный рельеф	2	1	—2	—3, —4	5—6
Слабохолмистый рельеф в условиях континентального климата АТС	2—3	1—2	—2	—4	6—7
Холмистый рельеф ЕТС и слабовыраженный рельеф АТС	3—4	2	—2, —3	—4, —5	7—9
Холмистый рельеф, низко- и среднегорный рельеф ЕТС	4—5	2—3	—3	—5, —6	9—11
Низко- и среднегорный рельеф АТС и горы Кавказа	5	—	—3, —4	—6, —8	11—13
Горы Тянь-Шаня, Памира, Алтая и Саян	5—6	—	—5, —6	—8, —9	13—15
Горы Центральной и Восточной Якутии	6	—	—6, —7	—9, —10	15—17

Примечание. Положительные величины означают повышение  $T_{\text{мин}}$  по сравнению с ровным местом в холмистом рельефе или со склоном в горном рельефе, отрицательные — понижение (град.) .

Обобщенные данные по изменению продолжительности вегетационного периода в разных условиях рельефа для разных культур даны в табл. 30.

Наблюдения в континентальном климате (Иркутская область) показали, что яровая пшеница и ячмень созревают в условиях верхних и средних частей склонов соответственно на 7 и 10 дней раньше, чем в долине (разница высот около 100 м). В Северном Предуралье яровая пшеница в низине созревает на 5—13 дней позднее, чем на вершине холма, овес же на 15 дней раньше в средней части юго-западного склона по сравнению с низиной.

Ускорение созревания в положительных формах рельефа было отмечено у таких растений, как гречиха, люпин, кукуруза, лен, томаты, огурцы, плодовые, хлопчатник и др. Причем, как правило, на южных склонах созревание наступает на 7—10 дней раньше, чем на северных.

Таблица 29 позволяет проследить скорость развития яровой пшеницы в разных условиях рельефа. Несмотря на то что в 1965 г.

яровая пшеница Акмолинка в Цуриковке была посеяна в низине (подножие склона) на 8 дней позднее, чем в верхней части юго-западного склона (разница в высоте полей 50 м), выход в трубку на обоих полях наступил почти одновременно, а созревание отстало в низине на 11 дней.

Период посев—выход в трубку в низине был на 7 дней короче, чем на склоне, а репродуктивный период, наоборот, на склоне на 10 дней короче.

Указанные в таблице данные рассчитаны для среднеспелых сортов, поэтому они будут меньше для скороспелых и значительно больше для позднеспелых сортов.

Рельеф влияет также на величину и качество урожая. Однако их зависимость от рельефа сложная, так как существенное значение для урожая имеет плодородие почвы и ее увлажнение. Преимущество того или иного местоположения сказывается на урожае по-разному в разных климатах и в отдельные годы в одном и том же месте. На севере ЕТС урожай большинства зерновых культур в средней части склона выше, чем в низинах (подножие склона) в прохладные и увлажненные годы. В сухие и жаркие годы урожай в низинах выше.

На рис. 43 показано влияние экспозиции склона на урожай овощных культур. Урожай томатов и огурцов на северном склоне на 21—26% выше, чем на южном, а картофеля на южном склоне выше на 6% по сравнению с северным.

Очень большой пространственной изменчивостью на малых расстояниях характеризуется влажность почвы. Она значительно изменяется даже на ровных участках в зависимости от механического состава почвы и глубины залегания грунтовых вод, но особенно сильно она изменяется в изрезанном рельефе. Здесь влажность почвы в различных местоположениях часто меняется сильнее, чем при переходе из одной климатической зоны в другую. Так, влажность почвы на вершине холма и в верхней части склонов в увлажненной зоне может быть меньше, чем у подножия холма в более сухой зоне.

Несмотря на сложность и непостоянство комплекса явлений, оказывающих влияние на изменение влагозапасов по элементам рельефа, общие закономерности изменений коэффициентов увлажненности (отношение влагозапасов в разных формах рельефа к влагозапасам на ровном месте) проявляются достаточно четко.

На основании большого эмпирического материала с учетом физических закономерностей по перераспределению осадков и водного баланса по склонам Е. Н. Романова разработала четкую схему

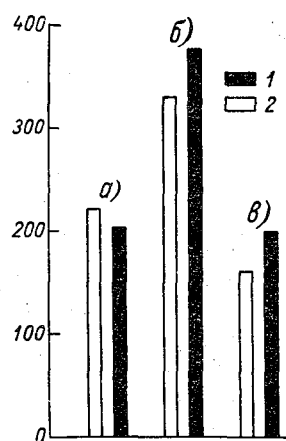


Рис. 43. Влияние экспозиции склона на урожай овощных культур.

а — картофель, б — томаты, в — огурцы; 1 — северный склон, 2 — южный.

Таблица 29

Даты наступления основных фаз развития и продолжительность вегетационного периода яровой пшеницы в условиях холмистого рельефа

Место наблюдений	Высота над уровнем моря (м)	Посев	Всходы	Выход в трубку	Колосение	Молочная спелость	Восковая спелость	Длительность периодов вегетации (дни)		
								посев—выход в трубку	выход в трубку—восковая спелость	посев—восковая спелость
Целинный край (Цуриковка). Яровая пшеница Акмолинка										
1955 г.										
Северо-западный склон (верх)	460	10 V	24 V	18 VI	7 VII	18 VII	1 VIII	39	44	83
Северо-западный склон (нижняя часть)	430	10 V	24 V	16 VI	6 VII	20 VII	6 VIII	37	51	88
Подножие склона	419	10 V	23 V	15 VI	10 VII	23 VII	10 VIII	36	56	92
1956 г.										
Юго-западный склон (верх)	470	10 V	22 V	19 VI	14 VII	5 VIII	20 VIII	40	62	102
Юго-западный склон (середина)	450	10 V	22 V	19 VI	19 VII	10 VIII	28 VIII	40	70	110
Подножие склона	416	18 V	25 V	20 VI	23 VII	14 VIII	36 VIII	33	72	105

## Читинская область (Верхний Нарым). Яровая пшеница Лютесценс 62

1959 г.	750	24 IV	15 V	14 VI	5 VII	30 VII	20 VIII	50	67	117
Южный склон (верхняя треть)										
Подножие склона	720	23 IV	14 V	11 VI	6 VII	31 VII	24 VIII	49	74	123
Северо-западный склон (верхняя треть)	760	26 IV	17 V	16 VI	6 VII	30 VII	23 VIII	50	69	119
Подножие склона	730	25 IV	16 V	17 VI	7 VII	2 VIII	27 VIII	48	76	124

## Целинный край (Цуриковка), 1956 г.

Овес Победа	450	21 V	31 V	20 VI	20 VII	4 VIII	20 VIII	30	61	91
Юго-западный склон (середина)										
Подножие склона	416	21 V	31 V	23 VI	23 VII	8 VIII	28 VIII	33	66	99
Кукуруза Алмаатинская 236										
Плоская вершина	470	25 V	12 VI	—	10 VIII	31 VIII	—	—	—	98
Подножие вершины	416	23 V	10 VI	—	13 VIII	4 IX	—	—	—	104

Таблица 30

Изменение продолжительности вегетационного периода (дни)  
ряда сельскохозяйственных культур в холмистом рельефе под влиянием  
местоположения по сравнению с открытым ровным местом

Место наблюдения	$\Delta t$ за V—VIII, (град.)	Яровая пше- ница	Ячмень	Овес	Кукуруза	Картофель	Огурцы, то- маты	Люпин одно- летний
Верхние части открытых склонов (20—80 м, крутизна 5—10°)	—1,5	—4	—4	—3	—4	—4	—6	—4
Середины склонов (20— 50 м, крутизна 3—7°)	—1,0	—3	—3	—2	—3	—3	—4	—3
Дно широких (более 1 км в поперечнике) до- лин, подножия склонов	1,5	4	5	3	5	5	6	4
Замкнутые долины и кот- ловины	2,5	6	7	5	8	7	10	6

П р и м е ч а н и е. Положительные цифры означают увеличение продолжительности вегетационного периода растений и суточной амплитуды температуры воздуха, отрицательные — уменьшение.

распределения влажности почвы по профилю склона в разных климатических зонах и по сезонам года. На рис. 44 приводится составленная ею номограмма, наглядно представляющая схему этой закономерности для склонов наиболее распространенных в природе прямого и вогнутого профиля. Например, согласно этой номограмме, оптимальное увлажнение в пределах 60—80% ПВ летом наблюдается в слабозасушливой (III) зоне, в нижних частях северных и восточных склонов, в зонах достаточного и избыточного увлажнения на ровных местах и в нижних и средних частях тех же склонов. Верхние части южных и западных склонов даже в зоне избыточного увлажнения летом отличаются пониженной влажностью в пределах 30—40% ПВ.

Для оценки отклонения условий увлажнения от оптимальных в различных местоположениях и в разных климатических зонах также удобно пользоваться характеристикой влажности почвы, выраженной в процентах от ПВ, исходя из того, что оптимальные условия увлажнения соответствуют влажности 60—80% ПВ. В соответствии с этим на номограммах Е. Н. Романовой даются рекомендации по проведению мелиоративных мероприятий. При влажности почвы 60—80% ПВ никаких мелиораций не требуется. Если увлажнение почв превышает 80%, то для создания оптимальных условий произрастания растений требуется сброс избытка воды; при влажности почв 40—60% нужны отдельные поливы в критические периоды развития растений. При еще большей сухости почв

требуется орошение периодическое (при влажности 30—40%) и систематическое (при влажности ниже 30%).

А

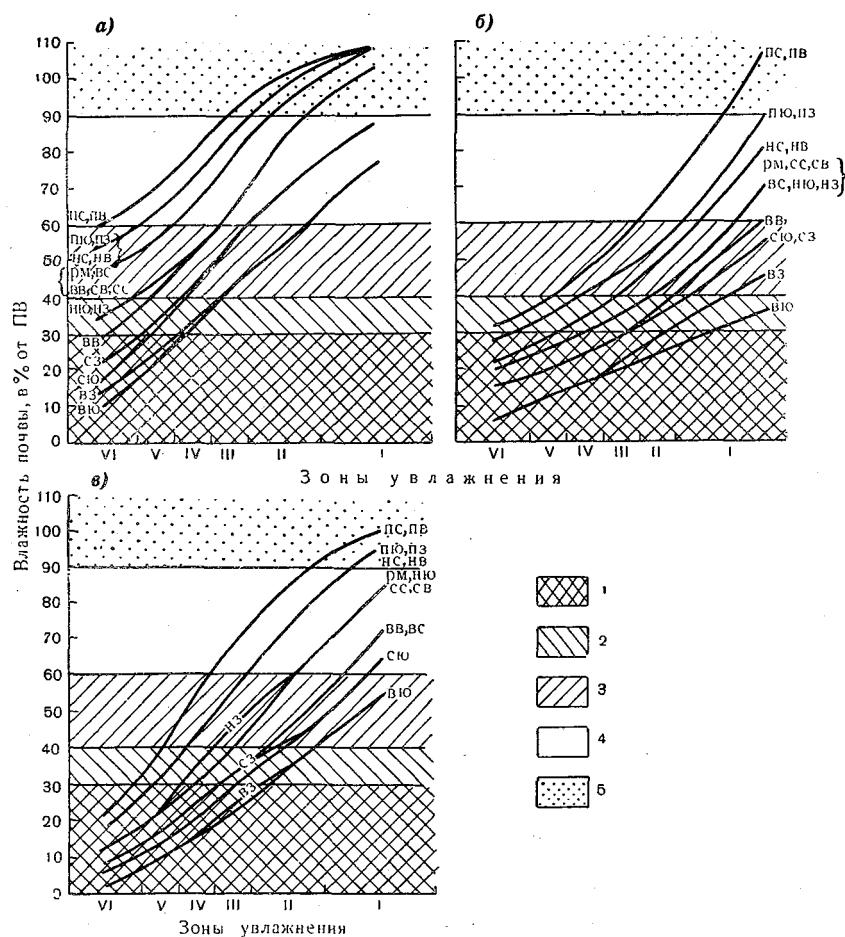


Рис. 44. Увлажнение почв разных местоположений в зонах различного увлажнения для склонов прямого и вогнутого профилей.

а — весна, б — лето, в — осень. Зоны увлажнения: I — избыточного, II — достаточного, III — слабозасушливая, IV — засушливая, V — очень засушливая, VI — сухая. Мелиоративные мероприятия: 1 — систематическое орошение, 2 — периодическое орошение, 3 — поливы в критические периоды развития растений, 4 — оптимальное увлажнение, 5 — сброс избытка воды; рм — ровное место, вс, сс, нс — верхние, средние и нижние части северных склонов соответственно, вю, сю, ню — верхние, средние и нижние части южных склонов, вв, св, нв — верхние, средние и нижние части восточных склонов, вз, сз, нз — верхние, средние и нижние части западных склонов; пв, пю, пз, пс — подножия склонов соответствующей экспозиции.

По номограммам видно, что весной оптимальные условия увлажнения имеют место во всех зонах увлажнения, за исклю-

чением сухой, причем в зоне избыточного увлажнения это верхние и средние части южных и западных склонов, а в очень засушливой зоне — подножия склонов и нижние части северных и восточных склонов. В зонах со средними условиями увлажнения (достаточного и слабозасушливой) весной оптимальные условия увлажнения создаются во многих местоположениях: на верхних и средних частях восточных и северных склонов, на нижних — южных и западных, на ровных местах.

Мелиоративные мероприятия весной необходимы в зоне избыточного увлажнения, где даже ровные участки и тем более понижения рельефа и нижние части склонов нуждаются в сбросе избытка воды. В сухой зоне для обеспечения нормальных условий произрастания растений орошение и поливы требуются для всех местоположений, а в очень засушливой зоне — для всех положи-

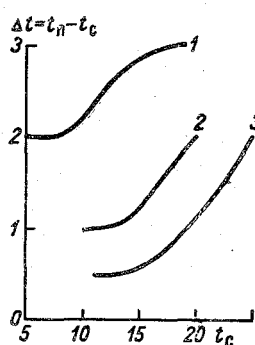


Рис. 45. Средняя разность  $\Delta t$  между месячными температурами песчаной  $t_n$  и суглинистой  $t_c$  почв под черным паром на глубине 5 см в зависимости от температуры суглинистой почвы в мае (1), июне (2), июле (3).

тельных форм рельефа и отчасти ровных мест. В слабозасушливой и засушливой зонах дополнительное весеннее увлажнение почв также должно предусматриваться системой мелиоративных мероприятий для определенных местоположений.

Летом даже в зоне избыточного увлажнения в некоторых формах рельефа имеет место дефицит влажности почвы. Мелиоративные мероприятия неодинаковы как для разных зон увлажнения, так и в пределах зоны. Например, в зоне достаточного увлажнения летом в разных формах рельефа влажность почвы меняется от значений  $<30$  до  $60-70\%$  и в соответствии с этим должны проводиться мелиоративные мероприятия.

Теплофизические характеристики почвы также весьма изменчивы на близких расстояниях, но этот вопрос для условий ровного места пока изучен слабо.

Температура почвы существенно изменяется под влиянием ее механического состава. Соответствующие количественные характеристики и карта их пространственной изменчивости даны в главе VI на рис. 70 (на примере Псковской области). Здесь же приведем рис. 45, где обобщены многолетние данные сети станций. Из этого рисунка видно, что разности между температурами разных по механическому составу почв меняются во времени. Это связано с из-



менением влажности почвы от весны к осени. Такие изменения нелинейны в пространстве и во времени, что значительно осложняет задачу учета механического состава почвы при оценке ее термического режима и динамики его во времени.

Основными микроклиматическими факторами, обуславливающими величину урожая на склонах, являются условия тепло- и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур на склонах разной экспозиции и длительность безморозного периода в отрицательных формах рельефа.

Многообразие в соотношениях микроклиматических особенностей в разных частях рельефа и по территории СССР определяет существенные различия в данных, полученных разными авторами по урожайности отдельных экологических групп сельскохозяйственных культур на склонах. Это приводит также к известным противоречиям в предлагаемых ими практических рекомендациях по использованию микроклиматических особенностей холмистого рельефа при размещении сельскохозяйственных культур.

На основании пока немногочисленных опытных данных о влиянии особенностей термического режима холмистого рельефа на условия развития разных видов сельскохозяйственных культур можно считать, что дополнительное тепло, получаемое склонами южной экспозиции (южные, юго-восточные, юго-западные), способствует ускорению развития растений и повышению урожайности только в условиях хорошего увлажнения в южной части СССР преимущественно в холодные влажные годы. В жаркие сухие годы в южной части СССР более высокие урожаи могут быть получены на северных склонах и в понижениях рельефа. В северной части СССР при наличии достаточного увлажнения термическое преимущество склонов южной экспозиции проявляется в любых условиях погоды.

В нижних частях склонов и на дне долин созревание сельскохозяйственных культур под влиянием низких температур ночи и высокой влажности почвы запаздывает по сравнению с остальными частями склонов (для зерновых культур до 6—8 дней). Урожайность не требовательных к теплу и влаголюбивых культур внизу обычно больше, чем на склонах. Но в холодные годы в северной и восточной частях СССР урожайность даже довольно морозостойких культур может быть понижена за счет заморозков. Теплолюбивые культуры здесь дают более высокие урожаи на склонах во все годы, так как в понижениях рельефа они страдают от низких температур ночью.

Имеющиеся немногочисленные опытные данные не позволяют пока дать достаточно обоснованные рекомендации по правильному использованию особенностей микроклимата холмистого рельефа в разных частях СССР для культур разных групп по их требованиям к режиму тепла и влаги. Они дают лишь возможность наметить определяемые микроклиматом ведущие факторы, учитываемые при таких рекомендациях.

## Глава V

### ОЦЕНКА АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЖИВОТНОВОДСТВУ

---

Развитие животноводства и рост его продуктивности является одним из необходимых условий повышения благосостояния нашего народа. Для решения этой проблемы существенное значение имеют агрометеорологические и агроклиматические исследования.

Применительно к животноводству перед агроклиматологией стоят две основные задачи. Одна из них состоит в том, чтобы поставить агроклиматические исследования на службу укрепления кормовой базы — основы подъема животноводства. В эту задачу входят такие исследования, как изучение климатических условий роста и развития естественных пастбищ и сенокосов, сроков сева, условий роста, развития и урожайности кормовых культур, дифференцированного применения агротехники и т. д.

Вторая задача заключается в изучении климатических и погодных условий, непосредственно влияющих на сельскохозяйственных животных. К этой задаче следует отнести большой комплекс вопросов: определение продолжительности стойлового содержания животных, изучение условий и времени перегона, стрижки, окота, оценка влияния неблагоприятных метеорологических факторов в период выпаса животных и пр.

Кормовая база животноводства нашей страны складывается из многих составляющих: естественных пастбищ и сенокосов, зерновых и силосных культур, картофеля, корнеплодов, многолетних сеяных трав и т. д.

Стоящая перед сельским хозяйством страны задача существенного укрепления кормовой базы объясняется все еще недостаточным количеством кормов. Так, подсчитано, что из-за неполноценного кормления животных наша страна ежегодно недополучает (в пересчете на мясо) 3,2—3,3 млн. т продукции.

В укреплении кормовой базы особое место занимают травы. Естественные кормовые угодья (сенокосы и пастбища) в Советском Союзе представляют гигантский источник дешевого и полноценного (в питательном отношении) фуража. Однако в общем балансе кормов они составляют пока лишь около 30%. Такое неудовлетворительное положение объясняется низкой урожайностью большинства естественных сенокосов и пастбищ, потребительским

отношением к ним. Последнее зачастую проявляется в производственном пренебрежении к оптимальным потребностям трав.

На протяжении последних лет партия и правительство принимают энергичные меры по подъему сенокосно-пастбищного хозяйства нашей страны. На майском (1966 г.) Пленуме ЦК КПСС была принята развернутая программа улучшения естественных кормовых угодий. На XXIV съезде КПСС проблема подъема животноводства, признанная одной из основных в сельском хозяйстве, рассматривалась комплексно.

Учитывая важность трав в кормовом балансе страны и их большие потенциальные возможности, рассмотрим в данной главе агроклиматические вопросы, связанные преимущественно с естественными кормовыми угодьями и сеянными травами. О культурах, используемых также в качестве кормов для животных (картофель, зерновые и пр.), будет рассказано в главе VIII.

#### **§ 1. КЛИМАТ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРАВ НА ТЕРРИТОРИИ СССР**

Многочисленными исследованиями установлено, что условия жизни и продуктивности трав 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 СССР. 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 нарушается. К северу имеет место нарастание избытка осадков, к югу же, наоборот, количество осадков резко уменьшается. Это приводит к уменьшению годичного прироста растительной массы (табл. 31).

Климатические и природные условия являются важной причиной неравномерного распределения естественных кормовых угодий на территории СССР. 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, полевица белая, клевер, люцерна, мышиный горошек, манжетка, 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, калужница и др. Никакими приспособлениями к устранению вредного влияния засухи травы из группы гигрофитов не обладают.

3. Травы, способные переносить засуху (ксерофиты). Они произрастают чаще всего в степях, полупустынях и пустынях. К ним

Таблица 31

Годовой прирост растительной массы трав в разных климатических зонах Западно-Сибирской низменности, равнинного Казахстана и Средней Азии

Зона и подзона	Радиационный баланс $R$ (ккал/см <sup>2</sup> )	Количество осадков $r$ (мм)	Затраты тепла на испарение $Lr$ (ккал/см <sup>2</sup> )	Отношение $\frac{R}{Lr}$	Сумма положительных температур воздуха (град.)	Годовой прирост растительной массы (ц/га)
Арктическая «полупустыня»	4	220	13	0,3	150	4
Арктическая тундра	4	240	14	0,3	180	7
Северная тундра	8	270	16	0,5	540	12
Южная тундра	12	325	19	0,6	900	12
Редколесная тундра	13	375	22	0,6	1070	14
Северная тайга	15	490	29	0,5	1320	15
Средняя тайга	18	450	27	0,7	1830	30
Южная тайга	20	420	25	0,8	2050	50
Широколиственные леса	32	540	32	1,0	2800	56
Мелколиственные леса	22	400	24	0,9	2160	—
Луговая степь	23	325	20	1,2	2350	15
Типичная разнотравно-дерновинно-злаковая степь	24	300	18	1,3	2530	12
Типичная дерновинно-злаковая степь	26	280	17	1,5	2730	10
Пустынная степь	27	200	12	2,2	3300	5
Остепненная (северная) и типичная пустыня	31	130	8	3,9	3740	4
Эфемерно-полукустарничковая (южная) пустыня	35	100	6	5,8	5500	7

относятся ковыль, житняк, прутняк, солянки, полыни, верблюжья колючка, астрагалы и др. Растения этой группы обладают многочисленными структурными особенностями для приспособления к почвенной и воздушной засухам.

Помимо естественных угодий, кормовая база нашей страны в значительной мере пополняется за счет сеяных трав. Общая площадь сеяных трав в Советском Союзе в 1968 г. достигла 37 млн. га. Сеяные травы наряду с естественными угодьями при интенсивном ведении хозяйства в перспективе позволят каждому колхозу и совхозу создать прочную кормовую базу.

Возделывание сеяных трав имеет место почти на всей территории Советского Союза, однако сортимент их меняется в зависимости от климата. Из многолетних сеяных трав на севере и в нечерноземной полосе больше всего распространен клевер красный. Являясь растением умеренно влажного и теплого климата, он ши-

роко культивируется на территории Белоруссии, Прибалтийских республик, во многих северных и центральных районах РСФСР и т. д. Клевер часто высевают вместе с тимофеевкой луговой и некоторыми другими компонентами. Кормовая ценность клевера прежде всего определяется высоким содержанием протеина.

В южных районах страны (Средняя Азия, Закавказье, Молдавия, Поволжье) большое распространение получила люцерна. Мощно развитая корневая система люцерны (до 5—7 м) делает ее сравнительно засухоустойчивой, что очень важно для южных районов. Кроме того, люцерна является солевыносливым растением, способствующим рассолению почв и предупреждающим их вторичное засоление.

Значительное разнообразие форм и сортов люцерны позволило продвинуть ее 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 в нашей стране интенсивно культивируют лядвенец рогатый и 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 РСФСР и Средней Азии — суданка.

По способу использования сеяные травы разделяют на три группы: сенокосные, пастбищные и смешанные (сенокосно-пастбищные).

Травы, дающие урожай без пересева в течение двух лет и более, называют многолетними. Многолетние сеяные травы (сенокосы и пастбища) по времени использования делятся на три группы:

- 1) краткосрочные, используемые в течение двух-трех лет;
- 2) среднесрочные, используемые в течение четырех—шести лет;
- 3) долгодетные, используемые семь—десять лет.

## **§ 2. ПОТРЕБНОСТЬ ТРАВ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

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 элементах.

Большая часть представителей природных и сеяных трав начинает весеннее возобновление вегетации при средних суточных температурах воздуха 3—5°, что совпадает с накоплением суммы положительных температур воздуха порядка 25—45°. Некоторые ранневесенние травы пустынной и полупустынной зон (эфмеры и эфемероиды) начинают свою вегетацию при устойчивом переходе

средней суточной температуры воздуха через  $0^{\circ}$  (используя положительные дневные температуры). Отдельные растения пастбищ южных районов страны отличаются большей теплолюбивостью, они начинают вегетацию при средней суточной температуре воздуха  $9^{\circ}$  (саксаул),  $10-11^{\circ}$  (тростник и ажрек) и  $14^{\circ}$  (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  $-6^{\circ}$  вызывают повреждение большинства растений, находящихся в начальных фазах развития. Теплолюбивые травы (верблюжья колючка) повреждаются заморозками уже при температуре  $-1^{\circ}$ .

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, 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  $115^{\circ}$  после схода снежного покрова или устойчивого перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}$ .

По данным А. М. Могилевой, на суходольных сенокосах и пастбищах в пределах Европейской территории Советского Союза для начала выпаса скота необходима высота травостоя 8—10 см, что наблюдается при накоплении суммы положительных средних суточных температур  $75-115^{\circ}$ . На заливных пастбищах и лесостепарниковых выгонах эти суммы соответственно равны  $125-160$  и  $160-260^{\circ}$ . 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  $5^{\circ}$ )  $550-570^{\circ}$ . Для двуукосных клеверов необходима сумма эффективных температур  $460-470^{\circ}$ , для люцерны —  $500-550^{\circ}$ . Такие травы, как тимopheевка луговая, овсяница луговая, ежа сборная, зацветают при суммах температур  $450-470^{\circ}$ .

В период роста и развития для большинства трав (исключая люцерну) температура воздуха выше  $35-40^{\circ}$  является неблагоприятной.

Осенняя вегетация трав обычно прекращается при переходе средней суточной температуры воздуха через  $5^{\circ}$ .

Потребность трав во влаге изменяется в онтогенезе в зависимости от напряжения внешних условий, биологии самих растений и фазы развития.

В табл. 32 в качестве примера приведена норма водопотребления красного клевера, определенная подекадно для условий Северо-Запада (Ленинградская область).

Таблица 32

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

Из таблицы следует, что норма водопотребления красного клевера в условиях Северо-Запада за период май—август составляет 340—350 мм.

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.

Расчеты, произведенные биофизическим методом по данным за 65 лет, показали, что оптимальное водопотребление клевера в контрастные по погодным условиям годы может изменяться на Северо-Западе в пределах 250—450 мм (период май—август).

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 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°.

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, пустынь и полупустынь хорошее отрастание пастбищных трав имеет место осенью 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 пустынях и полупустынях выпадает до 30 мм осадков, то отрастание трав будет слабое, при 30—40 мм — среднее и при осадках более 40 мм — хорошее. В предгорьях юго-востока Казахстана при осадках 80—100 мм (начиная с августа) условия отрастания трав будут средними и при осадках более 100 мм — хорошими.

### **§ 3. ХАРАКТЕРИСТИКА АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ТРАВАМ**

Развитие природных и сеяных трав, как и других растений, определяется метеорологическими условиями конкретного года, поэтому сроки возобновления вегетации, время прохождения фаз и урожай трав меняются по годам.

Для сравнительной агроклиматической характеристики условий роста трав по территории прежде всего необходимы сведения о средних и крайних сроках наступления фаз развития, которые рассчитываются на основе однородного по годам и количеству лет фактического материала наблюдений.

#### **Природные кормовые угодья**

Для определения времени возобновления и прекращения вегетации большинства природных травостоев можно использовать даты перехода средней суточной температуры воздуха весной (и осенью) через 4—5°. Обычно эти величины приводятся в климатических справочниках.

На ЕТС 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 — в конце мая. Прекращение вегетации трав с севера на юг также длится почти два месяца. На севере ЕТС вегетация в среднем прекращается в конце второй декады сентября, а на юге — во второй декаде ноября.

Ко времени возобновления вегетации трав на севере увлажнение метрового слоя почвы обычно избыточное, в южной части лесных, лесостепных и на севере степных районов хорошее, в южных районах ЕТС вполне удовлетворительное. На территории Казахстана к этому времени в его южных степных и полупустынных



районах весенние запасы влаги в слое 0—20 см составляют в среднем 20 мм, а в районе пустынь — менее 20 мм. В центральных и северных районах Казахстана запасы продуктивной влаги в слое 0—20 см в среднем равны 30—40 мм.

Указанные запасы влаги в почве в целом для рассмотренных районов обеспечивают очень хорошие и хорошие условия роста трав в ранние фазы их развития. Даже в полупустынных и пустынных районах Казахстана в это время идет бурное развитие эфемеров и эфемероидов. Однако весенних влагозапасов хватает травам лишь на короткое время. В условиях Северо-Запада их дальнейшее развитие определяется режимом атмосферных осадков и подпитыванием корнеобитаемого слоя от грунтовых вод (при достаточно близком залегании последних). Неравномерность выпадения осадков здесь приводит к тому, что на Северо-Западе довольно часто формируются засушливые периоды, существенно сказывающиеся на урожае трав.

В засушливых районах страны весенние влагозапасы в почве являются основным источником водоснабжения трав для всего вегетационного периода. При отсутствии орошения именно они определяют здесь урожай трав. Лучшие условия складываются в этих районах при влажности почвы с весны, 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 режима увлажнения изменяется и число укосов. В условиях влажного лета на Северо-Западе возможен второй укос в конце лета. В Средней Азии и Казахстане при применении полива 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 почвы. Если за декаду в засушливых районах Казахстана из метрового слоя почвы травостой расходует около 20 мм влаги, то отава в таких условиях растет удовлетворительно. В результате через две декады после укоса в ранние фазы (кущение — выход в трубку) урожай отавы будет не менее 2 ц/га. Урожай отавы такой величины (считающийся хозяйственно ценным) при укосе в более поздние фазы сформируется примерно через два месяца. В условиях равнинных степных, пустынных злаковых, а также полынно-эфемерных пастбищ Казахстана урожай отавы не менее 2 ц/га формируется при расходе влаги около 60 мм из метрового слоя после укоса в ранние фазы и 100 мм после укоса в поздние фазы.

Комплексным агрометеорологическим показателем выгорания эфемеров являются декадные запасы влаги в слое 0—20 см менее 10 мм, средняя декадная температура воздуха не ниже 18° и дефицит влажности воздуха  $d \geq 10$  мм. В степях и полупустынях природные злаково-разнотравные пастбища начинают выгорать при уменьшении запасов влаги в метровом слое почвы до 25 мм и менее и при средней декадной температуре воздуха  $t \geq 20^\circ$ .

В принципе выгорание трав наблюдается не только в засушливых районах страны, но даже в условиях Северо-Запада. Поскольку весенние запасы влаги на Северо-Западе велики, выгорание трав здесь в засушливые годы возможно во вторую половину лета, особенно на легких почвах.

Связь между средним расходом влаги и приростом сухой массы отавы равнинных естественных сенокосов и пастбищ Казахстана (рис. 46), установленная А. П. Федосеевым, 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, в полупустынной 1—3 года, и в пустынях 0—1 год.

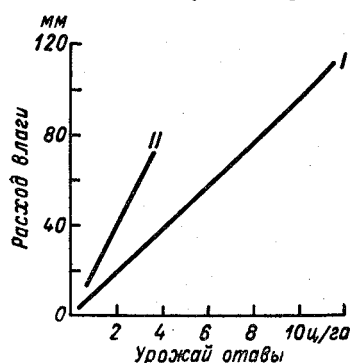


Рис. 46. Связь урожая сухой массы отавы горного сенокоса с расходом влаги из метрового слоя почвы. Ассы, 1957 г.

I — сроки среза при массовом цветении, II — сроки среза в начале плодоношения.

Агроклиматическая карта вероятности лет с благоприятными осенними условиями для отрастания пастбищных растений в Казахстане приведена на рис. 47. На этой карте видно, что повторяемость благоприятных условий для осеннего отрастания трав в Казахстане уменьшается от 5—6 (за 10 лет) в зоне лесостепи до 1—2 в зоне пустынь.

Агроклиматическое районирование территории применительно к естественным пастбищам впервые выполнено А. П. Федосеевым на примере Казахстана. Для оценки термического режима

ма периода вегетации трав автор использовал сумму активных средних суточных температур воздуха выше 5°.

Известно, однако, что в районах недостаточного увлажнения при отсутствии орошения ресурсы тепла не могут быть полностью использованы растениями, на что еще в 1936—1937 гг. указал Г. Т. Селянинов. Так, расчеты показывают, что в степях растения не используют около 40% общей суммы тепла, а в пустынях — даже 70%. Поэтому для более детальной и точной характеристики ресурсов тепла Федосеев провел районирование территории по суммам температур за период активного роста растений, т. е. от начала вегетации до декады максимального урожая травостоев сухих и влажных местообитаний. В качестве третьей характеристики термического режима он предложил сумму температур за влажный период осеннего отрастания трав.

На рис. 48 представлена карта агроклиматического районирования ресурсов тепла для естественной пастбищной растительности Казахстана. Для выделения агроклиматических зон увлажнения

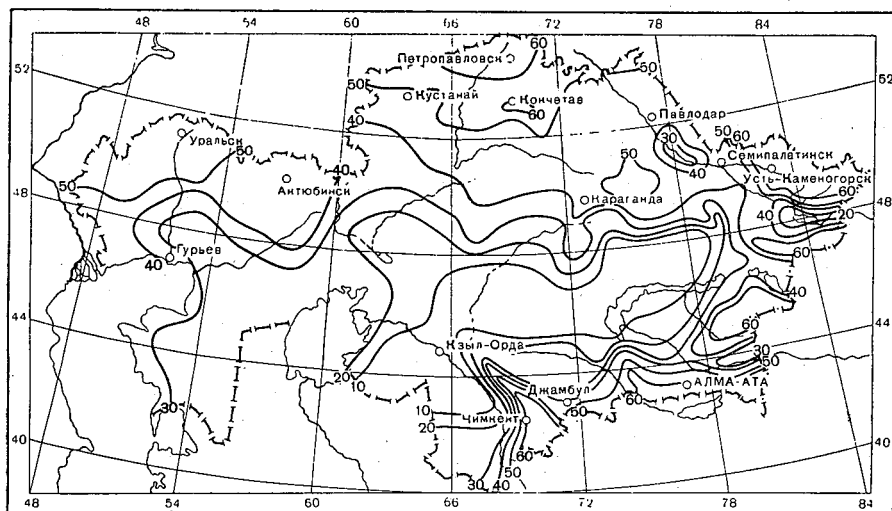


Рис. 47. Вероятность лет (%) с благоприятными погодными условиями осенью для отрастания пастбищных растений.

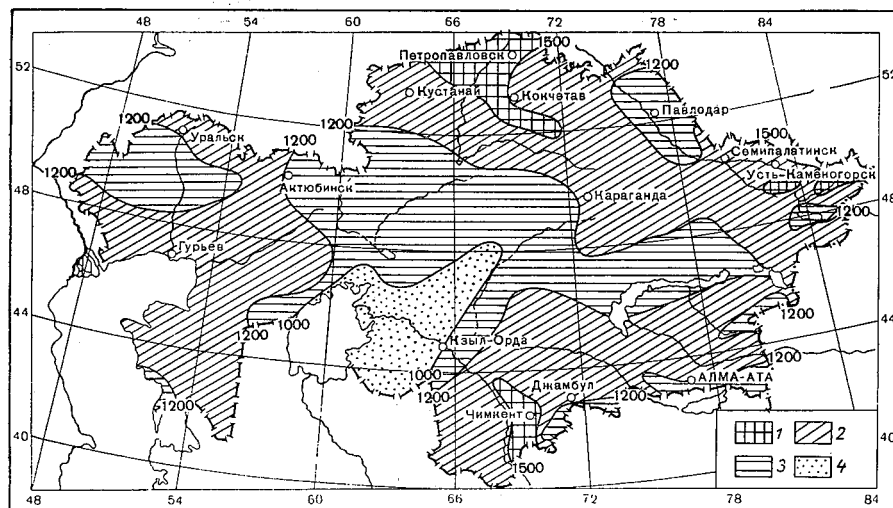


Рис. 48. Суммы температур с начала возобновления вегетации до максимального урожая пастбищных травостоев.

1 — 1500—1700°, 2 — 1200—1500°, 3 — 1000—1200°, 4 — 800—1000°.

Федосеев использовал показатель увлажнения  $M$ , который был рассчитан по формуле

$$M = \frac{B_v + Oc}{\sum d},$$

где  $B_v$  — весенние запасы доступной влаги в метровом слое почвы (мм),  $Oc$  — количество осадков с весны до времени максимального урожая травостоев (мм),  $\sum d$  — сумма средних суточных дефицитов влажности воздуха за тот же период (мм).

На рис. 49 приведена карта агроклиматических зон увлажнения Казахстана. На равнинной части выделено четыре зоны. Крайние значения показателя увлажнения от зоны I к зоне IV резко изме-

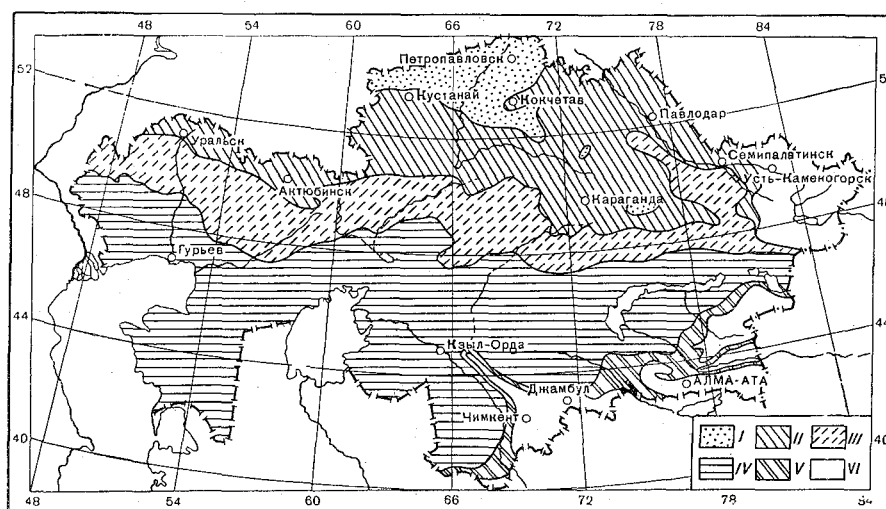


Рис. 49. Агроклиматические зоны увлажненности Казахской ССР.

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).

няются 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.

Агроклиматическое районирование территории Казахстана проведено по величине показателя увлажнения  $M$ . Условно принимая показатель  $M$  за 100 баллов для умеренно влажной лесостепной зоны, А. П. Федосеев дал сравнительную оценку климата по зонам (табл. 33). Здесь же он привел и средний урожай травостоя лесостепной зоны (11,1 ц/га), который условно принял за 100 баллов.

Таблица 33

## Сравнительная оценка климатических и почвенно-климатических условий

Агроклиматическая зона	Соответствующая природная зона	Средний показатель увлажнения <i>M</i>	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

Из таблицы следует, 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 при контрастных условиях погоды.

## Сеяные травы

Данный вопрос рассмотрим применительно к наиболее распространенным сеяным травам — клеверу и люцерне, а также к комплексу сеяных трав в виде культурных пастбищ.

**Клевер.** По морфологическим и биологическим признакам выделяют два типа клевера — одноукосный (позднеспелый) и двухукосный (раннеспелый). Ареалы их произрастания различны. Двукосный клевер сеют преимущественно в южных, юго-западных и западных районах ЕТС, граница его посевов проходит примерно по линии Могилев—Воронеж. Севернее этой границы на территории до линии Ленинград—Пенза распространены посевы клевера обоих указанных типов. В восточных и северных районах ЕТС (к северу от линии Ленинград—Пенза) культивируют одноукосный клевер.

В первый год жизни клевер развивается очень медленно, поэтому его используют как подсевающую культуру под покровом

озимых и яровых, 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 условиями перезимовки. Холодостойкость раннеспелого клевера составляет  $-10$ ,  $-15^{\circ}$ , а позднеспелого  $-15$ ,  $-20^{\circ}$ . На ЕТС 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 не менее 50—60 см. А. Т. Никифорова определила, что северная граница возделывания двуукосного клевера совпадает с изолинией среднего из абсолютных минимумов температуры воздуха  $-30^{\circ}$ . К югу от этой линии в большинстве лет условия для перезимовки двуукосных клеверов благоприятные.

Неблагоприятные условия для перезимовки клевера наблюдаются на территории, ограниченной изолинией  $-12^{\circ}$  среднего из абсолютных минимумов температуры почвы на глубине узла кущения озимых.

Урожай клевера (сена) зависит как от суммы температур выше  $5^{\circ}$  за два первых вегетационных месяца, так и от суммы осадков до вегетационного периода и двух последующих вегетационных месяцев.

Агроклиматическая оценка территории СССР для культуры клевера приведена на рис. 50. На ЕТС граница возможного возделывания клевера на семена совпадает с изолинией суммы активных температур  $1400^{\circ}$  (более  $10^{\circ}$ ), в Западной Сибири —  $1700^{\circ}$ . Южная граница целесообразного выращивания клевера проходит по изолинии годовой суммы осадков 450 мм.

Рассматриваемая карта дает также представление о средних урожаях зеленой массы клевера. На ЕТС в условиях естественного увлажнения выделяется несколько районов с довольно высокой урожайностью (250—300 ц/га и более) — западная часть Украины, северо-западная часть Белоруссии и Прибалтийские республики, Вологодская, Калининская и часть Смоленской и Ярославской областей. Такие же урожаи характерны для Северного Кавказа. Низкие урожаи — 100 ц/га и менее — получают в районах, расположенных к югу и юго-востоку от линии Одесса—Воронеж—Пенза—Казань—Уфа—Челябинск—Свердловск. Однако указанные урожаи клевера в условиях Северо-Запада ЕТС являются далеко не предельными.

Урожай клевера (как и других трав) и в этой зоне часто ограничивается недостатком влаги в почве, вызванным неравномерным выпадением осадков. В особо сухие годы (недостаток влаги за период возобновления вегетации — первый укос составляет 100—120 мм) урожай сена клевера по сравнению с оптимумом может понижаться здесь в 2—3 раза.

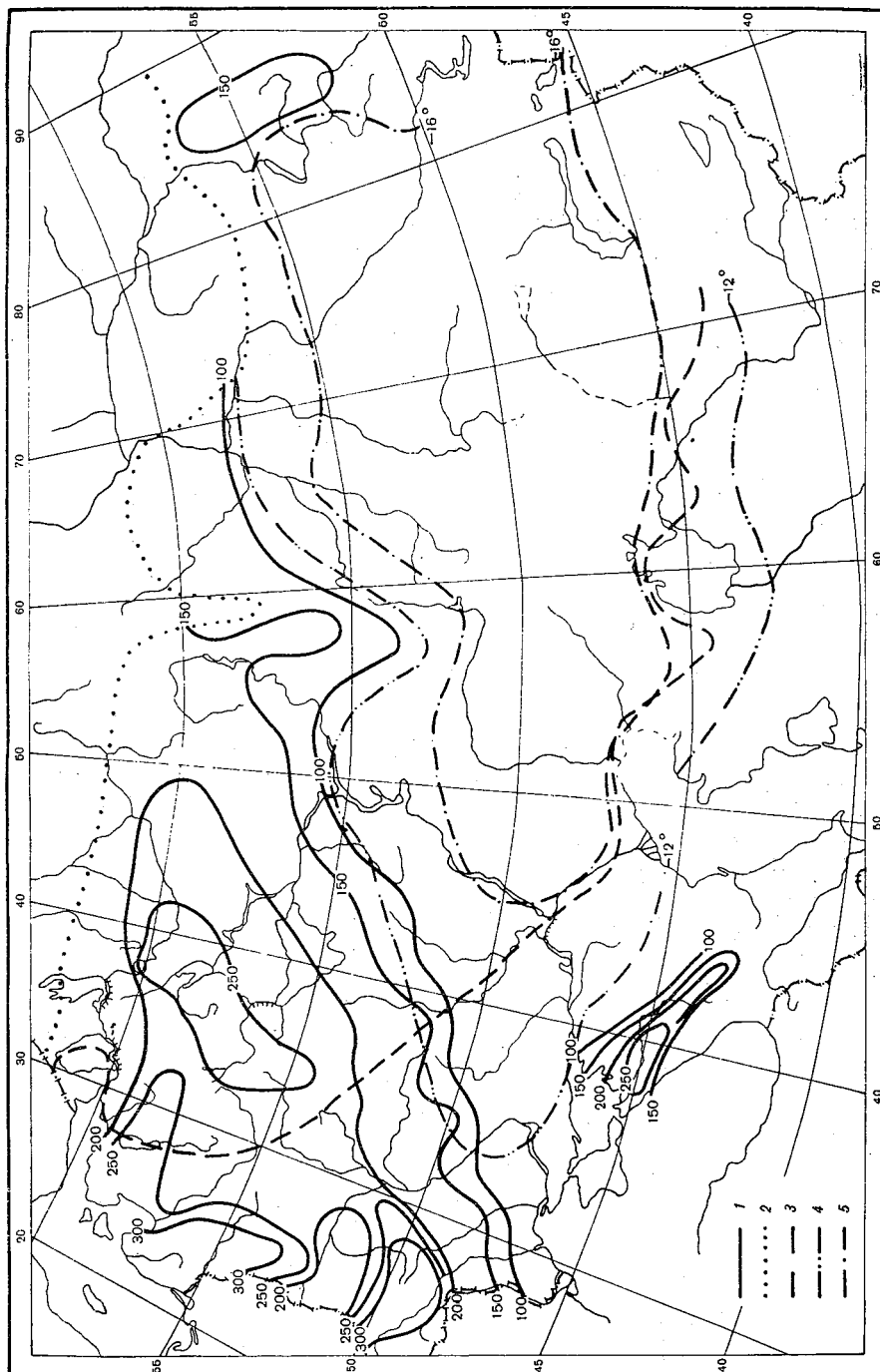


Рис. 50. Агроклиматические условия произрастания красного клевера в СССР.  
 1) урожай зеленой массы клевера (ц/га), 2) северная граница возделывания клевера на сено и семена, 3) граница возделывания южных скороспелых клеверов. Средний из абсолютных годовых минимумов температуры почвы на глубине узла кущения озимых: 4)  $-12^{\circ}$ , 5)  $-16^{\circ}$ .

Чтобы иметь более полное представление о сложности формирования водного режима трав в различные периоды вегетации, приводим табл. 34, в которой повторяемость различных градаций избытка и недостатка влаги рассчитана для каждого месяца вегетации за 65 лет.

Таблица 34

Повторяемость различных градаций избытка и недостатка влаги для клевера красного одноукосного (станция Николаевская, Ленинградская область)

Месяц	Повторяемость	Оптимум увлажнения	Избыток влаги (мм)			Недостаток влаги (мм)			Общая сумма
			20—75	>75	Σ	20—75	>75	Σ	
Май	Число случаев	33	11	2	13	19	—	19	65
	Проценты	51	17	3	20	29	—	29	100
Июнь	Число случаев	12	8	1	9	26	18	44	65
	Проценты	18	13	2	15	40	27	67	100
Июль	Число случаев	15	10	2	12	20	8	28	65
	Проценты	38	15	4	19	31	12	43	100
Август	Число случаев	22	18	9	27	12	4	16	65
	Проценты	34	28	14	42	18	6	24	100

Произведенный на примере клевера расчет позволяет выявить общие закономерности режима увлажнения трав в условиях Северо-Запада ЕТС. Из таблицы следует, что вероятность формирования засушливых периодов на Северо-Западе велика: в июне и июле каждый второй год бывает в той или иной мере засушливым, а в мае и августе — каждый третий или четвертый год. Наиболее засушливым является июнь (вероятность недостатка влаги в это время составляет 67% лет). Данное обстоятельство особенно знаменательно, если учесть, что этот месяц на Северо-Западе является основным периодом формирования урожая одноукосных трав.

Недостаток влаги для трав в условиях Северо-Запада подтверждается многими исследователями. К. Куркин, например, анализируя советский и зарубежный опыт, пришел к выводу, что на высокоом агрофоне даже такие мезофиты, как овсяница луговая и клевер красный, дают максимальный урожай при влажности почвы, равной 90% полной влагоемкости. Следовательно, подчеркивает Куркин, осадков, которые выпадают в лесной зоне, явно недостаточно для получения здесь максимально высоких урожаев трав.

Данное обстоятельство, естественно, не исключает условий формирования на Северо-Западе лет или отдельных периодов с избыточным увлажнением. Однако, как показано в табл. 34, вероят-



ность таких случаев незначительна, и, что более важно, даже существенный избыток влаги за длительный период вегетации не вызывает резкого снижения урожаев большинства трав. Физиологически это объясняется тем, что луговые травы более влаголюбивы и менее требовательны к аэрации почвы, чем другие культуры. Красный клевер, например, вполне удовлетворительно переносит затопление водами до 12—14 дней. Вместе с тем недостаток влаги в почве как в первый год жизни (под покровным растением), так и в последующие вызывает значительное изреживание травостоя, вплоть до полной его гибели.

**Люцерна.** Из большого числа видов многолетней люцерны в нашей стране наибольшее производственное значение имеют два: люцерна посевная, которую часто не совсем правильно называют синей, и люцерна желтая.

В хозяйствах люцерну высевают либо под покров (озимых или яровых), либо без покрова. Косят ее в период бутонизации (в северных районах ареала) и цветения (в южных). Используют люцерну в течение 2—5 лет. На рис. 51 показана связь урожая люцерны с увлажнением при разных суммах температур. 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 через  $10^\circ$ ). Из рисунка следует, что при достаточном увлажнении по мере возрастания температуры урожай сена люцерны увеличивается.

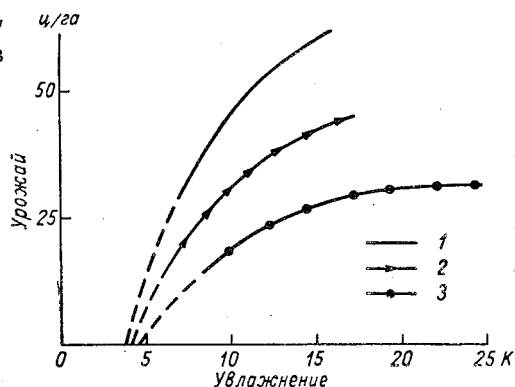


Рис. 51. Связь урожая сена люцерны с увлажнением при различной сумме температур.

1 — сумма температур  $3250^\circ$ , 2 —  $2750^\circ$ , 3 —  $1750^\circ$ .

Северная граница возможного возделывания люцерны на сено (рис. 52) совпадает с северной границей возделывания клевера на семена.

По территории страны величина урожая люцерны изменяется значительно. Районами наибольшего урожая (200 ц/га и более) в естественных условиях увлажнения являются Северный Кавказ, северная и западная части Украины, причем урожаи 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.

Урожай люцерны в засушливых районах страны резко возрастает при орошении. Так, на территории среднеазиатских республик при поливе и 5—6 укосах он может достигать 400—500 ц/га

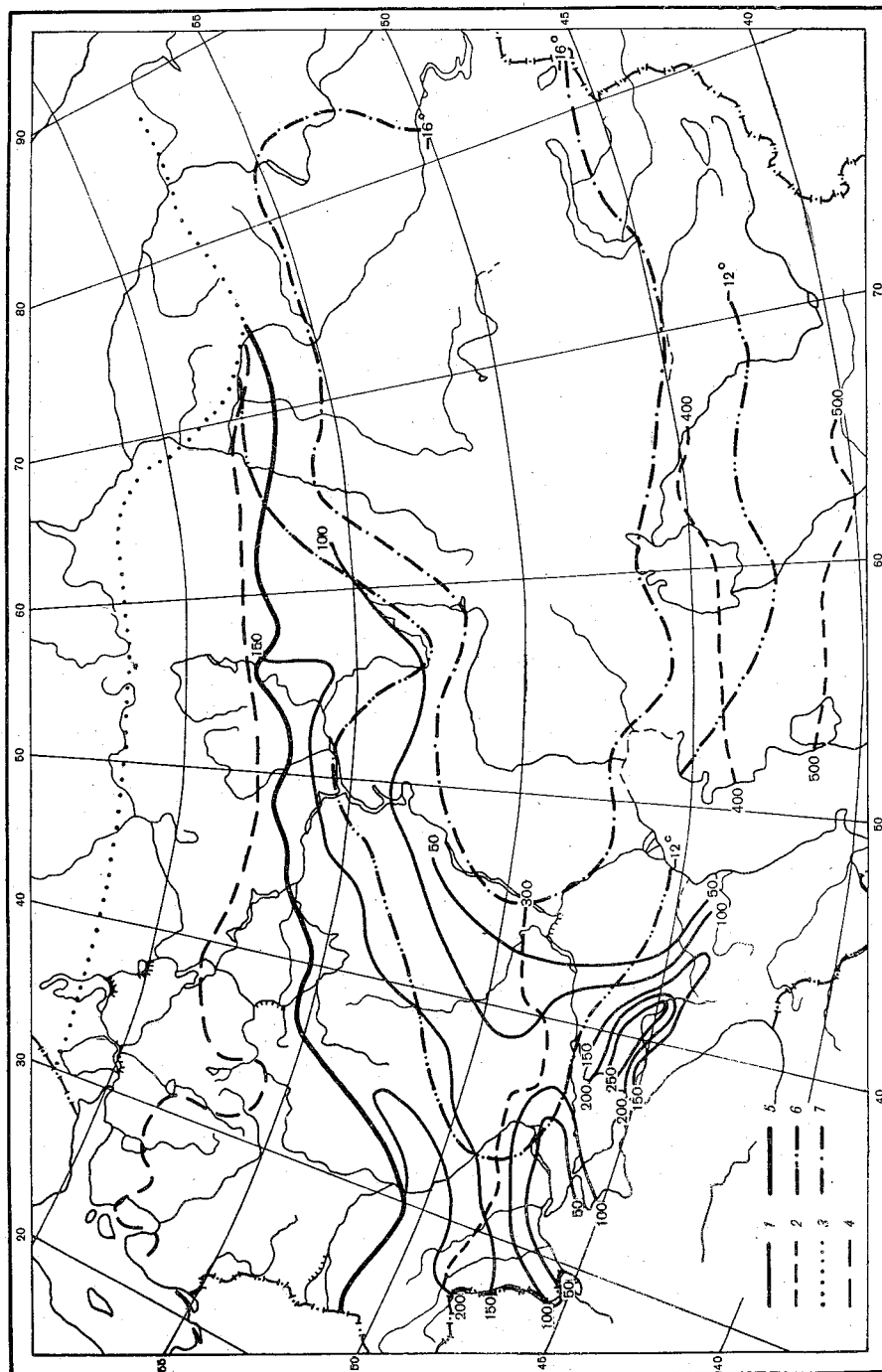


Рис. 52. Агроклиматические условия произрастания люцерны в СССР.

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 узла кущения озимых: 6)  $-12^{\circ}$ , 7)  $-16^{\circ}$ .

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 говорят о том, что с каждого гектара сеяных пастбищ можно получить 4—8 тысяч кормовых единиц при себестоимости одной кормовой единицы 1,5—3,0 коп. Однако гарантированно получать такой полноценный и очень 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 удобрений, орошение, загонную пастбу и некоторые другие меры.

Особое значение имеет орошение пастбищ. Весной недостаток почвенной влаги на пастбище 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.

При избыточном (за год) и недостаточном (за вегетацию) режиме увлажнения создание культурных пастбищ на Северо-За-

паде зачастую упирается в создание систем двойного регулирования водного режима почвы. Например, в Латвии в районах заболоченных земель в этой пятилетке (1971—1975 гг.) предстоит построить такие системы на площади 13 000 га. При избытке влаги (обычно весной) будет работать осушительная часть мелиоративной системы культурного пастбища, при нехватке влаги (летом) — оросительные устройства. В районах Северо-Запада с глубоким стоянием грунтовых вод и хорошо дренированными равнинными землями для получения высоких урожаев культурных пастбищных травостоев необходимо лишь орошение (при обязательном выполнении прочих условий: оптимальные дозы минерального питания, сохранение правил агротехники и пр.).

Необходимость орошения пастбищ и сенокосов в условиях Северо-Запада ЕТС подтверждается многими исследователями. По расчетам П. Аксмайтиса, культурные пастбища Латвии в зависимости от климатического режима осадков требуют орошения общей нормой от 90 до 210 мм.

Аналогичные результаты получены во многих зарубежных странах, имеющих сходный с Северо-Западом ЕТС климат. Так, если в Англии до 1945 г. орошение трав почти не применялось, то уже в 1963 г. орошаемая площадь пастбищ и сенокосов в этой стране достигла 42 000 га. Дж. Норт показал, что в условиях Англии потребление травами воды колеблется в пределах 450—500 мм, в то время как среднее количество осадков за это же время (вегетацию) составляет 230—370 мм. Следовательно, по Норту, расчетный недостаток влаги в климатических условиях Англии составляет для трав в среднем за вегетацию примерно 200 мм.

В странах Скандинавии полив пастбищ и сенокосов в настоящее время производится главным образом на крупных сельскохозяйственных фермах. Дальнейшее повышение продуктивности сеяных трав здесь также связывают с возможностями расширения орошения.

В целом для территории Советского Союза оросительная норма для сеяных пастбищ увеличивается с уменьшением широты. Так, в Казахстане оросительная норма достигает 340—350 мм за вегетацию (при средних климатических условиях). В последнее время показана эффективность устройства сеяных долголетних орошаемых пастбищ и в условиях Средней Азии. Таким образом, орошаемые культурные пастбища становятся одним из основных источников полноценного и дешевого корма для скота в летнее время практически во всех основных животноводческих зонах нашей страны (за исключением районов оленеводства).

#### **§ 4. АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИТОРИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЖИВОТНОВОДСТВУ**

Проведение различных мероприятий в животноводстве (начало выпаса, перегон, стойловое содержание, стрижка и др.) может быть успешно осуществлено при правильном учете агроклимати-

ческих и агрометеорологических данных. К таким данным прежде всего следует отнести сведения о сроках (средних и крайних) начала и окончания выпаса скота.

Весенний выпас на ЕТС начинают при высоте пастбищных трав 5—10 см, а в Казахстане при высоте 3—5 см. Эта высота трав обычно достигается после накопления суммы положительных средних суточных температур воздуха (после устойчивого перехода ее через 0°) для злаковых трав 75—115°, для полыни 125°. За время окончания выпаса принимают переход средней суточной температуры осенью через 5°.

Сведения о сроках начала и окончания выпаса используют для определения средней и крайней длительности стойлового содержания животных. Эти данные необходимы в животноводстве для расчета кормов на зимний период.

На Европейской территории Советского Союза и в Сибири длительность пастбищного периода и стойлового содержания животных резко изменяется (исключая районы оленеводства). Так, в северных районах ЕТС пастбищный период длится 130—160 дней, в центральных — 160—190, а в южных — 200—230 дней. Длительность стойлового содержания в этих районах соответственно составляет 235—205, 205—175 и 165—135 дней.

В неблагоприятные для выпаса годы пастбищное содержание может по времени несколько сокращаться, а в благоприятные увеличиваться.

В степных районах ЕТС в связи с плохой обеспеченностью естественными выпасами крупный рогатый скот переведен на стойлово-лагерное содержание с применением зеленого конвейера, для которого часто весной используют озимую рожь и пшеницу, летом и осенью — кукурузу, многолетние травы, суданку, различные корнеплоды и бахчевые культуры.

В районах отгонного животноводства, где животные круглый год находятся на пастбищах (с непродолжительным периодом подкормки), от агроклиматологов требуются более подробные и разнообразные сведения о климатических и погодных условиях.

Животноводство отгонного типа развито главным образом в Казахстане, Среднеазиатских республиках и в Закавказье. Дважды в год животные перегоняются с одних пастбищ на другие: осенью с летних высокогорных на осенне-зимние пустынные (Казахстан и Средняя Азия), а весной — обратно. Время перегонов и дальнейшие хозяйственные работы должны быть определены с учетом погоды и климата.

Погодные условия в значительной степени определяют состояние овец и их поведение. Жаркая погода угнетающе действует на животных. На рис. 53 приводятся графики для оценки неблагоприятных метеорологических условий для овец. На основании этих графиков можно оценить степень благоприятствования каждого дня для пастбы, состояние овец и влияние погоды на нагул. Эти графики позволяют рассчитать период (в днях) с устойчивой жаркой погодой в районах отгонного животноводства. За начало такого

периода считается день, после которого в декаду отмечается шесть и более жарких дней, а за конец — день, после которого в декаду таких дней бывает менее шести. Если в теплую часть года число

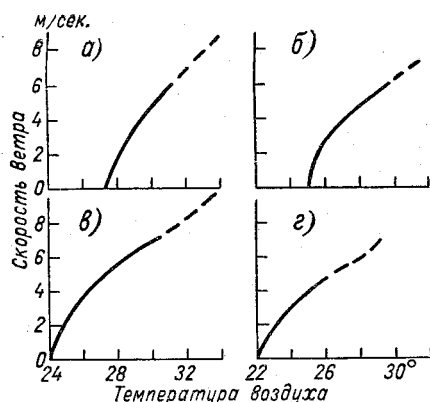


Рис. 53. Графики для оценки неблагоприятных метеорологических условий для овец.

Сочетания температуры воздуха и скорости ветра, неблагоприятные для овец в период летнего выпаса (поле справа от кривых): а — каракульские овцы (пустынная зона), б — грубошерстные и полугрубошерстные овцы (пустынно-степная зона), г — тонкорунные и полутонкорунные овцы (пустынно-степная зона), з — тонкорунные овцы (лесостепная зона).

жарких дней менее 30, то считают, что в данном районе отсутствует период с устойчивой жаркой погодой.

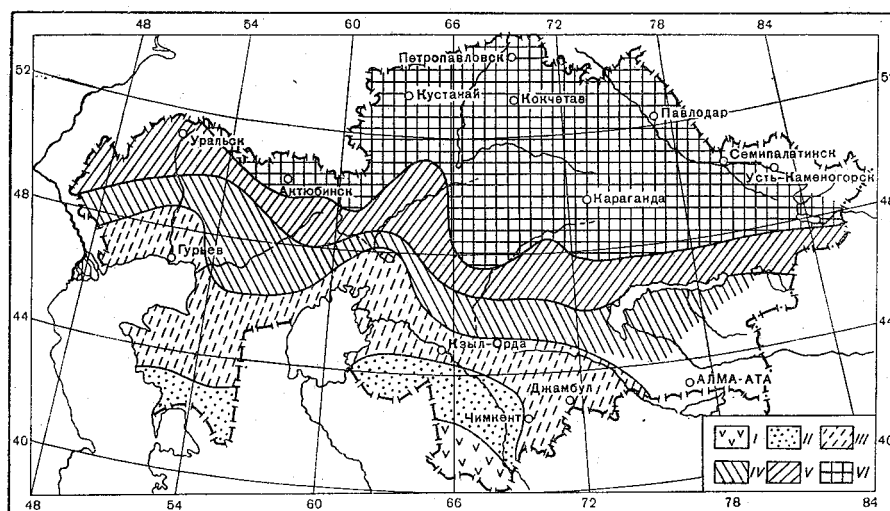


Рис. 54. Зоны различных климатических условий применительно к летнему выпасу овец.

I — неблагоприятные условия более 120 дней, II — около 120 дней, III — около 90 дней, IV — около 70 дней, V — около 60 дней; VI — наиболее благоприятная зона.

На основании указанных сведений дана агроклиматическая оценка территории Казахстана с выделением шести зон, различных по режиму неблагоприятных погодных условий в период летнего выпаса овец (рис. 54).

На территории зон I—III (рис. 54) ежегодно устанавливается длительный период (3—4 месяца) с жаркой погодой, поэтому для этих зон следует рекомендовать принятие мер для защиты животных от жары. В остальных зонах Казахстана, и особенно в зоне VI, условия для выпаса скота более благоприятные.

Для характеристики числа невыпасных (для овец) дней на зимних пастбищах и отсюда для определения запасов страховых

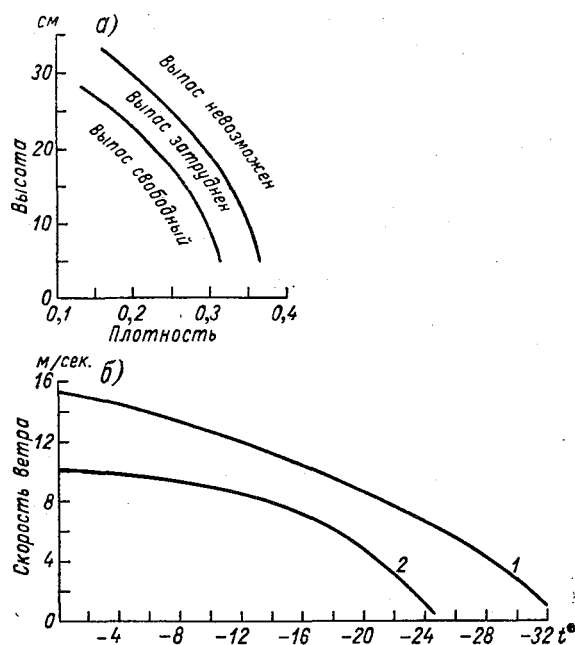


Рис. 55. Критерии, характеризующие выпас на пастбищах Казахстана в зависимости от высоты снега и его плотности (а), средней суточной температуры воздуха и скорости ветра (б).

1 — северные районы Казахстана, 2 — южные.

кормов можно использовать метод А. П. Федосеева. По его данным к невыпасным дням следует относить:

1) дни с мощным и плотным снежным покровом на пастбищах. Для определения степени неблагоприятности таких дней для выпаса овец можно использовать рис. 55 а;

2) дни с наличием ледяной корки толщиной от 1 см и более (при снежном покрове высотой до 10 см) и толщиной от 0,5 см и более (при высоте снежного покрова более 10 см);

3) дни с температурой воздуха и скоростью ветра выше пределов, указанных на рис. 55 б;

4) дни с метелями, сильными снегопадами, сильными туманами в светлое время суток продолжительностью не менее 2 часов;

5) дни с гололедом в любую часть суток.

Обработка таких материалов за длительный период (10 лет и более) позволяет составить агроклиматическую характеристику условий выпаса скота на зимних пастбищах. Применительно к условиям зимних пастбищ эти данные можно использовать для определения периода подкормки, а следовательно, и количества необходимых кормов.

В период перегона отар необходимо знать климатические условия на пути перегона, вероятность неблагоприятной погоды в пути, возможность и вероятность образования гололеда, сильных ветров, значительных осадков, высоких температур и т. д. Для этого проводят климатическое изучение трассы перегона в осенний и весенний периоды.

Погодные условия влияют также на сроки проведения стрижки овец. Исследования показали, что устойчивый переход средней суточной температуры воздуха осенью через  $5^{\circ}$  хорошо совпадает с устойчивым переходом к неблагоприятной холодной погоде. Поэтому стрижку овец нужно начинать на 30—35 дней ранее этого срока. Таким образом, дата перехода температуры воздуха через  $5^{\circ}$  осенью может быть использована для расчетов времени перегона, стрижки и других профилактических работ в овцеводстве.

В заключение отметим исследования В. А. Ярошевского в области зоометеорологии. В его монографии «Погода и тонкорунное овцеводство» (1968 г.) значительное внимание уделено влиянию неблагоприятных факторов погоды и климата на организм и продуктивность сельскохозяйственных животных (главным образом тонкорунных овец). Изучая эту проблему, Ярошевский подверг тщательному анализу связи основных физиологических показателей организма овец с окружающими метеорологическими условиями. Выявленные зависимости позволили ему перейти от качественного анализа зоометеорологических явлений к количественным расчетам, на основе которых можно значительно расширить зоометеорологическое и зооклиматическое обслуживание тонкорунного овцеводства.

Так, Ярошевский установил наличие тесной корреляции между частотой дыхания овец и средним градиентом температуры в их шерстном покрове, а также между объемом одного выдоха овцы и частотой ее дыхания. Полученные на этой основе уравнения регрессии дают возможность рассчитывать объем легочной вентиляции и частоту дыхания овец при разных градиентах температуры в шерстном покрове.

Измерения влажности воздуха, содержащегося в шерстном покрове овец, показали, что в этой среде создаются большие градиенты характеристик влажности, с помощью которых можно рассчитывать скорость испарения влаги с кожи овец. Выявленная Ярошевским тесная связь испарения с поверхности кожи с дефицитом влажности окружающего воздуха и скоростью ветра позволяет рассчитывать скорость и величину испарения с поверхности кожи овец по указанным метеорологическим элементам.



Экспериментальными и теоретическими расчетами показано, что с увеличением радиационного баланса и температуры воздуха в организме овец происходит существенная перестройка их теплового обмена с окружающей средой. При образовании значительной внешней тепловой нагрузки испарение с поверхности кожи овец становится главным фактором их теплоотдачи.

Используя связь температуры тела овец с градиентом температуры воздуха в шерстном покрове, Ярошевский значительно расширил сферу применения последнего показателя. В частности, моделируя тепловое состояние организма овец, он один из первых выделил различные зоны терморегуляции у них.

В итоге на основе проведенных исследований Ярошевский предложил ряд ценных практических мер по улучшению оперативного обслуживания овец (особенности в распорядке дня на овцефермах с учетом погодных и климатических условий, детализация сроков стрижки, применение дополнительных сроков водопоя в климатических районах, где возможен тепловой перегрев организма овец и т. д.).

## Глава VI

### МЕТОДЫ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ НАБЛЮДЕНИЙ

---

Сравнительная агроклиматическая характеристика условий произрастания сельскохозяйственных культур в различных районах страны, агрометеорологическое обслуживание отдельных отраслей сельского хозяйства и решение ряда других вопросов невозможны без надежного и выраженного в доступной для использования форме агроклиматического материала. В связи с этим материал агрометеорологических наблюдений подвергается агроклиматической обработке. Основной целью такой обработки является получение различных числовых характеристик климата, которые затем могут быть использованы для решения задач сельского хозяйства. 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, карт, графиков и других пособий.

В агроклиматологии используются почти все материалы метеорологических наблюдений, прошедшие климатологическую обработку. Теория климатологической обработки метеорологических наблюдений разработана в нашей стране известными учеными — А. А. Каминским, Е. С. Рубинштейн, О. А. Дроздовым, Е. С. Кузнецовым и другими. Она же является основой агроклиматической обработки многих материалов общих метеорологических наблюдений. Агроклиматические методы обработки детально изложены в работах Г. Т. Селянинова, Ф. Ф. Давитая, С. А. Сапожниковой, И. А. Гольцберг, А. А. Измайловской, Л. А. Разумовой, С. А. Вериги, О. Д. Сиротенко и ряда других ученых.

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

Впервые математические и, в частности, статистические методы исследований в агрометеорологии в большом объеме были применены В. М. Обуховым в 1949 г. В последнее время математические методы исследований и обработки широко используются О. Д. Сиротенко. Для решения ряда агрометеорологических и агроклиматических задач им разработаны методы, основанные на учете многих (иногда нескольких десятков) переменных величин. Решение этих задач предусматривает использование ЭВМ.

Отметим, кстати, что первым в нашей стране применил вычислительную технику (счетно-аналитические машины) для агроклиматических расчетов П. К. Евсеев в 1954 г. В последующем программы решения ряда типичных агроклиматических и агрометеорологических задач (с использованием их на ЭВМ) были составлены А. Г. Новиковым.

В целом следует отметить, что решение многих вопросов климатической обработки материалов агрометеорологических наблюдений (контроль наблюдений, вычисление средних, устранение неоднородности в рядах наблюдений, приведение к многолетнему периоду и пр.) осуществляется на основе принятой методики обработки общих метеорологических наблюдений. Эти вопросы достаточно подробно рассматриваются в курсе общей климатологии.

Применение математических методов и ЭВМ для нужд агрометеорологии должно быть предметом специального курса, поскольку эта обширная область знаний требует специальной подготовки. Учитывая вышесказанное, авторы данного учебного пособия сочли возможным ограничить содержание этой главы сравнительно небольшим кругом вопросов: расчетом вероятностей явлений, обработкой фенологических наблюдений, обработкой наблюдений за влажностью почвы и картированием агроклиматических показателей. Поскольку последний вопрос, имеющий большую практическую значимость, в учебной литературе почти не освещен, в данном учебном пособии он изложен более подробно.

#### **§ 1. РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ЯВЛЕНИЯ ПО ЕГО СРЕДНИМ ЗНАЧЕНИЯМ**

Впервые в СССР метод кривых вероятностей был использован П. А. Барановым в 1923 г. для изучения вероятности наступления низких температур в Крыму. Впоследствии этот метод был детально разработан применительно к агроклиматическим показателям. В настоящее время он широко вошел в практику климатических и агроклиматических расчетов в виде номограмм и таблиц вероятностей явлений для ряда элементов, помещенных в справочниках по климату СССР и в областных агроклиматических справочниках.

Впервые номограммы для осадков построил в 40-х годах Н. Н. Иванов. В дальнейшем А. Н. Лебедев детально исследовал

способы построения кривых обеспеченности различных климатических элементов и разработал методику построения номограмм обеспеченности.

Вероятность любой климатической или агроклиматической характеристики рассчитывают по длинному ряду наблюдений (не менее 20—25 лет). Большая устойчивость типов кривых в пространстве позволяет использовать их для значительной по площади территории и для тех станций, у которых нет достаточного многолетнего материала, но они находятся в одном климатическом районе со станциями, имеющими длинный ряд наблюдений.

Расчет кривых вероятностей можно проводить несколькими способами в зависимости от характера изменчивости элемента, который определяет форму кривой вероятности.

Для симметричных кривых (к которым относятся кривые дат перехода температуры воздуха через определенные уровни, дат заморозков, сумм температур, продолжительности периодов с тем-

Таблица 35

Дата наступления безморозного периода (последнего заморозка)  
и отклонения ее от средней величины (станция Василевичи)

Год	Дата послед-ного мороза	Отклонение от средней		Год	Дата послед-ного мороза	Отклонение от средней	
		$d$	$d^2$			$d$	$d^2$
1891	26 IV	—5	25	1923	14 IV	—17	289
1892	14 V	13	169	1924	28 IV	—3	9
1893	4 V	3	9	1925	19 V	18	324
1894	25 IV	—6	36	1926	12 IV	—19	361
1895	19 IV	—12	144	1927	13 IV	—18	324
1896	14 V	13	169	1928	4 V	3	9
1897	5 IV	—26	676	1929	28 IV	—3	9
1898	26 IV	—5	25	1930	4 VI	34	1156
1899	24 V	23	529	1936	11 IV	—20	400
1900	13 V	12	144	1938	12 IV	—19	361
1901	6 V	5	25	1939	10 V	9	81
1902	30 IV	—1	1	1940	1 V	0	0
1903	21 IV	—10	100	1945	20 IV	—11	121
1904	27 V	26	676	1946	17 IV	—14	196
1905	14 IV	—17	289	1947	4 V	3	9
1906	9 IV	—22	484	1948	27 IV	—4	16
1907	31 V	30	900	1949	17 IV	—14	196
1908	6 V	5	25	1950	11 V	10	100
1909	25 IV	—6	36	1951	22 IV	—9	81
1910	22 V	21	441	1952	19 V	18	324
1911	18 IV	—18	169	1953	9 V	8	64
1912	10 V	9	81	1954	29 IV	—2	4
1913	13 IV	—18	324	1955	27 IV	—4	16
1914	19 IV	—12	144				
1915	6 V	5	25				
1916	30 V	29	841	Сумма	1558	—	11 378
1917	22 V	21	441	Число лет	50	—	50
				Среднее	I V	—	—
				$\sigma$		—	15,1

пературой разного уровня и т. д.) можно использовать формулу квадратического отклонения:

$$\sigma = \sqrt{\sum d^2/n},$$

где  $\Sigma d^2$  — сумма квадратов отклонений от средней величины,  $n$  — число лет наблюдений.

Для асимметричных кривых (кривые количества осадков, ГТК или число дней с определенными явлениями) можно использовать формулу Г. А. Алексеева:

$$P = \frac{m - 0,25}{n + 0,50},$$

где  $m$  — порядковый номер члена ряда,  $n$  — число лет или число наблюдений в ряду,  $P$  — суммарная вероятность. Этой более общей формулой можно пользоваться и для симметричных кривых.

В качестве примера рассмотрим расчет кривой вероятности по величине  $\sigma$  для даты последнего заморозка (станция Василевичи, табл. 35).

Суммарная вероятность наступления безморозного периода, подсчитанная по величине  $\sigma$ , приведена в табл. 36, по данным которой вычерчена кривая вероятности на рис. 56.

Для расчета кривой вероятности использован коэффициент к среднему значению  $\sigma$  (первая строка табл. 36) и средняя дата наступления безморозного периода, вероятностью которой в случае симметричной кривой равна 50% (табл. 36). Умножая  $\sigma$  на коэффициент, соответствующий, например, вероятности 30% ( $0,52 \times 15,1 = 8$  дням) и алгебраически суммируя полученную величину со средней датой, получим 23 апреля, или 9 мая.

Большим преимуществом определения кривой вероятности по  $\sigma$  является возможность картирования величины  $\sigma$ , сравнения отдельных кривых между собой, осреднения величин для ряда станций при небольших колебаниях ее значений в пределах 1—2 единиц (в приведенном примере — дней).

По осредненному для ряда станций значению  $\sigma$  строят ряд кривых обеспеченности для большого района. Их используют для построения номограммы (рис. 57) или составления таблицы вероятности метеорологического элемента в зависимости от средней. Целесообразность составления таблиц «позднее или ранее» или «более или менее» указанной величины определяется задачей составления

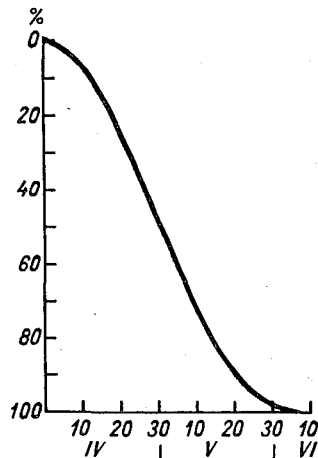


Рис. 56. Кривая вероятности наступления безморозного периода весной при  $\sigma=15,1$  (Василевичи).

Таблица 36

Вероятность наступления безморозного периода по станции Василевичи  
(подсчет вероятности по величине  $\sigma$ )

Вероятность %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Коэффициент к среднему значению $\sigma$ . . . . .	-2,25	-1,28	-0,84	-0,52	-0,25	0	0,25	0,51	0,84	1,28	2,25
Отклонение в днях ( $\sigma=5,1$ дня) . . . . .	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 37

Вероятность (%) наступления безморозного периода в отдельные годы ранее указанных дат (в зависимости от средней даты последнего заморозка весной)

Средняя дата	Вероятность (%) прекращения заморозков в указанные даты и более ранние							Самая поздняя дата
	5	10	20	50	80	90	95	
21 IV	15 III	2 IV	8 IV	21 IV	4 V	10 V	22 V	25 V
1 V	5 V	12 IV	18 IV	1 V	14 V	20 V	1 VI	4 VI

таблицы. В зависимости от названия таблицы вероятности распределяют от 100 до 0% или от 0 до 100%.

Распределение вероятностей должно строго соответствовать названию таблицы. В табл. 37 и 38 приведены значения суммарной вероятности дат наступления и окончания безморозного периода при разных средних датах.

Построение кривых вероятностей и составление таблиц длительности безморозного периода, сумм температур, дат перехода температуры воздуха через соответствующие пределы и т. д. производится по той же схеме, как показано в табл. 35—38.

В таблицах вероятности длительности безморозного периода и сумм температур за 95% вероятности следует принять наименьшее значение соответствующего параметра.

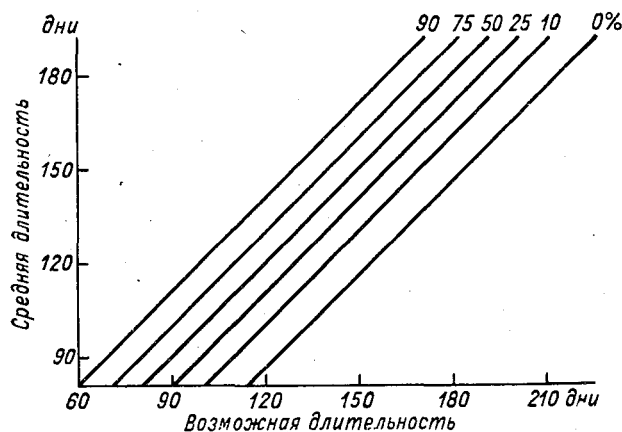


Рис. 57. Номограмма для расчета возможной длительности безморозного периода по различным средним ( $\sigma=16$ ).

Учитывая важность подобных расчетов, остановимся более подробно на смысловом значении табл. 36 и 37. При средней дате 1 мая заморозки в Василевичах не оканчиваются ранее 26 марта. Ежегодно наступление безморозного периода с 4 июня обеспечено здесь на 100%. 1 мая они заканчиваются в половине всех лет. Обычно наиболее часто сроки начала безморозного периода колеблются в пределах вероятности от 20 до 80%, т. е. для станции Василевичи между 18 апреля и 14 мая заморозки заканчиваются в 6 годах из 10.

В орошаемых оазисах и в городах за счет повышения температуры воздуха ночью величина  $\sigma$  уменьшается на один-два дня, причем кривая вероятности становится более крутой. В долинах и котловинах, т. е. в условиях горного рельефа, величина  $\sigma$  меняется в пределах  $\pm (2 \div 3)$  дня.

Рассмотрим пример расчета кривой вероятности для осадков. В табл. 39 показан расчет величин  $P$ , соответствующая кривая

вероятности представлена на рис. 58. Для составления таблицы вероятностей в зависимости от средней в этом случае предварительно строится номограмма (рис. 59), для которой необходимо иметь подсчет вероятностей для ряда станций с разным средним количеством осадков. Такой расчет проводится по осредненной для

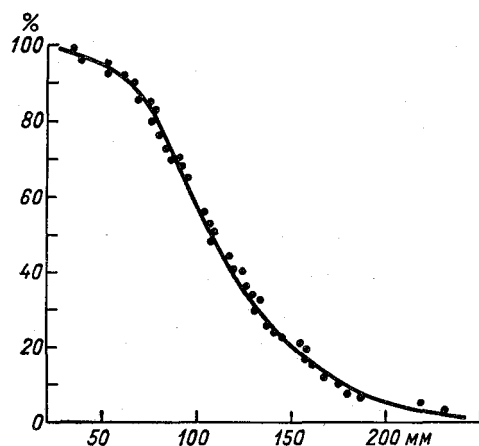


Рис. 58. Интегральная кривая распределения осадков.

данной территории кривой вероятности. Номограмма 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 кривая.

С построенной номограммы снимаются соответствующие значения обеспеченности элемента, используемые далее для составления табл. 40.

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

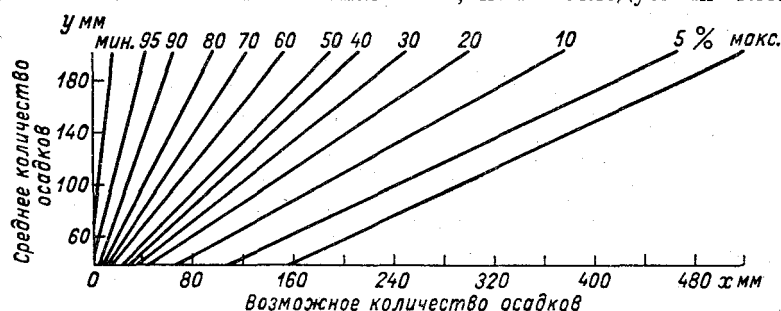


Рис. 59. Номограмма для расчета месячных сумм осадков различной обеспеченности.

изменяется по территории, а ширина в границах 5 и 95% обеспеченности указывает на изменчивость элемента во времени.

Такие номограммы, построенные для большой территории (с одинаковым генезисом климата) по небольшому числу станций, более или менее равномерно расположенных, дают возможность по средней величине судить об изменчивости данного элемента на любой станции.



Таблица 38

Вероятность (%) окончания безморозного периода в отдельные годы позже указанных дат (в зависимости от средней даты первого заморозка осенью)

Дата		Вероятность (%) последних заморозков в указанные даты и более поздние						
средняя	самая ранняя	5	10	20	50	80	90	95
1 IX	25 VII	1 VIII	10 VIII	18 VIII	1 IX	13 IX	21 IX	2 X
10 IX	4 VIII	10 VIII	20 VIII	28 VIII	10 IX	23 IX	1 X	12 X

Таблица 39

Месячное количество осадков и их обеспеченность

В хронологическом порядке		В убывающем порядке		$x_1 - x_0$	$(x_1 - x_0)^2$	$P \%$
год	осадки (мм)	год	осадки (мм)			
1902	156	1941	236	120	14 400	1,4
1906	121	1922	231	115	13 225	3,1
1907	78	1942	221	105	11 025	4,9
1908	179	1934	188	72	5 184	6,7
1909	177	1908	179	68	3 969	8,4
1910	98	1909	177	61	3 721	10,2
1911	108	1944	164	48	2 304	11,9
1912	154	1946	163	47	2 209	13,7
1913	52	1933	163	47	2 209	15,5
1914	74	1954	158	42	1 764	17,3
1915	86	1952	156	40	1 600	19,0
1916	40	1912	154	38	1 444	20,8
1917	132	1923	143	27	729	22,6
1918	110	1949	142	26	676	24,4
1919	72	1940	137	21	441	26,1
1920	110	1921	136	20	400	27,9
1921	136	1947	133	17	289	29,6
1922	231	1917	132	16	256	31,4
1923	143	1930	131	15	225	33,2
1924	99	1956	128	12	144	35,0
1925	78	1948	126	10	100	36,7
1926	96	1950	122	6	36	38,5
1927	117	1958	122	6	37	40,3
1928	70	1906	122	5	25	42,0
1929	89	1927	117	1	1	43,8
1930	106	1951	112	-4	16	45,6
1931	62	1952	111	-5	25	47,3
1932	99	1918	110	-6	36	49,1
1933	163	1920	110	-6	36	50,9
1934	188	1930	106	-10	100	52,7

В хронологическом порядке		В убывающем порядке		$x_1 - x_0$	$(x_1 - x_0)^2$	$P \%$
год	осадки (мм)	год	осадки (мм)			
1935	103	1911	103	-13	169	54,4
1936	37	1935	103	-13	169	56,2
1937	84	1960	101	-15	225	58,0
1938	53	1924	99	-17	289	59,7
1939	131	1932	99	-17	289	61,5
1940	137	1910	98	-18	324	63,3
1941	236	1926	96	-20	400	65,0
1942	221	1943	90	-26	676	66,8
1943	90	1929	89	-27	729	68,6
1944	164	1955	89	-27	729	70,4
1945	72	1915	86	-30	900	72,1
1946	163	1937	84	-32	1024	73,9
1947	133	1959	81	-35	1225	75,7
1948	126	1907	78	-38	1444	77,4
1949	142	1925	78	-38	1444	79,1
1950	122	1957	78	-38	1444	81,0
1951	112	1953	77	-39	1521	82,7
1952	111	1914	74	-42	1764	84,5
1953	77	1919	72	-44	1936	86,3
1954	158	1945	72	-44	1936	88,2
1955	89	1929	70	-46	2116	89,8
1956	128	1931	62	-54	2916	91,6
1957	78	1938	53	-63	3969	93,4
1958	122	1913	52	-64	4096	95,1
1959	81	1916	40	-76	5776	96,9
1960	101	1936	37	-79	6241	98,7
Сумма	6490		6490		110 535	
Число лет (n)	56		56		56	
		$x_0 = 116$		$\sigma = 45 \text{ мм}$		

Примечание.  $x_1$  — отклонение количества осадков данного года от среднего количества их  $x_0$ .

Таблица 40

Возможное количество осадков (мм) 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

## **§ 2. КОНТРОЛЬ И ОБРАБОТКА НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ВЛАЖНОСТЬЮ И ПРОМЕРЗАНИЕМ ПОЧВЫ**

Методы контроля и обработки наблюдений за влажностью и промерзанием почвы в основном разработаны С. А. Вериги и Л. А. Разумовой. Они достаточно детально изложены в специальных руководствах. Здесь мы рассмотрим лишь некоторые из основных положений контроля и обработки наблюдений за указанными характеристиками.

### **Технический и локальный контроль материалов наблюдений**

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 прежде всего проверяют полноту записей в полевых книжках, правильность арифметических подсчетов, качество высушивания проб (по сопоставлению первой и контрольной сушки), правильность определения влажности почвы. Особенно 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, наличия всех дополнительных отметок и записей, далее выясняют 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 в результате обнаруживаются резкие отклонения (т. е. резкое увеличение или уменьшение влаги в почве), то исследуются возможные причины такого изменения, для чего анализируется режим температуры и осадков.

Проверку визуальных наблюдений за влажностью почвы начинают с правильности вычисления средних повторностей, правильности их внесения в таблицу; далее проверяют все записи и расчеты в таблице.

Материалы по промерзанию и оттаиванию почвы начинают проверять также с правильности заполнения соответствующих книжки и таблицы. Далее определяют точность всех расчетов. По истечении холодного периода проверке подлежат даты наступления первого и устойчивого промерзания и оттаивания почвы, длительность периода с устойчивым промерзанием почвы, правильность выбора максимальной глубины промерзания почвы, абсолютного максимума промерзания за год и пр.

Обязательно проверяют правильность построения графика изоплет.

В управлениях Гидрометслужбы проводят повторный технический контроль материалов наблюдений. Обычно такой контроль осуществляется выборочно. Лишь при открытии новой станции или обнаружении существенных ошибок в УГМС проводят сплошной технический контроль.

### Критический контроль материалов наблюдений

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. 41.

Таблица 41

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—Мастинской. 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 ее из нижележащих слоев при близком стоянии грунтовых вод (увеличение может до-

стигать 50 и даже 100 мм за зиму). На юге увеличение влаги почвы 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. 60), а также графики изменения глубины оттаивания почвы.



Рис. 60. Изменение глубины (см) промерзания почвы (изолинии в поле графика) для районов с глубоким залеганием грунтовых вод.

В переходные периоды — ранней весной и поздней осенью — критический контроль материалов по влажности и промерзанию почвы должен быть особенно тщательным.

#### Обработка материалов многолетних наблюдений за влажностью и промерзанием почвы

Многолетние материалы наблюдений за влажностью и промерзанием почвы позволяют дать количественную характеристику их режима, что необходимо для решения различных практических вопросов.

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 и 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.

В качестве примера на рис. 61 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.

Восполнение данных обычно не представляет 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) 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. Первый из них заключается в восполнении данных от

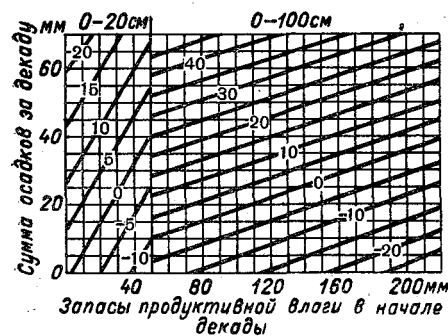


Рис. 61. Изменение запасов продуктивной влаги в зоне черноземных почв под яровой пшеницей (в миллиметрах за декаду) в период формирования всходов и листьев (до выхода в трубку) в слое 0—20 и 0—100 см.

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.

Например, на станции достаточное количество лет параллельно велись наблюдения за влажностью почвы под двумя культурами, причем под одной из них наблюдения были пропущены в течение целого года. Восстановление этих данных производят следующим образом. За каждый срок каждого года имеющих совместных наблюдений находят разность запасов влаги в почве. По этим данным рассчитывают среднюю многолетнюю разность влагозапасов для каждого срока. Затем, алгебраически складывая эту разность с запасами влаги под известной культурой для требуемого года, получают запасы под другой культурой за пропущенный год.

По данным Вериги и Разумовой, ряд наблюдений за влажностью почвы длиной 17—20 лет вполне 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. Для получения достаточно надежных величин средней наибольшей глубины промерзания почвы, абсолютного максимума и минимума промер-

зания, средней многолетней длительности периода с устойчивым промерзанием, средних дат начала промерзания и оттаивания необходим однородный материал наблюдений за период не менее 15 лет.

#### **Вычисление вероятности и обеспеченности различных значений влажности почвы и характеристик ее 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 (или его градаций) выше или ниже определенного предела.

#### **§ 3. КОНТРОЛЬ И ОБРАБОТКА ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ**

Материалы фенологических наблюдений также дважды подвергаются техническому и локальному контролю. Повторный выборочный контроль проводится в УГМС или в Бюро погоды. При контроле особое внимание уделяется правильности выполнения требований «Наставления по производству агрометеорологических наблюдений».

Методика контроля данных фенологических наблюдений, рассматриваемая ниже, разработана А. А. Шиголевым. Следует подчеркнуть, что она дает хорошие результаты для районов

избыточного, достаточного и вполне 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 температур, она не учитывает недостатка влаги, задерживающего развитие растений.

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

### Контроль и обработка фенологических наблюдений за озимыми культурами

**Сроки сева.** Они не контролируются агроклиматологами. Однако в каждом конкретном случае важно сравнить расчетные (оптимальные) сроки сева с производственными (фактическими). Поэтому, используя методику Шиголева, желательно в конце осени рассчитать оптимальные сроки сева и сопоставить их с фактическими, а также определить предельно ранние и предельно поздние сроки сева.

**Всходы.** При благоприятных агрометеорологических условиях после посева всходы у озимой ржи появляются на 5-й—6-й день, у пшеницы — на 6-й—7-й день. Контроль всходов проводится с использованием сведений о влажности почвы на глубине заделки семян, осадков и визуального определения влажности почвы.

В условиях достаточного увлажнения почвы можно использовать показатели Шиголева для периода посев—всходы озимой ржи и пшеницы, выраженные в суммах эффективных средних суточных температур выше 5° и соответственно равные 52 и 67°. Они подсчитываются со следующего дня после посева указанных культур. Для проверки времени наступления фазы всходы можно также использовать уравнение Е. С. Улановой:

$$n = \frac{74,2}{w^{0,74}},$$

где  $n$  — продолжительность периода посев—всходы,  $w$  — запасы продуктивной влаги в слое 0—20 см.

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

Период посев—всходы может затянуться из-за малых запасов влаги на глубине заделки семян. Так, например, в Одесской области этот период в отдельные сухие годы увеличивается до 20—24 дней.

**3-й лист** появляется при оптимальных условиях погоды на 5-й—7-й день после всходов. Запаздывание в наступлении этой фазы связано с недостаточным увлажнением почвы и понижением температуры.

**Кущение.** Эта фаза развития растения наступает при благоприятных условиях вскоре после 3-го листа. Однако часто в усло-



виях недостатка влаги в почве или понижения температуры она может задержаться и даже переходить на начало весны. Например, в районе Одессы за последние 28 лет кушение три года наблюдалось весной.

При достаточных запасах влаги и температуре ниже 18° можно для проверки наступления этой фазы использовать показатель Шиголева, который равен сумме эффективных температур 67°, накопленных после всходов. Этот показатель можно использовать как для озимой ржи, так и для пшеницы.

При температуре выше 13° и запасах влаги в слое 0—20 см менее 30 мм можно пользоваться формулой Улановой:

$$n = \frac{93,4}{w^{0,64}},$$

где  $n$  — длительность периода всходы—кушение,  $w$  — запасы влаги в слое 0—20 см.

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

**Возобновление вегетации** озимых культур наступает почти одновременно с переходом средней суточной температуры воздуха весной через 5° 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° или же используя построенные заранее карты аномалий дат возобновления вегетации для данного района. При неблагоприятных условиях перезимовки возобновление вегетации озимых 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 ее 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, так как при аналогичных условиях перезимовки на довольно большой территории весной озимые развиваются почти одинаково. Кроме того, можно воспользоваться константой 183°, рассчитанной как сумма эффективных температур за период от колошения до выхода в трубку. Допустимая разность в этом случае наблюденных и расчетных дат составляет  $\pm 3$  дня.

**Колошение.** Фаза считается опорной для проверки других фаз. Правильность ее фиксирования наблюдателями контролируется путем сопоставления с суммой температур, накопившейся от возобновления вегетации до наступления этой фазы. В различные годы эти суммы для одного и того же пункта могут быть разными; они зависят от условий перезимовки растений и хода весенних процессов. Однако для одного и того же года на близлежащей территории суммы температур достаточно устойчивы.

**Цветение.** Наступление этой фазы для ржи можно проверять по накоплению сумм активных температур, равных  $144^{\circ}$  (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  $225^{\circ}$  (за период от цветения до молочной спелости). Для озимой пшеницы аналогичная сумма за период от колошения до молочной спелости составляет  $230^{\circ}$ . Расчетные даты и в этих случаях сопоставляются с наблюдаемыми.

**Восковая спелость** — одна из наиболее трудных для наблюдения фаз. Контроль ее наступления можно провести по суммам температур, накопившихся от молочной спелости до восковой ( $175^{\circ}$  для озимой ржи и  $260^{\circ}$  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 ежегодников и решения различных агроклиматических задач. Многолетние фенологические материалы позволяют получить средние многолетние даты фаз развития сельскохозяйственных культур в данном пункте, а по территории — составить фенологические карты.

Однако работе по составлению карт предшествует кропотливый труд, заключающийся в приведении расчетных средних величин к многолетнему периоду наблюдений и в восстановлении пропусков.

Рассмотрим в качестве примера агроклиматологическую обработку фенологических наблюдений за озимой пшеницей.

Как указано выше, надежные средние величины получаются по материалам наблюдений продолжительностью 15—20 лет. Поэтому обнаруженные пропуски в наблюдениях отдельных фаз необходимо восстановить. Для восстановления используют 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.

Если необходимо восстановить материалы фенологических наблюдений по яровым, то можно подобный график составить для сортов разной скороспелости. Этот метод рекомендуется Н. В. Гулиновой. 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). Для приведения к длинному ряду средних величин короткорядных фенологических материалов Гулинова рекомендует использовать формулу

$$B_N = A_N + \frac{(B_1 - A_1) + (B_2 - A_2) + \dots + (B_n - A_n)}{n},$$

где  $B_N$  — средняя величина (дата) по станции  $B$  с коротким рядом, приведенная к длинному периоду;  $A_N$  — средняя величина (дата) по станции  $A$  с большим периодом наблюдений;  $(B_1 - A_1)$  и т. д. — разность между датами одноименных фенофаз на двух станциях за один и тот же год.

#### 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, что хорошо иллюстрируется рис. 62. Поэтому проверка отмеченных наблюдениями дат проводится по известным суммам температур, т. е. методом сопоставления рассчитанных и наблюденных дат.

Таблица 42

Проверка фазы начала цветения абрикоса

Станция	Дата начала цветения	Сумма эффективных температур более 5° (град.)	Число дней с температурой более 5°	Дата накопления 88° (±3°)	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

Кроме того, можно использовать метод сопоставления фенологических аномалий. Для примера приводится табл. 42, где даются контрольные даты начала цветения абрикоса. Эта таблица наглядно показывает, что константа  $88^\circ$  (представляющая сумму эффективных температур) дает возможность вполне надежно про-

верять даты начала цветения абрикоса в разных пунктах СССР.

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 сводится прежде всего к восстановлению пропущенных наблюдений о фазах развития.

Их можно восстановить, используя указанные ранее методы: суммы температур, необходимые для наступления данной фазы, метод интерполяции (при наличии фенологической карты данного года) и т. д. Определение средних и крайних дат фаз развития древесных

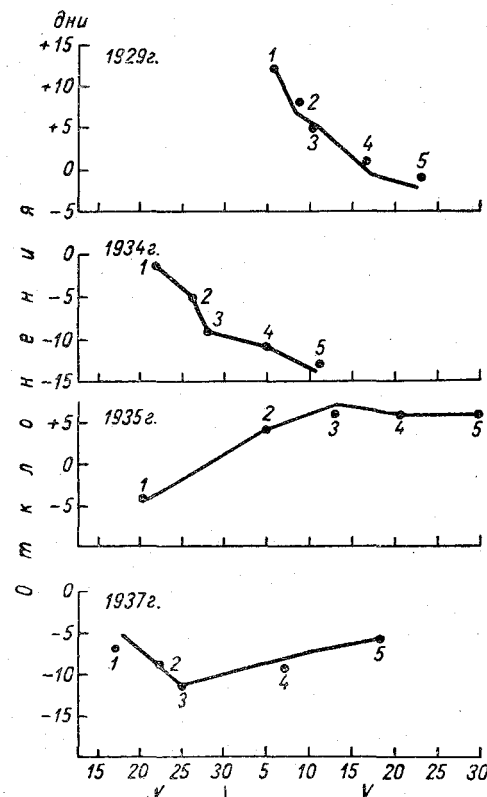


Рис. 62. Отклонение сроков накопления сумм эффективных температур от средних сроков (кривые) и отклонение дат зацветания древесных растений (точки) от средних дат наступления этих явлений (Москва).

1 — красная верба, 2 — вяз, 3 — береза бородавчатая, 4 — черемуха, 5 — сирень обыкновенная. плюс (+) — позднее, минус (—) — раньше среднего.

культур также не представляет труда. И здесь твердо следует помнить, что ряд наблюдений должен быть достаточно протяженным по времени и однородным по качеству материала.

Иногда для приведения средних величин, вычисленных по коротким рядам, к длинному периоду используют закономерность синхронности развития ряда древесных растений. В этом случае строят графики синхронности. Один из подобных графиков приве-

ден на рис. 63. Например, нужно по среднему сроку цветения вишни в Москве (18 мая) определить средний многолетний срок цветения вишни в Ленинграде. По графику (рис. 63) получаем 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 *A* отсутствуют наблюдения за датой цветения вишни, но для составления фенокарты эта величина необходима. Тогда на небольшом удалении от станции *A* выбираем станции *B* и *C*, для которых известны средние многолетние даты цветения вишни. Используя гистограммы, находим для станций *B* и *C* агроклиматический показатель цветения — среднюю температуру на дату цветения вишни. Обычно такие средние очень близки для рядом расположенных станций. Поэтому полученный показатель можно использовать и для станции *A*, определяя по ее гистограмме среднюю многолетнюю дату цветения вишни.

В заключение заметим, что рассмотренные выше на примерах отдельных культур методы обработки и контроля фенологических наблюдений можно использовать для большинства сельскохозяйственных культур.

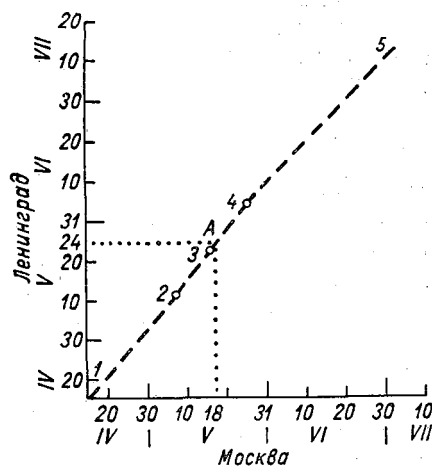


Рис. 63. График сопоставления средних сроков начала цветения древесных растений в Москве и Ленинграде.

1 — серая ольха, 2 — бородавчатая береза, 3 — черемуха, 4 — рябина, 5 — мелколиственная липа.

#### § 4. КАРТИРОВАНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Детальный учет физико-географических особенностей территории в сельском хозяйстве необходим для решения многих задач. Так, например, для правильного планирования сельскохозяйственного производства наряду со сведениями о плодородии земли каждого колхоза и совхоза нужно знать его агроклиматические условия.

Картирование климатических и агроклиматических показателей позволяет по наблюдениям отдельных станций дать пространственное распределение изучаемых элементов или их комплексов. Принципы составления климатических и агроклиматических карт одинаковы, причем методика картирования отдельных характеристик климата была детально разработана еще при составлении климатических карт. Последние широко представлены во всех физико-географических атласах и ряде специальных.

Возможная детализация на карте любого климатического или агроклиматического показателя определяется: 1) степенью изученности картируемого элемента, 2) характером изменчивости его в пространстве, 3) густотой метеорологической сети, 4) наличием дополнительных микроклиматических наблюдений по учету влияния подстилающей поверхности на пространственную изменчивость картируемого показателя, 5) возможностью использования расчетных данных, 6) наличием гипсометрической карты, служащей основой для картографического изображения изучаемого показателя на уровне земной поверхности.

Существенными факторами являются также величина исследуемой территории и конкретные требования науки и практики, для удовлетворения которых составляется карта.

Методика составления карт определяется их масштабом, по которому все карты условно могут быть разделены на три группы.

1. Мелкомасштабные карты (масштаб 1 : 1 000 000 и мельче). На этих картах отражается изменение отдельных климатических элементов или агроклиматических показателей под влиянием основных физико-географических факторов — широты, долготы, высоты места над уровнем моря. При масштабе 1 : 1 000 000 на 1 см<sup>2</sup> карты показана территория в 100 км<sup>2</sup>. Поэтому карты масштаба 1 : 1 000 000 составляются для больших территорий, не менее административных областей.

Рабочий масштаб климатических карт всей территории СССР, использованный в ГГО, составляет 1 : 5 000 000, хотя эти широко известные по ряду атласов карты печатались в значительно более мелких масштабах (1 : 25 000 000—1 : 30 000 000).

2. Среднемасштабные карты. Сюда условно относят карты, выполненные в масштабе 1 : 100 000—1 : 500 000. На таких картах четко может быть показано влияние на климат крупных форм рельефа, больших водоемов, основных почвенных разностей. Такие карты обычно составляются для решения ряда практических задач. Они являются промежуточными между макро- и микроклиматическими картами и составляются для климатически достаточно хорошо изученных, относительно небольших территорий (крупного хозяйства, административного района, части области), для которых имеются ряды наблюдений и расчеты, дополняющие сведения стандартной сети метеорологических станций.

3. Крупномасштабные карты. К ним относят карты, выполненные в масштабах 1 : 5 000—1 : 10 000. В этих масштабах обычно составляются планы хозяйства с указанием на них размещения отдельных угодий, а также детальные почвенные карты. На этих основах, дополненных гипсометрией, составляются микроклиматические карты, на которых можно отразить особенности микроклимата небольших участков порядка 1—2 га (в масштабе 1 : 10 000 на карте 1 см<sup>2</sup> представляет площадь, равную 1 га).

### Составление мелкомасштабных 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 курсе общей климатологии.)

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 выделя-

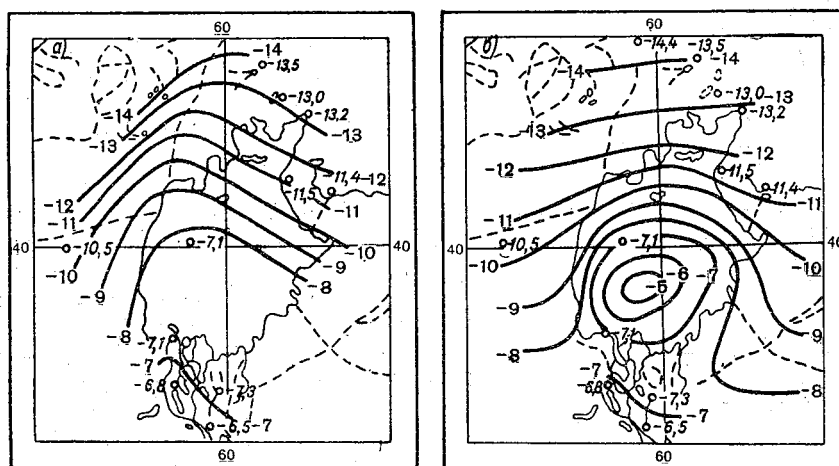


Рис. 64. Изотермы января для района Аральского моря.

а — линейная интерполяция, б — то же с учетом физико-географических условий.

ются 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. 64 приведен пример составления карты изотерм января для района Аральского моря по одним и тем же данным. На рис. 64 а изолинии проведены механически с использованием лишь метода линейной интерполяции, на рис. 64 б учтено тепляющее влияние моря на побережье. При использовании одних и тех же данных карты изотерм существенно различаются; правильный учет физико-географических особенностей района

(рис. 64 б) подтверждается хорошим согласованием данных наблюдений со схемой изотерм.

При проведении изолиний всегда надо помнить о масштабе карты. Работая с картой в масштабе 1 : 1 000 000, нельзя забывать, что 1 см на карте соответствует 10 км на местности (для карты масштаба 1 : 2 500 000 — соответственно 25 км). Поэтому попытки

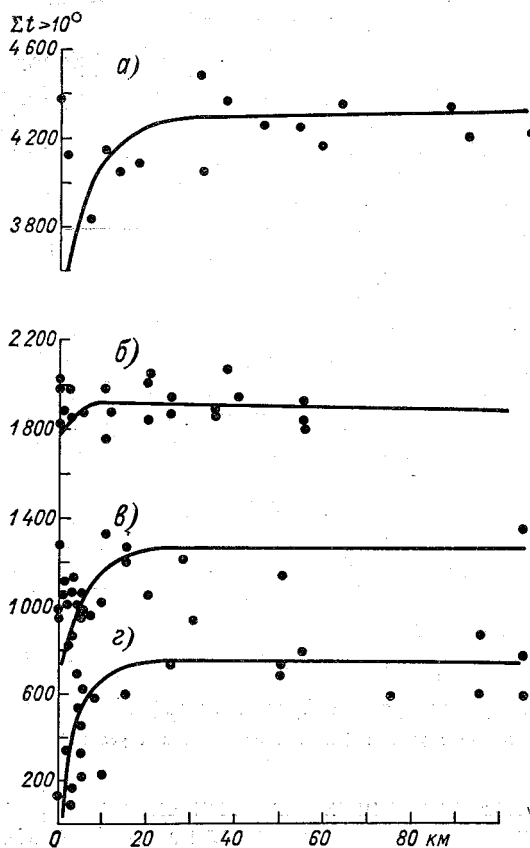


Рис. 65. Влияние удаления моря на изменение сумм температур воздуха выше 10°.

а — Черноморское побережье Кавказа, б — Балтийское море, в — Белое море, г — Баренцево море.

изобразить на таких картах, например, влияние рек на термический режим долины, занимающих по ширине не более 2—3 км, в виде пары линий, ограничивающих долину с двух сторон, заранее обречены на неудачу. Влияние больших озер, а в некоторых случаях морей, ощутимое только на расстоянии до 10—15 км от берега в глубь суши, на картах часто утрируется, ибо в масштабе приходится проводить две-три линии в пределах нескольких миллиметров. На рис. 65 показано влияние моря на изменение сумм температур воздуха выше 10°. Если расположить эти изолинии в пределах 1,5—2,0 см от линии берега, то мы покажем, что данный водоем влияет на расстоянии 15—20 км (при масштабе 1 : 1 000 000) или даже 35—50 км от берега (при масштабе 1 : 2 500 000), что обычно не соответствует действительности.

Наиболее распространены следующие ошибки картирования.

1. Выделение отдельным кружком станций, данные которых отклоняются от среднего фона под влиянием узко местных факторов, которые могут быть учтены только в виде микроклиматической поправки.

2. Проведение одной изолинии, отражающей повышение или понижение картируемой величины в пределах района. На рис. 66 а дан условный пример такой ошибки; в этом случае карта не чи-



тается, так как предполагаемое повышение температуры отмечено только одной изолинией.

3. Ориентировка при проведении изолиний на какую-то не характерную для данных физико-географических условий станцию и нарушение вследствие этого правильной конфигурации изолиний. На рис. 66 б дан пример ошибки такого рода.

При составлении карт для относительно небольших территорий, например отдельной административной области, необходимо обращать особое внимание на правильное выведение линий за пределы этой территории. Для этого необходимо нанести на карту данные прилегающих районов, а также внимательно просмотреть имеющиеся соответствующие карты всей территории СССР или больших частей его, на которых можно легко проследить общее на-

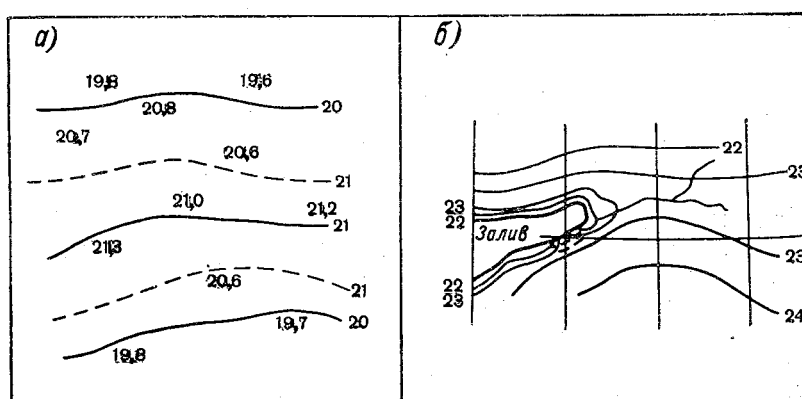


Рис. 66. Примеры неправильного проведения изотерм.

а — изотерма 21° «не читается», б — нарушение физико-географической закономерности. Прерывистыми линиями даны правильные изотермы.

правление изолиний картируемой величины. При составлении карты в масштабе 1 : 1 000 000 (или 1 : 2 500 000) для ограниченной территории уточняются и детализируются для данного района выявленные ранее в более мелком масштабе общие закономерности географического распределения элемента.

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.

Пестрота данных на карте определяется степенью изменчивости картируемого элемента в пространстве. Такие термические характеристики, как средние месячные температуры воздуха, суммы температур, средние даты перехода температуры воздуха через определенные градации, средние фенодаты и т. п., в которых влияние подстилающей поверхности и даже форм рельефа проявляется слабо, в условиях равнины дают устойчивую, правильную картину

распределения отдельных величин. Ряд характеристик, значительно изменяющихся под влиянием подстилающей поверхности (даты заморозков, длительность безморозного периода, суточные амплитуды температуры воздуха, средние минимальные температуры, количество осадков, влажность почвы и т. д.), сильно варьируют по величине.

Интервалы для проведения изолиний на карте определяются с таким расчетом, чтобы колебания картируемой величины по отдельным станциям укладывались между изолиниями.

В зависимости от изменчивости картируемой величины в пространстве при мелкомасштабном картировании используются два метода: 1) при малой изменчивости картируемых характеристик изолинии вычерчиваются с учетом данных всех станций и физико-географических особенностей района; 2) при большой изменчивости картируемых характеристик в пространстве (под влиянием подстилающей поверхности) используется метод составления фоновых карт. В этом случае изолинии проводятся по данным станций, расположенных на открытом ровном месте на равнинах или на середине склона в горах и отражающих влияние лишь основных физико-географических факторов (широту, долготу, высоту над уровнем моря) на распределение элемента в пространстве.

Данные всех станций, отражающие влияние подстилающей поверхности или форм рельефа и резко выделяющиеся на общем фоне, анализируются особо. Результаты этого анализа обобщаются в виде таблиц, которые прилагаются к карте и характеризуют изменчивость картируемого элемента под влиянием микроклимата. Пример составления фоновой карты приведен на рис. 67. Здесь кружком выделены данные всех станций, отклоняющихся от изолиний на карте на величину  $\pm 1^\circ$  под влиянием микроклиматических особенностей местоположения станции.

Одним из наиболее ответственных этапов составления климатических и агроклиматических карт является определение высотных и широтных градиентов картируемых характеристик, позволяющих рассчитать место и высоту проведения изолиний на карте.

При составлении карт термических характеристик на уровне моря климатологи пользовались постоянным высотным градиентом, равным  $0,5^\circ$  на 100 м высоты. Этот постоянный градиент обеспечивал возможность ориентировочного пересчета температур, снятых с карты, на различные высоты над уровнем моря. Но уже первые попытки составления карт средних месячных температур на уровне земной поверхности (Зоммер для Альп в 1906 г., А. В. Вознесенский для Восточной Сибири в 1912 г., И. А. Гольцберг для Кавказа в 1935 г., Е. С. Рубинштейн для всего мира в 1936 г.) показали, что необходимо рассчитывать конкретные высотные градиенты для отдельных горных систем, разных экспозиций, разных высотных горизонтов. В результате большого числа исследований выяснилось, что высотные градиенты значительно изменяются в годовом ходе и в разных климатических условиях. В Якутии, например, зимой в условиях стойкой антициклональной

погоды высотные градиенты средних месячных температур воздуха равны  $-0,3, -0,2^{\circ}$  на 100 м высоты. При этом в нижних частях гор до высоты 1—1,5 км температура воздуха с высотой растет,

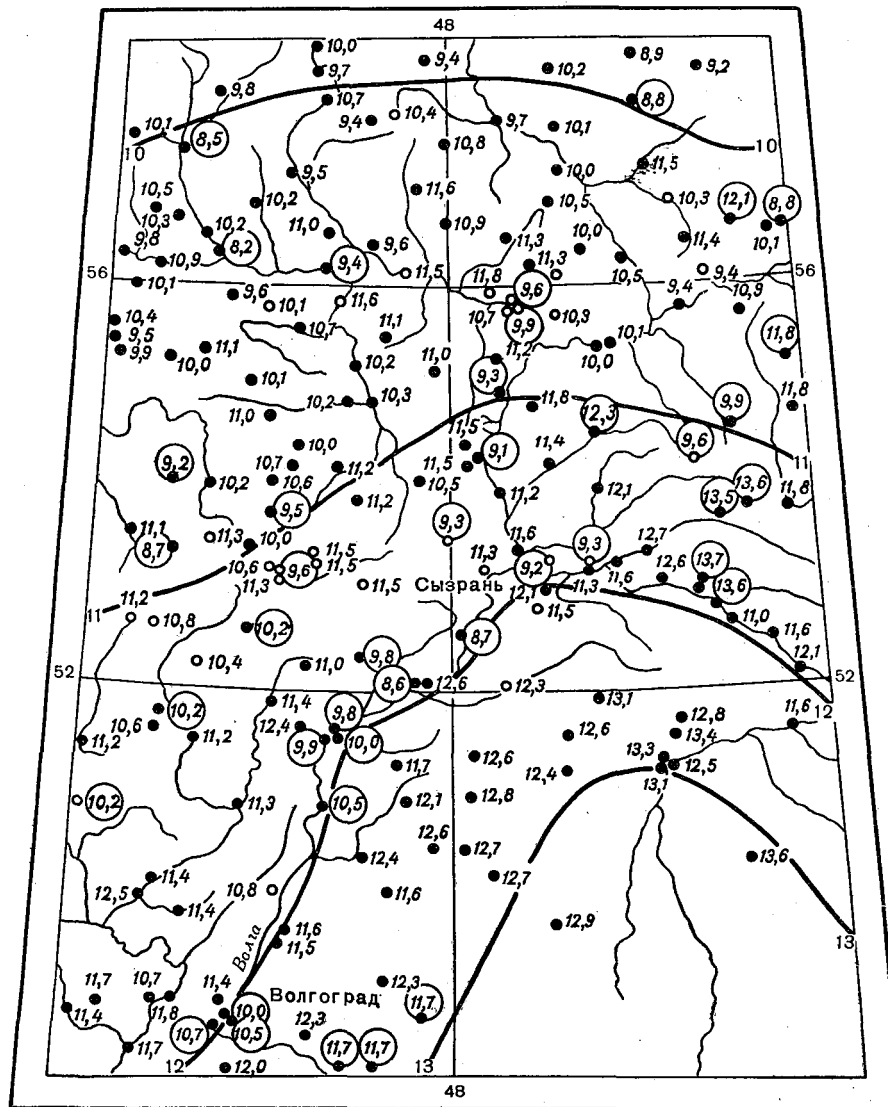


Рис. 67. Пример составления фоновой карты суточной амплитуды температуры воздуха. Июнь.

а наиболее низкие температуры наблюдаются в глубоких долинах и котловинах (например, Оймякон, Верхоянск). Выше 1—1,5 км температура воздуха зимой в этом районе с высотой понижается,

а ее градиент становится равным  $0,3-0,4^{\circ}$  на 100 м. Эти же величины градиента зимой отмечаются на большей части горных систем на Европейской территории СССР.

Летом средняя месячная температура воздуха с высотой везде уменьшается на  $0,5-0,9^{\circ}$  на 100 м. Сумма температур выше  $10^{\circ}$  соответственно уменьшается на  $120-180^{\circ}$  на 100 м, длительность периода с этой температурой — на 6—8 дней на 100 м. Для при-

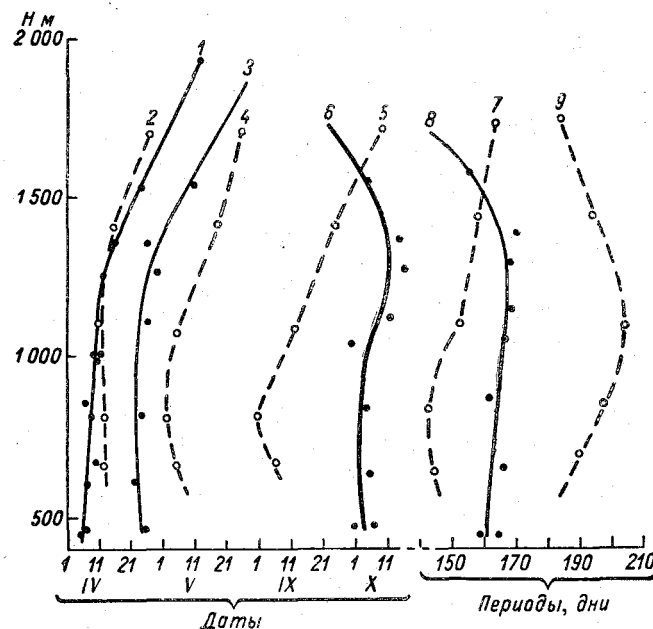


Рис. 68. Распределение по высоте некоторых средних многолетних термических и фенологических характеристик на северном склоне Заилийского Алатау.

Даты: 1 — устойчивого наступления средней суточной температуры воздуха  $8^{\circ}$ , 2 — начала вегетации яблони, 3 — прекращения заморозков, 4 — начала массового цветения яблонь, 5 — созревания яблок сорта Апорт Александра, 6 — начала заморозков. Длительность периодов: 7 — от начала вегетации до созревания Апорта, 8 — безморозного, 9 — от начала вегетации яблонь до конца листопада.

мера приводим изменение некоторых агроклиматических и фенологических показателей с высотой в горах Заилийского Алатау (рис. 68).

Широтный градиент сумм температур выше  $10^{\circ}$  в пределах СССР изменяется от 100 до  $150^{\circ}$  на  $1^{\circ}$  широты; долготные градиенты невелики и четко проявляются только при переходе от морских побережий на сушу.

При продвижении с севера на юг и при подъеме в горы происходит наложение высотных и широтных градиентов, что создает очень своеобразные условия изменения термического режима

в разных горных системах. Поэтому для расчета места проведения изолиний и определения их высоты составляются комплексные графики зависимости термических и фенологических показателей от широты и высоты. Пример такого расчета приведен на рис. 69, с помощью которого определяется высота прохождения изотерм сумм температур выше  $10^{\circ}$  (табл. 43), картированных для условий довольно ровного рельефа одной из областей БССР (рис. 70).

Рассмотрение цифровой нагрузки на карте и графике показывает, что при малых различиях высот и широт влияние высотного

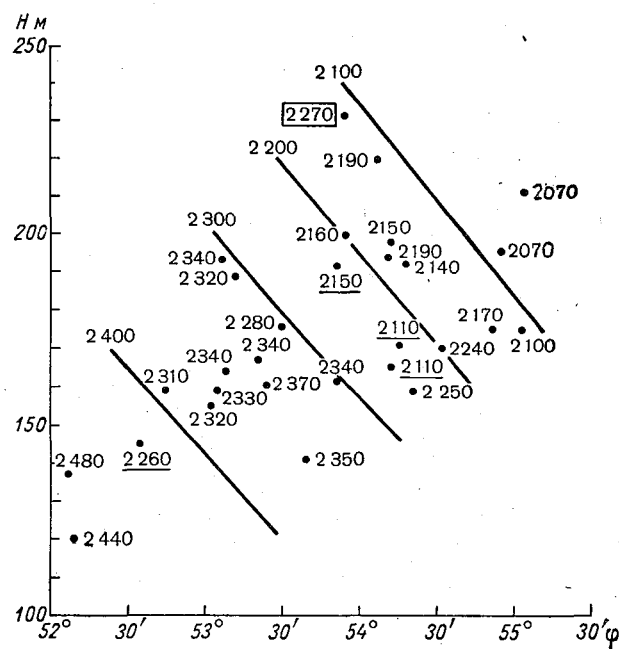


Рис. 69. График для расчета высоты прохождения изотерм на разных широтах для одной области.

Таблица 43

Высота (м) прохождения изотерм сумм температур выше  $10^{\circ}$  на разных широтах

Широта	Сумма температур (град.)			
	2300	2200	2100	2000
53° с.	200	—	—	—
53° 30'	170	—	—	—
54°	140	190	240	290
54° 30'	—	160	210	260
55°	—	130	180	230

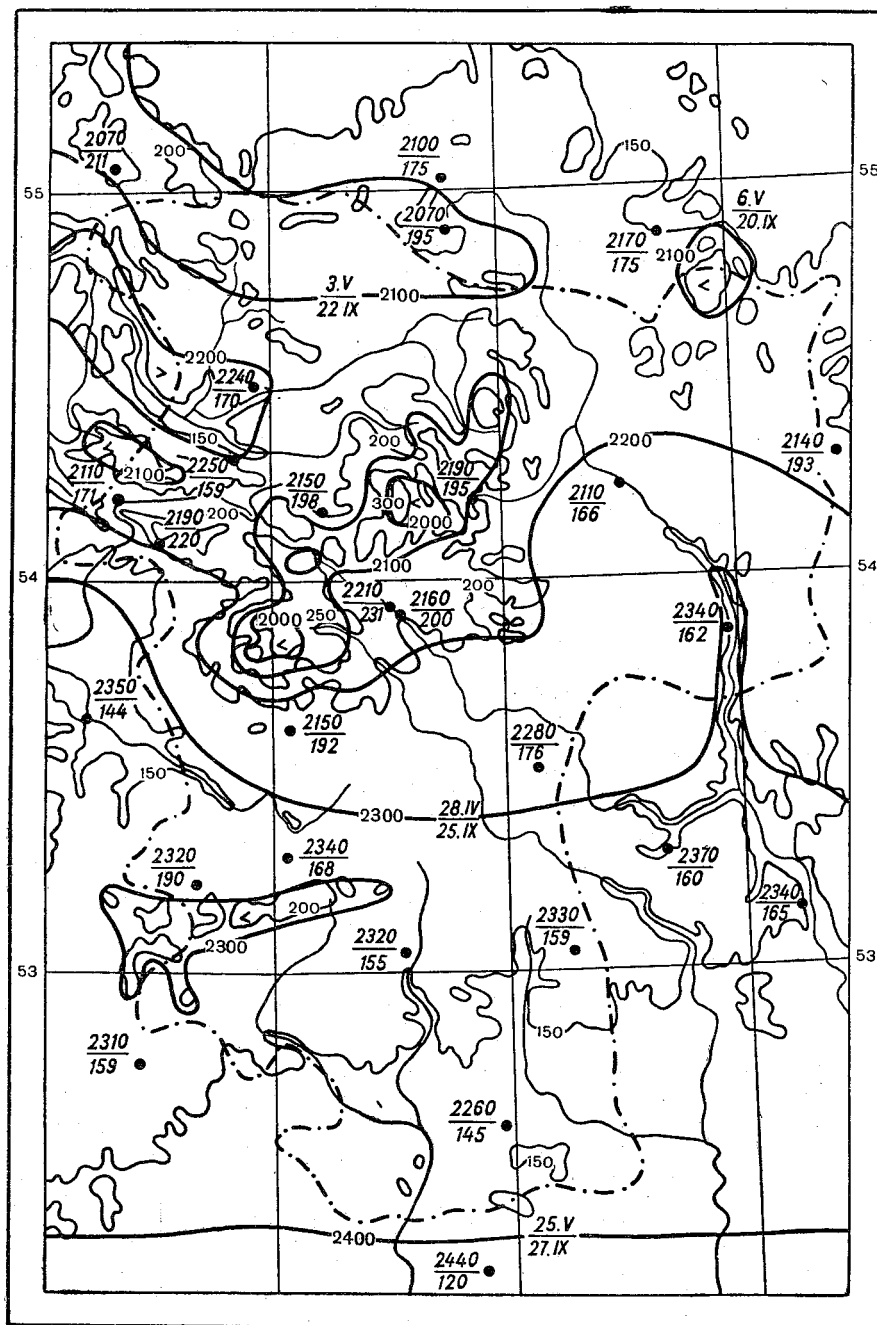


Рис. 70. Пример построения карты сумм температур выше  $10^{\circ}$  для одной области.  
 1 — горизонтали, 2 — сумма температур, 3 — граница области, 4 — метеорологические станции; дробью даны: в числителе сумма температур, в знаменателе высота станции над уровнем моря; 28 IV — дата начала и 25 IX — конца периода с температурой выше  $10^{\circ}$ .

и широтного градиентов часто перекрывается особенностями местоположения станций. Это проявляется даже в такой мало чувствительной к микроклимату характеристике, как сумма температур воздуха. Данные ряда станций на карте не соответствуют термическим условиям района, причем отклонения бывают разного знака. Например, превышение суммы температур на  $100^{\circ}$  (отклонение с плюсом) отмечается на городской станции, расположенной около  $54^{\circ}$  широты на высоте 230 м (на рис. 69 она заключена в прямоугольник).

Уменьшение сумм температур отмечается в понижениях рельефа, в долинах. Сюда относятся две станции на широте  $54^{\circ} 15'$  на высотах 710 м ( $-140^{\circ}$ ) и 165 м ( $-120^{\circ}$ ). Другие станции на широте  $53^{\circ} 30'$  и высоте 192 м ( $-100^{\circ}$ ) и на широте  $52^{\circ} 30'$  и высоте 145 м ( $-150^{\circ}$ ) находятся на полянах (суммы температур на этих станциях подчеркнуты). Даже при расположении метеорологических станций на ровных открытых местах суммы температур на близких расстояниях изменяются в пределах  $\pm (30 \div 50)^{\circ}$ , что определяет возможную точность расчета высоты изотерм и не позволяет принять интервал между ними менее  $100^{\circ}$ .

На высотах более 250—300 м нет ни одной станции. На карте эти высоты четко выделяются и занимают относительно большие площади в средней части области. На этой территории проведены изотермы, определенные расчетным путем с использованием градиентов, полученных по рис. 69 путем экстраполяции их на нужные высоты. Показанные на карте «пятна» с суммой температур ниже  $2000^{\circ}$  отражают результаты этих расчетов.

На картах в масштабе 1 : 2 500 000 и 1 : 1 000 000 могут быть выделены понижения рельефа, связанные с долинами крупных рек. В этом случае изолиния «обходит» реку с двух сторон, если позволяет ширина долины в этом масштабе.

Понижения температуры на больших озерах и их берегах в теплое время года даются либо в виде изгиба изолинии, либо отдельным «пятном». Пример проведения изотерм в этом случае дан выше, на рис. 64.

Более высокая (на  $0,5$ — $0,7^{\circ}$ ) средняя месячная температура воздуха на городских станциях на картах обычно не показывается. Кружки изолиний около отдельных станций проводятся только в том случае, когда они характеризуют обширное пространство (например, заболоченные районы). Проводить замкнутые кружки около отдельных станций, не связывая их с основными закономерностями распределения элемента, нельзя.

При вычерчивании изолиний надо следовать по рассчитанной горизонтали, плавно переходя от одной высоты к другой, согласно данным расчетной таблицы. Мелкие извилины гипсометрической карты, отражающие изменения рельефа в пределах 5—10 км, которые на картах и в масштабе 1 : 1 000 000 представлены изгибом длиной менее 1 см, при проведении изолиний не принимаются во внимание.

Техника составления карт количества осадков (изогиег) принципиально не отличается от техники составления карт изотерм. После нанесения данных станций и постов на гипсометрическую карту они анализируются, выясняются особенности местоположения станций. Для выровненной территории при небольших разностях относительных высот изогиег вычерчиваются без специальных расчетов, но с учетом физико-географических особенностей территории. Для горной территории определяются плювиометрические градиенты также с учетом особенностей отдельных склонов и по возможности с дифференциацией градиентов по отдельным высотным горизонтам.

Распределение количества осадков существенно отличается от распределения характеристик термического режима, так как оно меньше зависит от высоты над уровнем моря и очень тесно связано с общей циркуляцией атмосферы, с особенностями ориентировки основных возвышенностей по отношению к несущим влагу ветрам. Большая «пятнистость» осадков даже в условиях холмистого рельефа обычно связана с наличием подветренных и наветренных для влагонесущих ветров склонов, с площадями предвосхождения потоков перед возвышенностями и с «ветровой тенью». При составлении карты надо обращать большое внимание на все эти факторы и по возможности стараться выяснить причины, вызывающие те или иные особенности.

Распределение осадков в условиях горного рельефа может быть очень сложным, что видно из рис. 71. Здесь дано распределение осадков по высоте для долин основных рек восточной части Северного Кавказа. Определяющими факторами являются направление и глубина долины, ориентировка и открытость ее по направлению к западным, несущим влагу ветрам. Переход от долины, открытой этим ветрам, в долину, перпендикулярную к ним, может резко изменить количество осадков — уменьшить их в 1,5—2 раза. Такой же эффект может наблюдаться в одной и той же долине при соответствующем повороте ее.

В отдельных случаях при орографической закрытости долины количество осадков с высотой не растет, а уменьшается и плювиометрический градиент становится отрицательным.

Довольно большая устойчивость средней месячной температуры воздуха в пространстве позволяет картировать ее с интервалом через  $1^{\circ}$ . В отдельных случаях для небольших территорий возможно уменьшение интервала до  $0,5^{\circ}$ , но такой интервал предельно и может быть использован только при густой сети станций.

Для горных районов вследствие увеличения колебаний температуры под влиянием местоположения станций, а также в связи с «недостатком места» интервал на карте увеличивают до 2 и даже  $4^{\circ}$ . Так, при больших высотных градиентах температуры порядка  $0,6—0,7^{\circ}$  на 100 м поднятия (например, для средних месячных температур летних месяцев) на каждые 500 м высоты температура меняется на  $3—3,5^{\circ}$ . Разместить три-четыре изотермы на расстоянии нескольких миллиметров на карте не представляется



возможным, поэтому по чисто техническим причинам их приходится разрезать.

Наименьшими интервалами для сумм температур воздуха выше 5, 10, 15° являются 100°, для соответствующих дат перехода температуры воздуха через эти же градации температуры — 3—5 дней, для длительности периодов с этими температурами — 10—15 дней. Эти же интервалы принимаются и для картирования фенологических явлений.

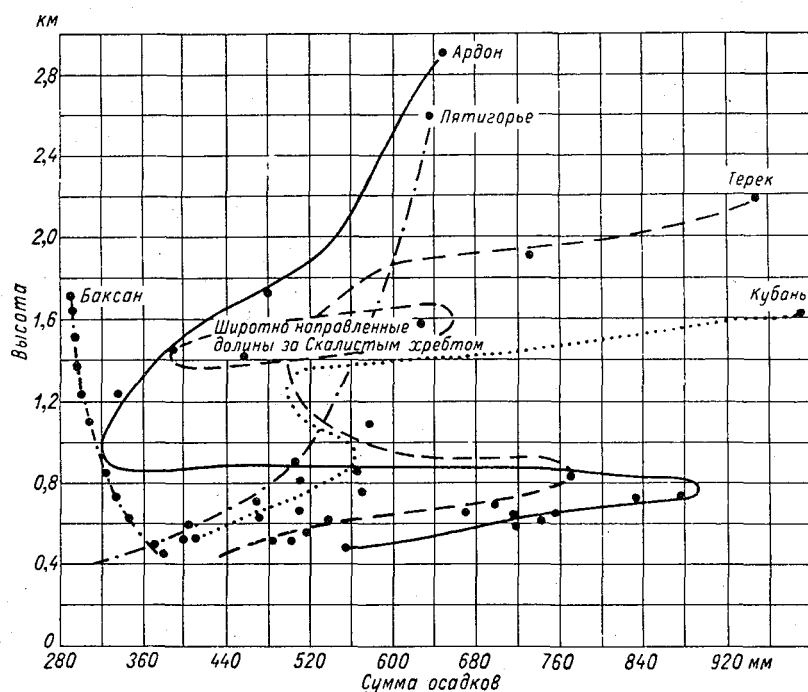


Рис. 71. Изменение количества осадков с высотой по долинам рек в теплый период в восточной части Северного Предкавказья.

Точками показаны станции.

При составлении карт этих характеристик для небольших территорий (порядка административной области) нет необходимости вычерчивать отдельные карты всех взаимно связанных величин. Можно ограничиться составлением одной основной карты, например суммы температур выше 10°, и на изолиниях дополнительно указать начало и конец этого периода, графически определив связь этих величин (рис. 72).

Хорошо увязываются длительность периода с температурой выше определенного уровня и соответствующая сумма температур, сумма температур и температура самого теплого месяца и тому подобные характеристики. Графическое установление этих связей несложно: оно значительно сокращает объем картографических

работ, позволяя не чертить подобные друг другу, мало наглядные карты. При составлении таких сборных карт интервал между изолиниями определяется по основной характеристике (например, для суммы температур), а подписи дополнительных характеристик определяются этим основным интервалом (см. рис. 70). Этот прием особенно ценен для изрезанного рельефа со значительными разностями высот, для которого конфигурация изолинии почти полностью определяется гипсометрией района.

Для термических характеристик интервал между изолиниями выбирается одинаковым с разрежением лишь в горах.

Для характеристики 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. Дроздо-

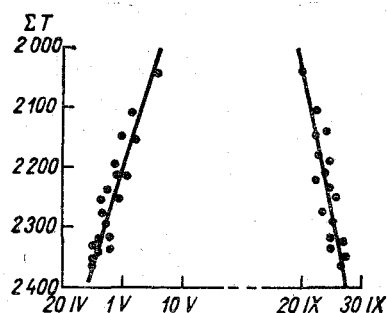


Рис. 72. Зависимость между средними датами начала и конца периода с температурой выше 10° и суммой температур по одной области.

вым и ныне широко применяемая шкала следующего вида (мм): 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 700, 800, 1000, 1200, 1400, 1600 и т. д. Основные изогеты здесь выделены жирным шрифтом.

Таким же образом (с помощью изолиний) картируются и показатели увлажнения (ГТК Селянинова, показатели Иванова, Шашко и др.).

Схематические мелкомасштабные карты средней месячной температуры почвы (масштаб 1 : 10 000 000 и мельче) для больших территорий составляются в изолиниях, рас-

считанных на преобладающий механический состав почвы. Такие карты применительно к суглинистой почве были составлены Е. П. Архиповой для территории СССР. На них показано влияние общих физико-географических закономерностей на распределение этого элемента. При необходимости построения более детальных почвенных карт этот способ уже недостаточен, так как не позволяет показать различия в температурах почвы, определяемые ее механическим составом.

Для агроклиматического районирования отдельных небольших территорий (административная область, небольшая союзная республика) 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 суглинки, оглеенные и торфянистые почвы, осушенные торфяники). Эти типы почв существенно различаются как по термическому режиму, так и по влажности, что ведет к большим различиям в сроках сева на близких расстояниях. Поэтому часто возникает необходимость в дифференциации агротехники и удобрений даже на соседних полях.

Исследуя климат почвы Эстонской ССР, Л. Э. Инт, например, применил для картирования температуры почвы в масштабе 1:1 500 000 принцип крупномасштабного микроклиматического картирования. Выделив по почвенной карте площади с указанными выше тремя градациями почв по их механическому составу, он проанализировал все данные по температуре почвы, опубликованные в новом издании Справочника по климату, дополнив их экспедиционными наблюдениями, и получил количественные характеристики температуры и влажности для каждого типа почвы.

Развивая методику картирования температуры почвы по площадям (с разным механическим составом почвы), Н. Г. Горышина составила ряд карт для Севера и Северо-Запада ЕТС. В качестве примера на рис. 73 приведена карта районирования Псковской области по теплообеспеченности почв на глубине 20 см.

По условиям теплообеспеченности на территории Псковской области выделено пять районов (табл. 44). Поскольку метеорологические площадки, на которых ведется наблюдение за температурой почвы, приурочены к ровным местам, получить на их основе количественные показатели теплообеспеченности почв в холмистом рельефе невозможно.

Таблица 44

Районирование Псковской области по условиям теплообеспеченности почв на глубине 20 см (к рис. 73)

Номер района	Характеристика района	Дата перехода средней суточной температуры через		Сумма температур выше 10° (град.)	Продолжительность периода (дни) с температурой выше	
		5°	10°		10°	15°
1	Наиболее теплый	Ранее 21 IV	Ранее 11 V	2400	145	80
2	Теплый	21 IV—25 IV	11 V—15 V	2200—2400	135—145	70—80
3	Умеренный	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

Данные, полученные в результате экспедиционных наблюдений, свидетельствуют о том, что песчаные и супесчаные почвы наиболее теплого и теплого районов, расположенные на склонах южной

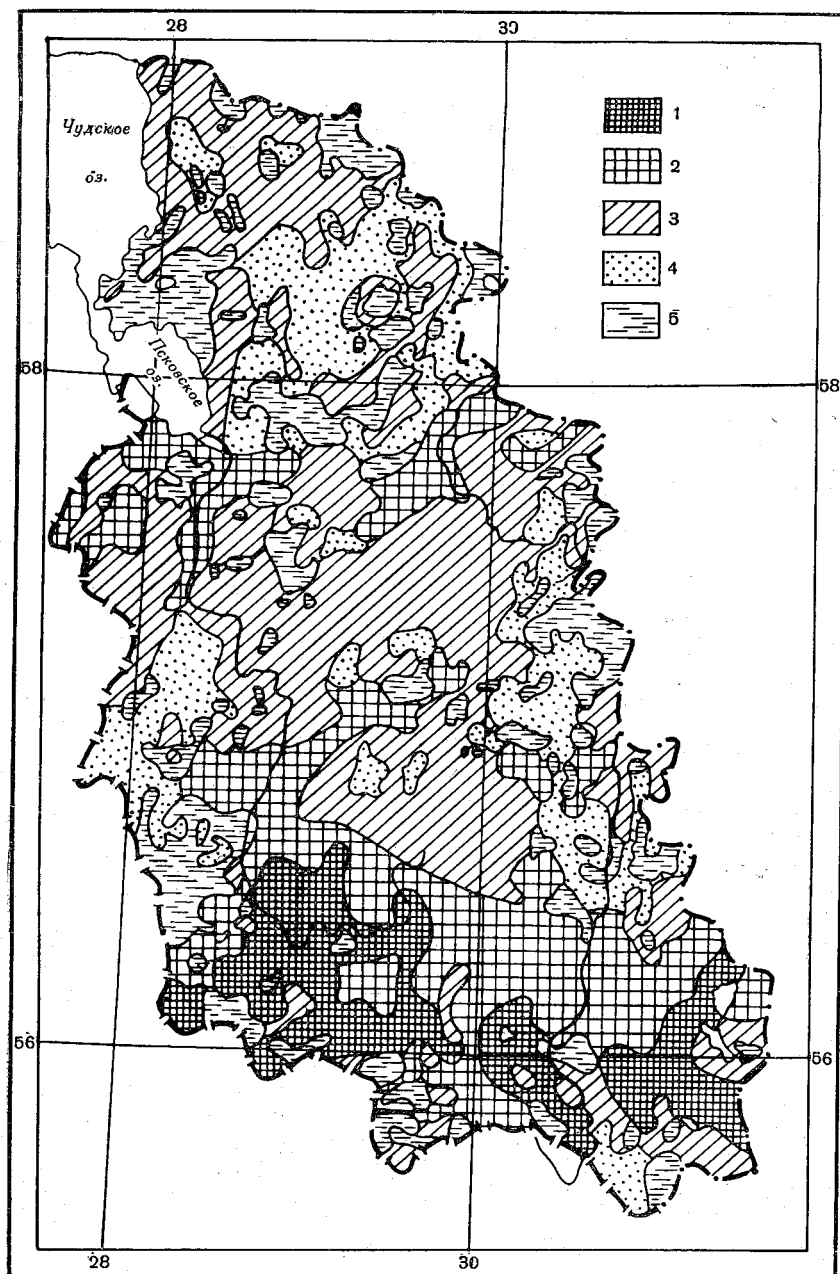


Рис. 73. Карта районирования Псковской области по условиям теплообеспеченности почв.

Районы: 1 — наиболее теплый, 2 — теплый, 3 — умеренно теплый, 4 — умеренно холодный, 5 — холодный.

экспозиции, существенно теплее тех почв, которые находятся в условиях ровного места.

В справочниках по климату СССР почти нет данных, освещающих метеорологический режим заболоченных, торфяных и тяже-

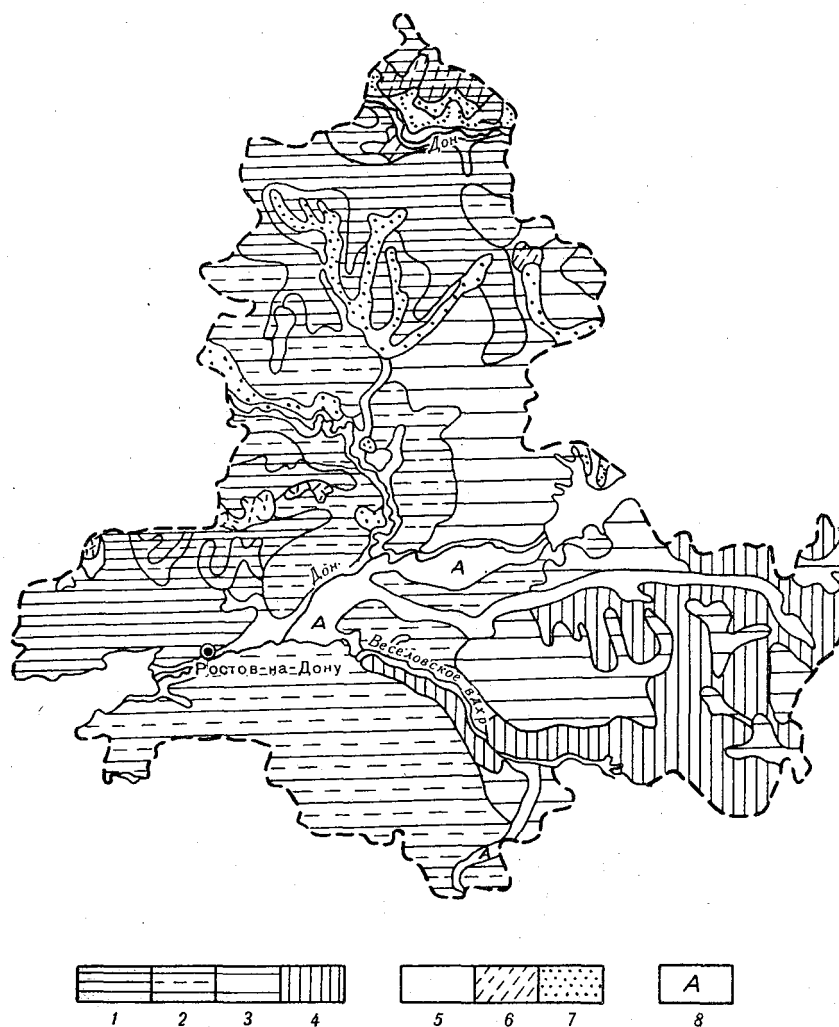


Рис. 74. Средние многолетние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы под озимыми культурами на конец вегетации в Ростовской области. 1 — 95 мм, 2 — 95—75, 3 — 75—50, 4 — 50 мм. Механический состав почвы: 5 — суглинистые, 6 — супесчаные, 7 — песчаные, 8 — аллювиальные.

лых минеральных почв, по условиям теплообеспеченности включенных в район 5 (холодный); поэтому для оценки таких почв необходимо использовать экспедиционные наблюдения.

В зависимости от термического состояния почвы сроки сева ранних яровых и посадки картофеля на рассматриваемой территории различаются на 18—20 дней (середина апреля — первая декада мая для яровых, первая декада мая до последних чисел мая для картофеля), причем эти данные действительны не только для указанной на карте площади, они характеризуют также изменчивость сроков сева на территории отдельного хозяйства, в пределах которого могут быть три-четыре разных типа почв.

Этот же принцип площадной оценки территории использован Л. С. Кельчевской для картирования влажности почвы в рабочем масштабе 1 : 2 500 000 (и крупнее). Для составления карты средних многолетних запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы под озимыми культурами на конец вегетации для Ростовской области ею были использованы данные наблюдений 10 стан-

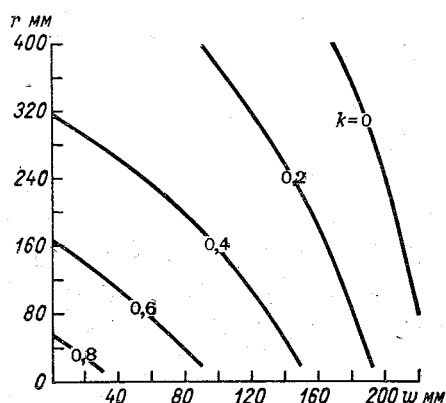


Рис. 75. Номограмма для расчета коэффициента поглощения почвой осадков в зависимости от осенней влагонасыщенности метрового слоя почвы и количества осенне-зимних осадков. Зябь под ранние яровые культуры: яровая пшеница, ячмень, овес.

ций, дополненные расчетными величинами влажности почвы, полученными по графику связи осенних влагозапасов с коэффициентом увлажнения за летние месяцы. На основе почвенной и гипсометрической карт, а также карты распределения осадков за апрель—октябрь были проанализированы запасы продуктивной влаги в почвах в зависимости от распределения осадков, высоты места и типа почв. Имеющиеся материалы позволили выделить на суглинистых почвах этой области четыре градации по запасам влаги (рис. 74). Небольшие массивы песчаных и аллювиальных почв по долинам рек выделены на карте отдельным условным знаком без оценки их влагозапасов.

Аналогичная карта составлена Л. С. Кельчевской, Л. И. Полевой и О. И. Нестеренко в масштабе 1 : 2 500 000 для Европейской территории СССР. На ней отражены весенние влагозапасы в метровом слое почвы по зяби на дату перехода средней суточной температуры воздуха через 10°. Для составления этой карты авторы рассчитали 24 уравнения регрессии между весенними запасами влаги в почве и максимальными запасами воды в снеге для зим, различных по суровости, в разных частях этой обширной террито-

рии и предложили ряд номограмм. Для примера приводим такую номограмму на рис. 75.

Объем вычислительных работ, связанный с подготовкой материала для картирования (приведение наблюдений к одному периоду и осреднение данных наблюдений по площадям, расчет большого числа уравнений регрессии, основанных на эмпирическом материале и т. д.), очень велик, поэтому, кроме простых счетных машин (арифмометров, электрических счетных машин и т. д.), часто используют и ЭВМ.

### Составление среднемасштабных карт

Среднемасштабные карты составляются для решения конкретных задач, связанных с пространственным изучением агроклиматических ресурсов относительно небольших территорий.

Исходные агроклиматические показатели рассчитываются для изучаемой территории по средним многолетним данным метеорологической сети с учетом высотных и широтных градиентов. В дополнение к этим количественным характеристикам используются закономерности, определяющие влияние подстилающей поверхности (рельефа, почвы, водоемов). Они даются в таблицах микроклиматических поправок. Последние могут быть получены на основании теоретических расчетов и специальных экспедиционных наблюдений.

Метод картирования с помощью изолиний в этом случае применяется очень ограниченно, лишь в дополнение к методу выделения площадей, отличающихся по особенностям влияния подстилающей поверхности на пространственную изменчивость картируемых элементов. Количественные и качественные характеристики выделенных площадей обычно приводятся в развернутой легенде к карте, часто в табличной форме. При разработке этой легенды исходят из задач, для решения которых составляется карта. Стандарта таких легенд не существует.

Пример среднемасштабной агроклиматической карты дан на рис. 76. Эта карта составлена на основе детальной гипсометрической карты с использованием экспедиционных микроклиматических наблюдений, средних многолетних данных всех ближайших метеорологических станций и фенологических наблюдений в садах, расположенных на разных высотах. Качественная характеристика выделенных зон дана в подписи к рисунку. Здесь приводим краткое описание основных закономерностей, полученных на основании составленной карты.

1. Теплая инверсионная зона «прилавков» (в пределах высот 800—1600 м) отличается мягкой зимой; температура января здесь —5, —8°, средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха —20, —28°, вероятность обмерзания крон плодовых (при температурах ниже —30°) невелика. Лето теплое, с малыми градиентами температуры (июль 0,4° на 100 м, суммы температур 50° на 100 м). Длительность безморозного периода 170—180 дней,

вегетационного периода яблони 195—205 дней. Суммы температур вегетационного периода яблони от 3200° внизу зоны до 2900° наверху, суммы температур периода с температурой выше 10° составляют соответственно 3000—2600°. Под влиянием хорошо выраженных горно-долинных ветров микроклиматические условия сглаживаются и определяются экспозицией и защищенностью от ветров. Колебания длительности безморозного периода в разных местоположениях не более 15—20 дней. Преобладающая ориентировка склонов западная и восточная.

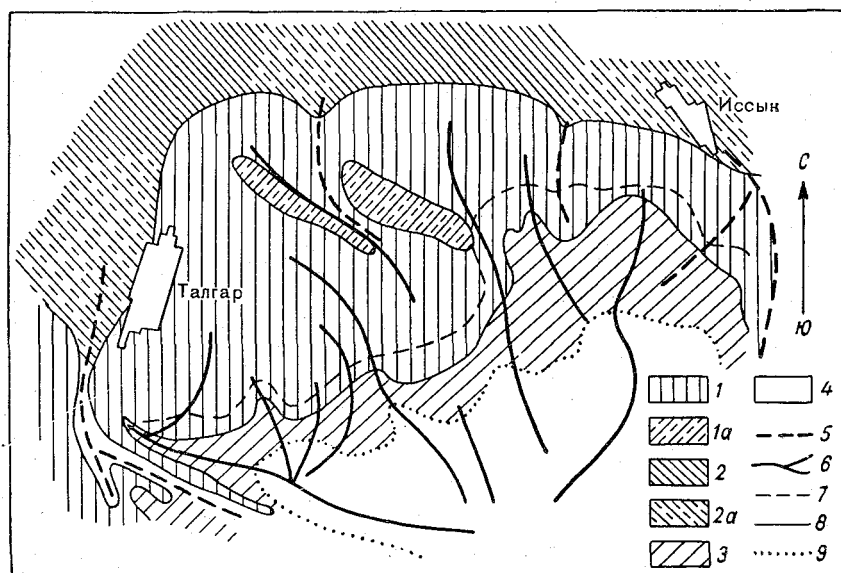


Рис. 76. Термические ресурсы плодородия в районе Талгара (северный склон Заилийского Алатау).

1 — теплая инверсионная зона «прилавков»; 1a — наиболее теплые участки зоны с преобладающей южной экспозицией; 2 — зона предгорья, жаркая летом, холодная зимой; 2a — «озера холода» в этой зоне, у выхода крупных долин; 3 — горная зона с хорошо выраженными высотными градиентами температуры, стойкими горными ветрами; 4 — высокогорная зона, выше границы плодородия; 5 — пути основного стока холодного воздуха; 6 — схема хребтов. Верхняя граница сортов яблони: 7 — позднеспелых (типа Кандиль); 8 — среднеспелых (типа Апорт); 9 — скороспелых (типа Сейслепер).

Верхняя граница культивирования позднеспелых сортов яблони типа Кандиль не выше 1500 м, среднеспелых сортов типа Апорт Александра около 1600—1650 м при сумме температур от начала вегетационного периода до созревания яблок для Кандиля 2900°, для Апорта 2700°. Эти суммы температур накапливаются только к концу вегетационного периода, поэтому указанные высоты являются предельными. Они могут быть достигнуты только в благоприятных местоположениях — 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%.

На рисунке выделены наиболее теплые участки зоны с преобладающей южной экспозицией, на которых суммы температур на 150—200° выше, чем на западных и восточных склонах.

2. Предгорная зона располагается на высотах от 600 до 800—850 м. Зона холодная зимой (температура января ниже —8°, средний из абсолютных годовых минимумов температуры ниже —28°) и жаркая летом (суммы температур выше 10° более 3000°, большие суточные амплитуды температуры — до 17°, температура июля выше 22°, длительность безморозного периода около 160 дней). В этой зоне отмечается большая изменчивость микроклимата в зависимости от расстояния до подножия гор и положения зоны относительно выходов долин.

В районах затишья и около выходов крупных долин образуются «озера холода»; здесь длительность безморозного периода сокращается на 20—25 дней (до 140 дней); опасность заморозков в период цветения повышена. На рисунке эти «озера холода» выделены ориентировочно.

В этой зоне обеспечено созревание яблок позднеспелых сортов, но зимой повышена опасность обмерзания крон и возможны ожоги деревьев.

3. Горная зона располагается на высотах от 1600 до 1900—2000 м. Для нее характерны хорошо выраженные высотные градиенты, повышенная опасность весенних и осенних заморозков, преобладание горных ветров, некоторое увеличение облачности и количества осадков. Верхняя граница скороспелых сортов яблони (типа Суйслеппер) располагается на высоте около 2000 м при неежегодном вызревании яблок. Ежегодное вызревание плодов обеспечено теплом только до высоты 1800—1850 м.

4. Высокогорная зона располагается на высотах более 2000 м. Термические ресурсы здесь невелики и не обеспечивают вызревания яблок даже самых скороспелых сортов.

Принципы микроклиматического картирования элементов климата почвы по площадям, изложенные выше, могут быть применены для картирования всех трех масштабов карт. При большем масштабе увеличивается возможная детализация карты, расширяется легенда за счет привлечения дополнительных агроклиматических характеристик.

Средне- и крупномасштабное картирование ряда климатических элементов и агроклиматических показателей для условий изрезанного рельефа возможно при использовании его морфометрических характеристик и системы таблиц поправок, отражающих пространственную изменчивость микроклимата под влиянием особенностей рельефа. Некоторые из таких таблиц даны в главе IV.

Морфометрические карты, детально отражающие характер рельефа, составляются на основе гипсометрических карт обычно в масштабе 1 : 50 000—1 : 100 000.

Наиболее распространенными морфометрическими характеристиками рельефа являются:

- 1) глубина расчленения — расстояние по вертикали между двумя денудационными уровнями, т. е. относительное превышение двух высотных уровней;
- 2) частота расчленения — расстояние по горизонтали между этими уровнями;
- 3) углы наклона местности (крутизна склонов);
- 4) экспозиция склонов.

Разработанная Е. Н. Романовой методика использования морфометрических характеристик для средне- и крупномасштабного картирования микроклимата позволяет дать детальную агроклиматическую характеристику площадей, значительно превосходящих территорию отдельного хозяйства.

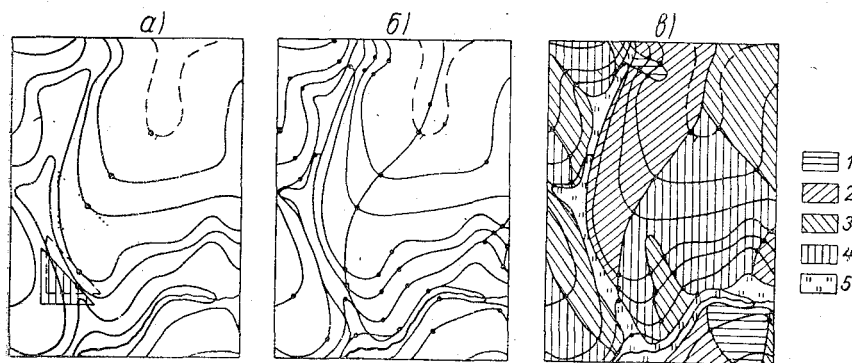


Рис. 77. Построение схемы распределения склонов по экспозициям.

а, б, в — последовательные этапы определения экспозиции: 1 — северная, 2 — восточная, 3 — западная, 4 — южная, 5 — дно долин.

Несмотря на то что методика составления карт различных морфометрических характеристик разработана в СССР, готовых таких карт в настоящее время почти нет, поэтому для микро- и агроклиматического картирования отдельных территорий их приходится составлять в качестве основы собственными силами. Для этого наиболее применима методика построения морфометрических карт, разработанная в Институте географии АН СССР. Детали этой методики в настоящем курсе мы не даем. Приведем лишь для примера определение экспозиции склонов (рис. 77).

Комплекс морфометрических показателей, необходимых для характеристики отдельных элементов климата, различен. Основными морфометрическими показателями, необходимыми для составления агроклиматических карт, являются: 1) ориентировка склонов, 2) углы наклона склонов с подразделением ровных мест на повышенные (плоские водоразделы) и пониженные; 3) карты длины склонов, необходимые для оценки длин линий стока воздуха и определения площади воздушосборов.

В настоящее время в принципе возможно составление средне-масштабных микро- и агроклиматических карт для любой территории СССР, для которой имеются детальные гипсометрические и почвенные карты и таблицы микроклиматической изменчивости картируемых показателей. Однако работа по составлению таких карт трудоемка, требует хорошего знания основных закономерностей

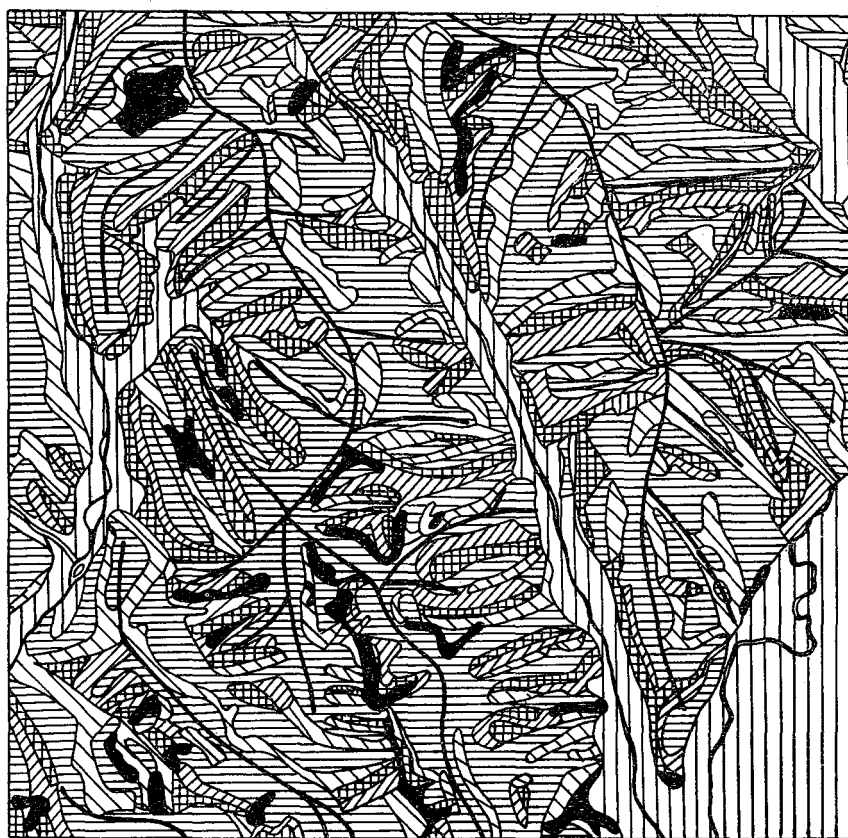


Рис. 78. Увлажнение почвы в процентах от полевой влагоемкости. Лето.

1 — линии водоразделов, 2 — 60—80, 3 — 50—60, 4 — 40—50, 5 — 30—40, 6 — 30, 7 — склоны крутизной  $>10^\circ$ .

стей изменения микро- и агроклиматических показателей под влиянием подстилающей поверхности, знакомства с местностью, для которой составляется карта. Эта работа научно-исследовательская, творческая, требующая систематического уточнения методики картирования и получения таблиц показателей.

В качестве примера агроклиматической среднемасштабной карты, составленной с использованием морфометрической основы,

приводим рис. 78. Картировался участок Среднерусской возвышенности площадью 880 км<sup>2</sup>. В разных условиях рельефа выделено пять градаций по увлажнению почвы. По карте можно подсчитать площадь, занимаемую отдельными градациями, что позволяет определить объем необходимых агротехнических мероприятий для создания оптимальных условий произрастания сельскохозяйственных культур.

Оптимальные условия увлажнения в пределах 60—80% полевой влагоемкости складываются на подножиях северных и восточных склонов; достаточное увлажнение (50—60%) отмечается на подножиях, а также в верхних частях северных и восточных склонов.

Ровные места, а также верхние и средние части северных и восточных склонов слабо засушливы, южные и западные склоны наиболее сухие (влажность почвы <40% полевой влагоемкости).

### Крупномасштабное картирование

Для того чтобы составить микроклиматическую карту хозяйства, надо иметь план расположения полей севооборота, лесов, лугов, пастбищ, вычерченный на гипсометрической основе с изогипсами через 5 или 10 м. Чем меньше разность относительных высот в пределах хозяйства, тем более частое должно быть сечение изогипс. Масштаб карты должен быть таким, чтобы на ней можно было показать микроклиматические участки площадью от 5 до 10 га (1:5 000—1:10 000). Гипсометрия на планах хозяйств обычно отсутствует, но эти данные можно найти в земельных органах и скопировать, прибегая иногда к необходимому увеличению масштаба гипсометрической карты до масштаба плана хозяйства. Сверка полученной гипсометрии с местностью нужна во всех случаях и может быть осуществлена агрономом хозяйства, знакомым с методикой составления топографической карты. Схематическая гипсометрическая карта хозяйства может быть составлена на основе глазомерной съемки местности, способы проведения которой излагаются в учебниках по топографии. Наличие на плане хозяйства контуров полей севооборота, лесов, речек значительно облегчает вычерчивание изолиний и уточняет микроклиматическую карту.

Кроме гипсометрической карты, надо иметь агропочвенную карту хозяйства, на которой составителем выделяются теплые песчаные и холодные глинистые почвы, отмечаются участки с избыточным увлажнением. Последние должны быть обязательно показаны на карте, приготовленной в качестве основы для составления микроклиматической карты. Наличие почвенной карты хозяйства обязательно в условиях выровненного рельефа и разных почв, так как в этом случае микроклиматические различия определяются особенностями термического режима разных почв.

На микроклиматической карте хозяйства могут быть выделены две-три зоны, различные по термическим ресурсам и морозоопас-

ности. В первую, относительно теплую зону входят южные, юго-восточные, юго-западные склоны с хорошим стоком холодного воздуха, расположенные выше «озер холода»; во вторую — участки всех других экспозиций, ровные места, широкие долины; в третью, относительно холодную и морозоопасную зону, — понижения рельефа, в которых происходит застой холодного воздуха, а также лесные поляны, осушенные болота.

Учитывая большое значение ветрового режима для образования как теплых, так и холодных участков, при картировании надо, по возможности, отразить и этот фактор.

Таким образом, при составлении микроклиматической карты следует в основном учитывать три элемента климата — солнечную радиацию, дневной режим ветра и распределение температуры воздуха ночью, которое в свою очередь тесно связано с условиями подтока и стока холодного воздуха, т. е. с ночным режимом ветра.

Контуры отдельных участков, для которых получены количественные характеристики (на основании инструментальных съемок), проводятся на карте с широким привлечением глазомерных оценок. При составлении крупномасштабных микроклиматических карт нельзя пользоваться методом линейной интерполяции. При построении карт небольших территорий необходимо учитывать все физико-географические закономерности, определяющие особенности распределения изучаемого элемента климата, и изображать их на карте со схематизацией в зависимости от масштаба карты. Микроклиматические съемки позволяют автору карты проверить на местности имеющиеся в его распоряжении теоретические предположения по распределению картируемого элемента и избежать ряда грубых ошибок, связанных иногда со слишком упрощенным представлением о влиянии на микроклимат данного рельефа и особенностей распределения почв и растительности.

При построении микроклиматических карт обязательно личное знакомство составителя с изучаемой территорией.

При составлении микроклиматических карт на основе данных топографической карты выделяют склоны разной экспозиции. Количественные характеристики прямой солнечной радиации и дневные температуры деятельной поверхности на открытых склонах разной экспозиции и крутизны рассчитывают на основании теоретических формул.

Вторым этапом является определение защищенности участков от господствующих ветров, а также от холодных или сухих жарких ветров, которые могут повысить морозоопасность в случае адвективного заморозка или изменить (усилить или ослабить) режим суховея. Для этого на топографическую карту наносят коэффициенты изменения скорости ветра в характерных формах рельефа, полученные на основании дневных анемометрических съемок для скоростей ветра более 3 м/сек. или взятые из таблиц. Обычно составляют четыре карты для основных направлений ветра (север, восток, юг и запад); в некоторых случаях можно ограничиться

учетом на карте только одного направления, имеющего наибольшее значение.

На карте выделяют участки с повышенными скоростями ветра на открытых наветренных склонах (при  $K > 1,0$ ) и участки с резко сниженными скоростями (при  $K < 0,6$ )<sup>1</sup>. Территория между двумя участками с крайними значениями  $K$  характеризуется нормальной ( $K = 1,0$ ) или несколько ослабленной ( $K = 0,9 \div 0,7$ ) скоростью ветра. Контуры участков определяются с учетом особенностей рельефа и распределения растительности для определенного направления ветра. В случае сомнений в правильности принятых контуров на отдельных участках рекомендуется провести две-три дополнительные анемометрические съемки с учащенной сетью точек наблюдений. Основные закономерности распределения скоростей ветра в зависимости от рельефа, наветренного и подветренного положения точек приведены в главе IV. Осредненные коэффициенты скорости ветра в конкретных условиях местности могут несколько изменяться. Цель анемометрических съемок заключается в их уточнении. Поскольку на картах изменение скорости ветра дается в виде коэффициента, характеризующего усиление или ослабление ветра по сравнению с открытым местом, увязка этих величин с наблюдениями ближайшей гидрометеорологической станции не нужна.

Оценка морозоопасности территории производится путем картирования данных наблюдений по минимальным термометрам или маршрутным съемкам с психрометрами. Для картирования выбираются средние разности температур между точками наблюдений и опорной точкой, полученные в условиях ясных тихих ночей после адвекции холода. Обычно это средние из наибольших разностей температур, полученные за весь период наблюдений. Поскольку разности температур именно такого порядка наблюдаются в ночи с адвективно-радиационными и радиационными заморозками, они лучше всего характеризуют реальную морозоопасность территории. Различия в морозоопасности территории при адвективных заморозках и пасмурной погоде с сильным ветром значительно сглаживаются, поэтому построение карт для таких погодных условий нужно только при решении ряда специальных вопросов.

Нанесенные на карту разности минимальных температур позволяют количественно оценить различия в морозоопасности отдельных участков в градусах. Конфигурация отдельных площадей определяется с учетом рельефа и растительности, направления стока и застоя холодного воздуха. Особое внимание уделяется конфигурации и глубине «озер холода», которые уточняются по распределению инея и повреждениям растений заморозками. В местах, наиболее трудных для картирования, полезно провести

<sup>1</sup> Под коэффициентом изменения скорости ветра  $K$  понимают отношение скорости ветра в данной форме рельефа к скорости ветра, измеренной на ровном месте.

контрольные наблюдения за распределением минимальной температуры с учащенной сетью точек. Составителю карты рекомендуется несколько раз пройти по территории вечером после захода солнца и утром перед восходом в тихую ясную погоду. Такие визуальные наблюдения по теплоощущению значительно помогут при составлении карты.

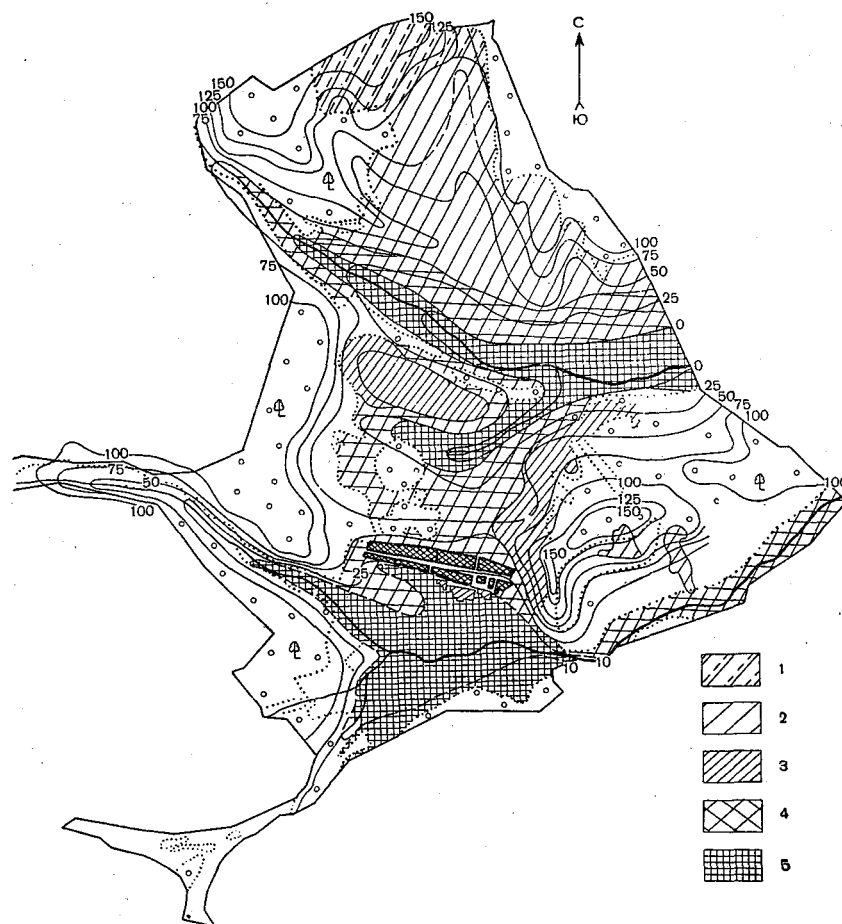


Рис. 79. Микроклиматическая карта колхоза Читинской области.

Для того чтобы получить количественные характеристики отдельных элементов климата по морозоопасности, необходимо увязать их с данными гидрометеорологической станции. Многолетние характеристики средней длительности безморозного периода этой станции принимаются за основу для той части территории хозяйства, которая находится в сходных условиях по местоположению с гидрометеорологической станцией и примерно на одной высоте

с ней над уровнем моря (допустима разность высот до 100—120 м).

Микроклиматическая карта хозяйства получается путем наложения отдельных картированных характеристик микроклимата друг на друга.

Более подробно методика составления микроклиматических карт изложена в специальных методических пособиях, изданных Главной геофизической обсерваторией. Пример такой карты дан на рис. 79. Пояснения к ней приводятся в табл. 45.

Таблица 45

**Микроклиматическая карта колхоза Читинской области  
(расчетная количественная оценка)**

Качественная глазомерная оценка участков	Условные обозначения на рис. 79	Превышение температуры воздуха в тихие малооблачные (град.)		Влажность почвы (%)	Длительность безморозного периода (дни)	Сумма температур выше 10° (град.)
		дни	ночи			
Днем умеренно теплые, ночью теплые, самые высокие и сухие	1	0	3—5	30—40	Более 90	1500
Самые теплые (днем и ночью), относительно сухие	2	2	3—5	40—50	Более 90	1600
Теплые, достаточно увлажненные	3	1	3—4	60—70	Около 90	1550
Теплые днем с пониженной температурой ночью, хорошо увлажненные	4	1	1—2	70—80	90	1450
Морозобойные, избыточно увлажненные	5	0	0—1	100	Менее 70	1400

**Примечание.** Превышение температуры воздуха в тихие малооблачные дни и ночи на уровне травостоя рассчитывается по сравнению с дном долины (ее температура принята за нуль). Влажность почвы дана в процентах от влагосодержания почвы на дне долины для слоя 0—50 см. Почвы суглинистые, щебенистые черноземы, в верхней части склонов и на дне долины сильно щебенистые. Повышение температуры и влажность почвы даны по экспедиционным наблюдениям. Средняя длительность безморозного периода и сумма температур выше 10° приводятся в виде средних многолетних величин в соответствии с данными агроклиматических справочников.



## Глава VII

### АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ СССР И МИРА

---

Сельскохозяйственное производство постоянно сталкивается с необходимостью сельскохозяйственной оценки территории.

Например, при планировании площадей посевов, продвижении культур на север и подборе сортов, применении новой агротехники и т. д. нужно научное обоснование этих мероприятий с учетом климатических особенностей.

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.

В трудах Г. Т. Селянинова, П. И. Колоскова, Ф. Ф. Давитая, С. А. Сапожниковой, И. А. Гольцберг, Д. И. Шашко, В. П. Попова, Л. Н. Бабушкина и др. разработана методика общего и специального агроклиматического районирования.

Общее агроклиматическое районирование дает возможность оценить в целом агроклиматические ресурсы территории для сельского хозяйства. Специальное районирование выполняется применительно к небольшим территориям, 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.

В качестве основного показателя теплообеспеченности при районировании культур принята сумма температур выше  $10^{\circ}$ , характеризующая период активной вегетации большинства растений. Выделение крупных агроклиматических единиц — термических поясов — проводится по суммам температур. Границы поясов и их названия увязываются с природными зонами.

Каждый термический пояс делится на термические подпояса обычно с интервалом сумм температур для равнинной территории через 200° и для гор через 400° (например, для равнин 2000, 2200, 2400° и т. д., для гор соответственно 2000, 2400° 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 разными учеными показателей, методы расчета которых были изложены в главе III, наиболее широко применяются гидротермический коэффициент Селянинова, показатели увлажнения Колоскова, Шашко, Сапожниковой.

Для оценки условий перезимовки и выделения районов с различной степенью благополучия перезимовки озимых и древесной растительности обычно используют средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха и почвы на глубине узла кущения для озимых и на глубине 20—40 см для винограда и плодовых культур. На основе распределения этих трех показателей строят комплексную карту агроклиматического районирования, на которой 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.

#### **§ 1. ОБЩЕЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ СССР**

Карта общего агроклиматического районирования территории СССР впервые была опубликована Г. Т. Селяниновым в 1933 г., после того, как им были определены и обоснованы агроклиматические показатели для сельскохозяйственной оценки климата. При составлении этой первой агроклиматической карты Селянинов основное внимание обратил на изучение пространственной изменчивости каждого из трех основных показателей районирования. Ведущей на этой карте явилась оценка условий теплообеспеченности территории по суммам температур выше 10°, на основе которой было выделено четыре термических пояса — арктический, полярный, умеренный и субтропический — с разделением их на подпояса, различающиеся по сумме температур на 400°. Оценка влагообеспеченности производилась по среднему значению ГТК за период июнь—август. В легенде к карте давался перечень сельскохозяйственных культур, обеспеченных теплом в каждой из термических зон и подзон, начиная с самой холодной. При этом подразумевалось, что во всех более теплых зонах вызревание культур более холодной зоны обеспечено полностью.

Название зон и подзон давалось по преобладающей культуре (например, льняно-картофельная подзона со злаками, зерновая зона) или по особенностям возделывания сельскохозяйственных культур (подзона сухого земледелия, хлопковая неполивная подзона, зона ирригации и т. д.).

Несколько позднее этим вопросом стали заниматься П. И. Колосков, С. А. Сапожникова и Д. И. Шашко. Они дали свои варианты агроклиматического районирования СССР. В табл. 46 приводятся агроклиматические показатели, использованные разными авторами. Варианты районирования несколько различаются примененными показателями, степенью детализации карт, определением границ поясов, районов и т. п.

На картах, составленных перечисленными авторами, на территории СССР выделено четыре термических пояса: арктический, полярный, умеренный и субтропический. Приводим краткое агроклиматическое описание этих поясов.

1. Арктический. Земледелие осуществляется лишь в закрытом грунте. Средняя температура воздуха самого теплого месяца ниже  $10^{\circ}$ . Развито оленеводство и охота.

2. Полярный. Развито очаговое земледелие. Средняя температура воздуха самого теплого месяца ниже  $15^{\circ}$ , сумма активных температур более  $10^{\circ}$  на южной границе пояса 1000—1200°. Вегетационный период менее 100 дней. Круглосуточный день в июне способствует ускоренному развитию растений. В открытом грунте произрастают нетребовательные к теплу и скороспелые культурные растения: листовые овощи, корнеплоды, капуста, ранний картофель. В закрытом грунте культивируют теплолюбивые овощи (огурцы, помидоры и др.). Повсеместно развито оленеводство и охота.

3. Умеренный. Занимает большую часть территории СССР. Основная часть производительного сельского хозяйства находится в этом и в субтропическом поясе. Суммы активных температур от северной границы пояса до южной изменяются примерно в четыре раза: от 1000—1200 до 4000—5000°. В июне на северной границе день длится 20 часов, на южной — 15 часов. В этом поясе хорошо выражены четыре времени года. Сельское хозяйство представлено большим ассортиментом яровых и озимых культур, корнеплодов, овощей. В южной половине территории культивируют бахчевые, плодовые и виноград. Развито животноводство мясо-молочного направления, требующее значительной заготовки кормов на зиму.

4. Субтропический. Характеризуется лишь двумя временами года — теплым и холодным; продолжительность дня в июне менее 15 часов, в декабре — около 9 часов. Сумма активных температур больше  $10^{\circ}$  3500—4000° 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 делятся на широтные и высотные зоны по сумме температур через 200—400°. По режиму увлажнения термические пояса подразделяются на области, различающиеся по годовому ходу обеспеченности влагой культурных растений, характеру осадков, повторяемости и времени наступления бездождных

Агроклиматические показатели, принятые для районирования территории СССР  
разными авторами

Оценка	Г. Т. Селянинов	П. И. Колосков	С. А. Сапожникова	Д. И. Шашко
Ресурсы тепла	$\Sigma t > 10^\circ$	$\Sigma t > 0^\circ$	$\Sigma t > 10^\circ$	$\Sigma t > 10^\circ$
Ресурсы влаги	$\text{ГТК}_{(VI-VIII)} = \frac{\Sigma r}{0,1 \Sigma t} > 10^\circ$	$K_{\text{год}} = \frac{H}{\Sigma (E - e)}$	$\text{ГТК} = \frac{\Sigma r}{0,1 \Sigma t} > 10^\circ$	$Md_{\text{год}} = \frac{P}{\Sigma (E - e)}$
Условия перезимовки	Средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха	$\Sigma t < 0^\circ$	Средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха и почвы на глубине узла ку-щения (3 см) и 25 см	Средняя температура самого холодного месяца. Средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха и почвы на глубине узла ку-щения (3 см) и 25 см

периодов (засух), весенним запасам влаги в почве, интенсивности стока и испарения.

Работы Колоскова по агроклиматическому районированию СССР следует отметить особо. В отличие от Селянинова, Сапожниковой и Шашко, Колосков использовал для оценки теплообеспеченности вегетационного периода суммы температур выше  $0^{\circ}$ , для оценки суровости зимы — суммы температур ниже  $0^{\circ}$  и высоту снежного покрова в третьей декаде февраля. Влагообеспеченность Колосков оценивал по особому показателю увлажнения (см. главу III), рассчитанному в среднем за год. Каждый из показателей он обозначал определенным шифром, что позволило ему характеризовать агроклиматические особенности любого района особым индексом.

На основе климатического районирования Колосков дал комплексную оценку не только обеспеченности произрастания сельскохозяйственных культур в разных частях территории, но и определил, что особенно важно, основную специфику сельского хозяйства региона.

Агроклиматическое районирование территории СССР, произведенное Сапожниковой, впервые содержит оценку потенциальной продуктивности климатов умеренного пояса для зернового хозяйства. Автор выделила агроклиматические пояса и подпояса по термическому принципу (суммам активных температур более  $10^{\circ}$ ), зоны и подзоны увлажнения — по гидротермическому коэффициенту Селянинова, а области и подобласти — по условиям перезимовки (по среднему из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха и почвы).

Установленная Сапожниковой зависимость урожайности зерновых культур от климатических условий позволила ей дать балловую оценку продуктивности (бонитета) климата, которая представлена в табл. 47. Из этих данных следует, что возможная продуктивность климата возрастает от умеренно теплого к теплому и жаркому подпоясам.

Наиболее полное и детальное агроклиматическое районирование территории СССР в настоящее время представлено цветной

Таблица 47

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

настенной картой С. А. Сапожниковой и Д. И. Шашко, изданной под редакцией Ф. Ф. Давитая в 1972 г.

Д. И. Шашко уделил особое внимание бонитировке и экономической оценке климатических условий, а также определению мировых агроклиматических аналогов.

О сущности и принципах бонитировки климата сказано в главе II. Поэтому здесь рассмотрим лишь вопросы бонитета климата применительно к агроклиматическому районированию территории.

Развивая предложенную Сапожниковой в 1961 г. методику оценки бонитета климата, Шашко дает показатели его по тепловым поясам в форме биоклиматического потенциала и в баллах, которые изменяются в следующих пределах:

Пояс	Биоклиматический потенциал (от — до)	Баллы (от — до)
Холодный	0,3—1,2	23—84
Умеренный	0,8—4,0	55—284
Теплый	3,1—8,0	208—568
Жаркий	6,3—10,0	416—710

Биоклиматический потенциал (БКП) рассчитывается по формуле

$$\text{БКП} = KP \frac{\sum t^{\circ}}{1000},$$

где  $\sum t^{\circ}$  — сумма температур выше  $10^{\circ}$ ,  $KP$  — коэффициент биологической продуктивности (расчетный), характеризующий урожай зерновых на  $100^{\circ}$  суммы температур и определяемый по формуле

$$KP = 1,15 \lg (20Md) - 0,21 + 0,63Md + Md^2,$$

где  $Md$  — показатель годового атмосферного увлажнения по Шашко.

Продуктивность (в баллах) рассчитывается из условия, что 100 баллов равны урожаю 20 ц/га на уровне агротехники госсортоучастков.

Если приведенные выше характеристики продуктивности перевести в урожай, то получаются следующие величины:

Пояс	Урожай (ц/га) (от — до)
Холодный	4,6—16,8
Умеренный	11,1—56,9
Теплый	41,7—113,8
Жаркий	86—140

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

Холодный пояс наименее продуктивен. Это определяется его небольшими термическими ресурсами. Все условия, направленные здесь на улучшение термического режима приземного слоя воздуха

Таблица 48

Обеспеченность теплом созревания или достижения хозяйственно ценных фаз развития растений в 90% от общего числа лет

Показатель ресурсов тепла (сумма температур за период выше 10°) <sup>1</sup>		Культуры
Европейская территория, Западная Сибирь	Восточная Сибирь и Дальний Восток	
<400	<400	Овощные культуры в защищенном грунте
400	400	Редис, салат, шпинат, лук на перо
800	700	Репа, турнепс, капуста (р), картофель (р) при специальной агротехнике
1000	800 <sup>2</sup>	Ячмень (р), озимая рожь (р) на более теп- лых участках
1200	1000	Ячмень (р), горох (р), лен на волокно (р)
1400	1200	Овес (р), ячмень (с)
1600	1400	Яровая пшеница (р), озимая пшеница, ку- куруза (с) в фазе выметывания
1800	1600	Ячмень (п), овес (п), кукуруза (п) на си- лос в фазе выметывания, просо (р)
2000	1800	Яровая пшеница (п), подсолнечник (р) на зерно
2200	2000	Кукуруза на зерно (р), сахарная свекла (р), фасоль (р), просо (п)
2400	2200	Кукуруза (с) в фазе молочно-восковой спе- лости, рис (р), соя (р), виноград (п) <sup>3</sup>
2600	2400	Абрикос (р) <sup>3</sup> , фасоль (п), подсолнечник (п) на зерно
2800	2600	Кукуруза на зерно (с), кукуруза (п) в фа- зе молочно-восковой спелости, сорго (р)
3000	—	Кукуруза на зерно (с, п), виноград (с) <sup>3</sup>
3200	—	Кукуруза на зерно (п), грецкий орех <sup>3</sup> , каш- тан <sup>3</sup>
3400	—	Соя (п), арахис (р), сорго (п), инжир <sup>3</sup> , гранат <sup>3</sup> , хурма <sup>3</sup>
3600	—	Хлопчатник (р), лимон <sup>3</sup> , мандарин <sup>3</sup>
4000	—	Хлопчатник (с), рис (п), виноград (п) <sup>3</sup>
4400	—	Маслины <sup>3</sup> , апельсин <sup>3</sup>
4800	—	Хлопчатник (п), джут

<sup>1</sup> Каждая последующая сумма температур обеспечивает созревание всех ука-  
занных выше культур.

<sup>2</sup> К востоку от Лены.

<sup>3</sup> Граница возделывания определяется условиями зимы (см. характеристику  
зимы в табл. 50).

Условные обозначения: р — ранние, с — средние, п — поздние.

Обеспеченность

Группы зон увлажнения	Зоны увлажнения	Соответствующие природные зоны в местах с хорошо выраженной широтной зональностью		
			$\frac{P}{E_0}$	
<b>В л а ж н ы е</b>				
Осадки превышают испаряемость (возможное испарение)	Избыточно влажная	Тайга, преимущественно на глеево-подзолистых и подзолистых почвах	$>1,33$	
Возможно снижение урожая из-за избытка влаги, особенно на немелиорируемых землях. Резкое снижение урожая из-за недостатка влаги маловероятно	Влажная	Тайга и лиственные леса на подзолистых почвах	$1,33-1,00$	
<b>З а с у ш л и в ы е</b>				
Осадки меньше испаряемости. Ведущие мероприятия направлены на пополнение, сбережение и экономное расходование влаги	Слабо засушливая	Лесостепь	$1,00-0,77$	
	Засушливая	Типичная степь на обыкновенных черноземах	$0,77-0,55$	
Колебания урожая по годам в основном связаны с изменением увлажнения	Очень засушливая	Степь на южных черноземах и темно-каштановых почвах	$0,55-0,33$	
<b>С у х и е</b>				
Испаряемость значительно превышает осадки	Сухая	Полупустыня на светло-каштановых почвах	$0,33-0,22$	
Земледелие возможно только при искусственном орошении и за счет стока местных вод (лиманное орошение, пединное земледелие и др.)	Очень сухая	Пустыня на бурых почвах	$<0,22$	

Примечание.  $\frac{P}{E_0}$  — отношение осадков к испаряемости (год);  $\frac{E_0}{P}$  — отцита влажности воздуха в миллибарах (год);  $\frac{P \cdot 10}{\Sigma t}$  — отношение осадков к сумме для восточных районов с муссонным климатом; точка (•) означает вероятность,



Таблица 49

растений влагой

Показатели увлажнения			Вероятность различно увлажненных лет (%)					
$\frac{E_0}{P}$	$\frac{P}{\Sigma d}$	$\frac{P \cdot 10}{\Sigma t}$ (ГТК)	сухих	очень засушливых	засушливых	слабо засушливых	влажных	избыточно влажных
<0,75	>0,60	>1,6	0	0	5	10	25	60
0,75—1,00	0,60—0,45	1,6—1,3	0	5	10	25	30	30
1,00—0,28	0,45—0,35	1,3(1,6)— 1,0(1,3)	0	15	25	30	20	10
1,28—1,80	0,35—0,25	1,0(1,3)— 0,7(1,0)	10	25	35	20	5	•
1,80—3,00	0,25—0,15	0,7—0,4	35	45	15	5	•	0
3,00—4,5	0,15—0,10	<0,4	75	20	•	0	0	0
>4,5	<0,10		100	•	0	0	0	0

ношение испаряемости к осадкам (год);  $\frac{P}{\Sigma d}$  — отношение осадков к сумме дефицитов температур за теплый период (июль—август), увеличенное в 10 раз (в скобках менее 5%).

Характери			
Зима	По температуре		
	СССР (без Дальнего Востока)		Дальний Восток
	средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха (град.)	вероятность зим с температу- рой ниже —30° (‰)	средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха
Очень мягкая	$> -10$	0	—
Мягкая	—10, —20	0	—
Умеренно мягкая	—20, —25	0—10	—
Умеренно холодная	—25, —30	10—50	—
Холодная	—30, —35	50—70	$> -25$
Очень холодная	—35, —40	70—100	—25, —30
Суровая	—40, —45	100	—30, —40
Очень суровая	$< -45$	100	$< -40$

<sup>1</sup> Критические температуры на глубине узла кущения (3 см) для озимых и

Таблица 50

стика зимы

воздуха		По температуре почвы		
возможность перезимовки отдельных культур	применительно к перезимовке озимых культур и многолетних трав <sup>1</sup>	на глубине узла кущения		
		средний из абсолют- ных годовых минимумов (град.)	вероятность (%) температур в отдельные зимы ниже	
			—16°	—20°
Субтропические куль- туры	Благоприятные ус- ловия			
Грецкий орех, персик, в наиболее благоприят- ных районах зимовка винограда без укрытия	Повреждения воз- можны только в отдельные зимы	> —12	< 20	5 >
Абрикос, южные сорта яблонь и груш, холо- достойкие сорта пер- сика	Повреждение воз- можно в ряде зим	—12, —16	20—50	5—20
Среднехолодостойкие сорта яблонь, груш и сливы, холодостойкие сорта абрикосов				
Среднерусские и мичу- ринские сорта яблонь, груш и абрикосов более холодостойких сортов	Неблагоприятные условия: вино- град требует особого укрытия	< —16	> 50	> 20
Холодостойкие сорта яб- лонь, вишен, слив				
Яблони «ранетки» и «полукультурки», бо- лее холодостойкие сорта вишен и слив, стелющиеся и прика- пываемые на зиму формы яблонь и груш				
Наиболее холодостойкие формы тех же культур с применением специ- альной агротехники				

многолетних трав порядка —16, —20°.

и почвы, приведут к увеличению продуктивности растений. Такой же эффект создает искусственное орошение в климатах недостаточного увлажнения умеренного, теплого и жаркого поясов.

По данным Шашко, все климаты СССР «укладываются» в три тепловых агроклиматических пояса, которые подразделены на подпояса. Границы поясов и подпоясов проведены им по определенным значениям сумм активных температур выше 10°.

Далее выделены области по годовому показателю увлажнения (осадки за год, отнесенные к годовой величине испаряемости), которые разделены на подобласти по соотношению осадков теплого (апрель—сентябрь) и холодного (октябрь—март) полугодий. Следующая 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.).

По комплексу климатических условий, от которых зависят виды и породы произрастающих растений, зоны разделены на провинции. На территории СССР всего выделено 67 провинций. Далее, при более дробном делении, провинции расчленяются на секторы, а последние на округа и районы, что позволяет в принципе переходить от макроклиматического к мезоклиматическому районированию.

В итоге схематизированный вариант карты Шашко был выполнен в виде настенной учебной агроклиматической карты СССР, в масштабе 1 : 4 000 000.

В настоящем издании нет возможности показать рассмотренные выше карты. Приведем лишь таблицы климатических ресурсов СССР Сапожниковой и Шашко из «Атласа сельского хозяйства СССР», которые дают достаточно полное представление о содержании этой карты и принципах ее составления (табл. 48, 49, 50).

## § 2. СПЕЦИАЛЬНОЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ

Специальное агроклиматическое районирование разрабатывается для решения конкретных производственных задач и обычно касается либо отдельных относительно небольших территорий, либо определенных культур.

Впервые специальное агроклиматическое районирование было произведено под руководством Г. Т. Селянинова 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 изучение пространственной изменчивости и распределения этих показателей по территории завершились составлением карты этой зоны, фрагмент которой приведен на рис. 80. 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 хоро-

шей 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 зимовки. Поэтому границы отдельных зон и подзон определялись по средним абсолютным годовым минимумам температуры воздуха, территориальное распределение которых

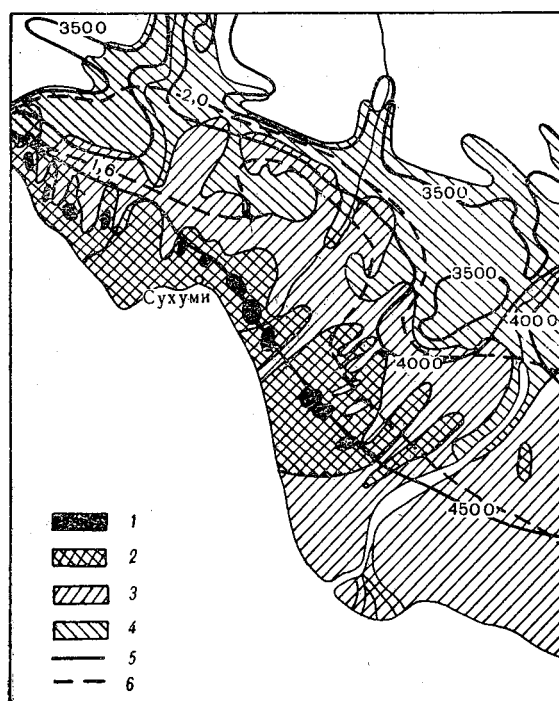


Рис. 80. Фрагмент карты агроклиматического районирования зон субтропиков Западного Закавказья.

Зона цитрусов, а также тунга, австралийской акации, эвкалиптов: 1 — подзона лимона и апельсина, 2 — подзона мандарина и тунга; 3 — зона лавра; 4 — зона хурмы и пробкового дуба; 5 — сумма температур выше 10°; 6 — средний ГТК за июнь, июль, август.

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 температур выше 10°, влагообеспеченность — по ГТК. Кроме того, на карте указаны границы распространения восточного сухого ветра, дующего по долине р. Риони и ограничивающего возможности возделывания культуры чая. Основное внимание при районировании уделено выделению участков, благоприятных для культуры цитрусовых (лимонов, апельсинов и

мандаринов). Карта является первым примером детального агро- и микроклиматического районирования территории со сложным рельефом. Отдельные участки отводятся под определенный набор культур, указанный в легенде к ней.

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.

В 1948 г. Ф. Ф. Давитая составил среднемасштабную (1:200 000) агроклиматическую карту специализации виноделия в Крыму. Она получила хорошее подтверждение при районировании виноградных насаждений для производства шампанских вин, материалов, столовых вин и материалов для крепких и десертных вин различных кондиций. В качестве основных агроклиматических показателей были использованы сумма температур выше 10° (за вегетационный период), средняя температура воздуха, сумма атмосферных осадков и ГТК за период созревания винограда.

В 1968 г. была опубликована карта детального агроклиматического районирования юга Восточной Сибири (Иркутской и Читинской областей), составленная В. М. Картушиным в масштабе 1:2 500 000. Эта карта была создана в связи с необходимостью научного обоснования размещения сельскохозяйственных культур на этой быстро осваиваемой территории с достаточно суровым климатом, лимитирующим развитие сельскохозяйственного производства. В основу районирования Картушин положил довольно большой комплекс показателей: сумму температур выше 10°, длительность безморозного периода, оценку увлажнения вегетационного периода по месяцам, высоту снежного покрова, средние из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха и ряд других. Автор учел континентальность климата и изменение ее в разных условиях рельефа, что до настоящего времени не делалось. Это дало возможность существенно уточнить размещение культур. Было выделено большое число районов, определенных по агроклиматическим показателям и тесно увязанных с общим физико-географическим и сельскохозяйственным районированием этой территории, отличающейся сложным рельефом. На карте выделены термические зоны и области, в которых необходимы разные приемы мелиорации, — от избыточно увлажненных, где необходим сброс влаги, до требующих поливов, особенно весной и ранним летом.

К специальному агроклиматическому районированию относится также районирование отдельных областей СССР, которое более подробно изложено в § 3 этой главы.

Агроклиматическое районирование отдельной культуры впервые было произведено Ф. Ф. Давитая в 1938 г. для винограда. К его монографии (переизданной в 1948 г.)<sup>1</sup> приложена карта гра-

<sup>1</sup> Ф. Ф. Давитая. Климатические зоны винограда в СССР. М., Пищепромиздат, 1948.

ниц возможного по теплообеспеченности распространения сортов винограда трех групп по скороспелости — ранних, средних и поздних для СССР и Европы, а также даны вероятностные характеристики их вызревания в разных частях этой большой территории.

Условия зимовки оценены по среднему из годовых минимумов температуры воздуха и почвы на глубине 20 см. Показаны границы культуры винограда с укрытием на зиму и без него.

Следующей крупной работой этого плана является агроклиматическое районирование кукурузы, произведенное С. А. Сапожниковой, М. И. Мель и В. А. Смирновой в период усиленного продвижения этой культуры на север. На карте, составленной этими авторами, выделены семь зон по теплообеспеченности территории СССР применительно к культуре кукурузы, определена вероятность возможного достижения разных фаз развития этой культуры по зонам, предусмотрена возможность пожнивных посевов кукурузы на юге страны. Эта карта убедительно показала нецелесообразность посевов кукурузы севернее широты 57—58°, так как в этих районах обеспечена теплом лишь фаза выметывания метелки для среднеспелых и ранних сортов, а хозяйственная спелость ранних сортов может быть получена только в один-два особо теплых года из 10 (преимущественно на небольших теплых участках). Практика посевов в основном подтвердила правильность этого агроклиматического прогноза.

В 1969 г. Ю. И. Чирков также дал карту агроклиматического районирования разных сортов кукурузы. Автор использовал для оценки теплообеспеченности разных фаз развития кукурузы суммы эффективных температур выше 10° 80%-ной обеспеченности, что позволило ему уточнить карту С. А. Сапожниковой. Он указывает, что для северных районов карта Сапожниковой и других дает несколько завышенную оценку теплообеспеченности; для южной части территории оценки обеих карт близки. Причиной таких расхождений является различие в соотношении активных и эффективных температур на разных широтах.

В конце 50-х — начале 60-х годов появился ряд работ по агроклиматическому районированию отдельных сельскохозяйственных культур, авторы которых определяют не только климатические границы распространения культуры с учетом различной вероятности ее вызревания, но и рассчитывают на основе зависимости урожайности культуры от тепло- и влагообеспеченности возможную по климатическим ресурсам продуктивность сельскохозяйственных культур. К этому довольно многочисленному циклу работ прежде всего относятся исследования П. И. Колоскова по агроклиматическому районированию сельскохозяйственных культур на территории Казахстана, а также В. А. Смирновой, которая рассчитала возможную продуктивность масличного льна и дала агроклиматическое районирование этой культуры для СССР. Аналогичная работа по культуре картофеля выполнена А. Т. Никифоровой, по сахарной свекле — Л. С. Кельчевской. В каждой из этих работ устанавливаются связи продуктивности культуры с рядом агрокли-

матических показателей, на основании которых выделяются районы различной потенциальной по климатическим ресурсам урожайности. Обычно даются также вероятностные характеристики вызревания и урожайности культуры. Более детально вопросы агроклиматического районирования ряда конкретных культур (пшеницы, винограда, картофеля, кукурузы и др.) изложены в главе VIII.

### **§ 3. АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ОБЛАСТИ И ТЕРРИТОРИИ ОТДЕЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА (КОЛХОЗА И СОВХОЗА)**

Для обеспечения работников сельского хозяйства нужными агроклиматическими сведениями Гидрометеорологическая служба нашей страны начиная с 1955 г. проводит большую работу по составлению областных агроклиматических справочников. Для составления этих справочников разработаны методические указания, в которых даны макеты справочников и изложены способы их составления. В первом издании справочников все сведения в таблицах приведены для отдельных станций без обобщения их по площади отдельных агроклиматических районов. В издаваемых с конца 60-х годов новых областных агроклиматических справочниках все основные показатели и характеристики климатических элементов, а также фенологические данные приводятся в виде величин, осредненных по территории агроклиматических районов, с указанием их значений на границах этих районов.

Для составления второго издания справочников группой авторов под редакцией В. В. Синельщикова были изданы в 1967 г. новые «Методические указания» о порядке подготовки и обработке материалов, картирования и анализа их. Поскольку содержание и методика агроклиматического районирования области идентичны содержанию и методике составления новых агроклиматических справочников, рассмотрим последние более подробно.

Новые областные агроклиматические справочники содержат три основных раздела. В первом разделе — «Агроклиматические ресурсы территории» — даны общие физико-географические и климатические особенности территории, ее агроклиматическое районирование, приведена оценка тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода и условий зимовки.

Во втором разделе приводятся агроклиматические условия полевых работ, в третьем — агроклиматические условия произрастания сельскохозяйственных культур, характерных для области.

Для получения данных, осредненных по площадям, обычно составляются карты всех показателей, с которых снимаются их величины на границах отдельных агроклиматических районов. Построение карт по каждому элементу представляет одну из трудных задач агроклиматического районирования области. От точности и правильности таких карт зависит качество агроклиматических и климатических характеристик, а следовательно, и степень полезности произведенного районирования.



Агроклиматическое районирование территории области в новых справочниках дается по тепло- и влагообеспеченности на основе оценки их по суммам температур воздуха выше  $10^{\circ}$  и среднему значению ГТК за вегетационный период, т. е. с применением методики, принятой для агроклиматического районирования больших территорий с различными макроклиматическими условиями. Однако в пределах отдельных административных областей, обычно небольших по площади и находящихся в одинаковых макроклиматических условиях, такая методика позволяет только условно разделить область на два-три агроклиматических района. Они мало различаются по своим показателям и вследствие этого недостаточно полно отражают действительное разнообразие условий, определяющих урожайность сельскохозяйственных культур в разных частях области в результате различий в почвах, рельефе, лесистости, обилии болот и водоемов и других особенностей подстилающей поверхности. Поэтому для уточнения агроклиматического районирования территории административных областей применительно к таким сложным условиям был предложен дополнительный учет климата почв ровных территорий с различным механическим составом почв и учет особенностей рельефа в холмистой местности.

Учет влияния на агроклиматические условия «теплых» и «холодных» почв возможен при наличии почвенной карты, на которой в пределах области могут быть выделены территории с преобладанием легких почв (пески, супеси, легкие суглинки), средних по механическому составу (суглинистых) и тяжелых, переувлажненных почв (тяжелые суглинки, оглеенные и торфяные почвы, осушенные торфяники). Эти почвы существенно отличаются как по термическому режиму, так и по их влажности, что ведет к большим различиям в сроках сева на близких расстояниях и часто требует дифференциации агротехники и удобрений даже на соседних полях.

На рис. 81 приведен пример агроклиматического районирования Вологодской области.

Выделив на почвенной карте Вологодской области, приведенной в Агроклиматическом справочнике, территории по преобладающему механическому составу почвы и наличию торфяных и торфянисто-подзолисто-глеевых почв, получаем в ее пределах четыре района, довольно значительно различающихся по термическим ресурсам почвы за вегетационный период (при разности сумм температур воздуха всего лишь  $120-150^{\circ}$ ). Напомним, что учет термических ресурсов для районирования области, в посевах которой преобладают однолетние культуры, является ведущим.

Юго-западная, сильно заболоченная часть области отличается большой пестротой почвенного состава и резкой сменой торфяников и песков на малых расстояниях. На карте в рабочем масштабе  $1:2\,500\,000$  эти особенности отразить нельзя, и поэтому приходится только отметить наличие их и возможную амплитуду изменений в суммах температур почвы на соседних участках (табл. 51, рис. 81).

В восточной части области залегает большой массив наиболее теплых песчаных и супесчаных почв, для которых сумма температур превышает  $1900^{\circ}$ . Лишь на небольших возвышенностях этой части области залегают суглинки, что вместе

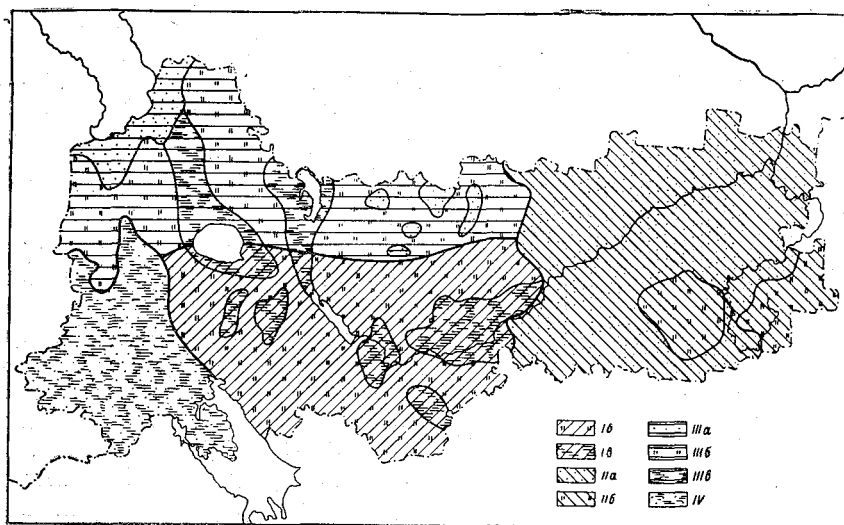


Рис. 81. Агроклиматическое районирование Вологодской области.

I — центральный, II — восточный, III — северо-западный, IV — юго-западный районы области. Подрайоны выделены по механическому составу почвы: а — пески, супеси, легкие суглинки, б — суглинки, в — оглеенные минеральные, глинистые и торфяно-болотные почвы.

Таблица 51

Характеристика агроклиматических районов Вологодской области

Номер района на карте (рис. 81)	Район	Сумма температур		Дата установления мягко-пластичного состояния почвы
		воздуха выше 10°	почвы за VI—IX (0,1 м)	
I	Центральный, умеренно теплый б) с суглинками в) с оглеенными минеральными торфяно-болотными почвами	1700		
			1900	1—5 V
			1600	10—15 V
II	Восточный, умеренно теплый а) с песчаными почвами б) с суглинками на возвышенностях	1600		
			1900	1—5 V
			1800	5—10 V
III	Северо-западный, прохладный а) с песчаными почвами б) с суглинками в) с оглеенными минеральными торфяно-болотными почвами	1600		
			1800	1—5 V
			1700	5—10 V
			1500	10—15 V
IV	Юго-западный, сильно заболоченный с резкой сменой теплых и холодных почв	1700	от 1500 до 2000	25 IV—15 V

с некоторым уменьшением термических ресурсов под влиянием высоты вызывает необходимость выделения их в виде подрайона.

Северо-западная часть области отличается также большой пестротой почвенного покрова. Но отдельные разности его занимают довольно большие площади, что позволяет выделить ряд подрайонов.

В Вологодской области нет ни одной станции, отражающей термический режим широко распространенных торфянистых и тяжелосуглинистых почв. Суммы температур для почв этого типа рассчитывались по данным Ленинградской области.

Следует подчеркнуть необходимость тщательного анализа данных отдельных станций при типизации их по почвенным разностям. Часто бывает, что данные отдельной станции по температуре почвы более характерны для соседнего района, чем для ее непосредственного окружения. Это объясняется большой пестротой почвы на близких расстояниях и особенностями выбора площадок метеорологических станций, при котором типичность почвы обычно во внимание не принималась.

Трудности в составлении карт по климату почвы, связанные с недостатком наблюдений за температурой и влажностью почвы, с малым количеством станций, проводящих эти наблюдения, а иногда и с отсутствием достаточно детальных почвенных карт ограничивают возможности применения указанной методики. Поэтому она использовалась только для ограниченного числа новых областных агроклиматических справочников.

Для условий изрезанного рельефа агроклиматическое районирование области уточняется с помощью карт показателей, составленных с учетом морфометрии района, методика составления и примеры которых приведены в главе VI.

Отдельные крупные хозяйства для научного ведения производства нуждаются в детальной агроклиматической характеристике своей территории. Для этого была разработана методика, по которой агроклиматическая характеристика хозяйства составляется по данным ближайших гидрометстанций с использованием наблюдений агрометпоста (если он есть в хозяйстве), микроклиматических съемок (если их можно провести) и крупномасштабной карты хозяйства.

Агроклиматическая характеристика отдельного хозяйства должна состоять из следующих разделов:

- 1) краткой текстовой части, содержащей описание расположения угодий колхоза в связи с рельефом местности и сведения о почвах; здесь же надо дать описание сезонов года в районе и сельскохозяйственных работ в рассматриваемом хозяйстве;
- 2) описания микроклиматических особенностей агроклиматических ресурсов хозяйства на основе крупномасштабной карты территории хозяйства;
- 3) небольшого справочного табличного материала, рассчитанного для территории хозяйства.

В текстовой части указываются средние значения агрометеорологических элементов и возможные их изменения в пределах 20 и 80 %-ной обеспеченности, а также крайние значения элементов.

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, количестве осадков, об 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 и условий вымерзания и выпревания; фенологические материалы по основным культурам и средние сроки сельскохозяйственных работ.

При составлении агроклиматической характеристики особое внимание уделяется элементам, создающим неблагоприятные условия для сельского хозяйства. Например, в северных районах особо учитывается недостаток тепла и избыток влаги, а в южных — засушливость, возможность возникновения пыльных бурь и т. п.

Для оценки агроклиматических особенностей территории составляется крупномасштабная карта хозяйства.

#### § 4. АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ МИРА

Агроклиматическое районирование в мировом масштабе впервые было произведено в 1937 г. — в этом году был опубликован «Мировой агроклиматический справочник», составленный группой агроклиматологов под руководством Г. Т. Селянинова. В этом справочнике были даны основные агроклиматические показатели тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода и оценены условия зимовки сельскохозяйственных культур по всем земледельческим территориям земного шара. В текстовой части Справочника изложена методика сельскохозяйственной характеристики климата (принятая при его составлении), впервые выделены агроклиматические зоны мира.

На основе данных Справочника Селяниновым была составлена «Агроклиматическая карта мира» (она вошла в первый «Агроклиматический атлас мира», изданный в 1972 г.). Автор разделил климаты земного шара по теплообеспеченности сельскохозяйственных культур и экологическим особенностям на пять агроклиматических поясов: тропический, субтропический, умеренный, полярный и арктический; краткая характеристика их приводится ниже.

1. Тропический пояс. Растения этого пояса, в течение всего года обеспеченные теплом и влагой во многих районах, почти непрерывно вегетируют. 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 полевых работ и их напряжение неизменны в течение года.

В тропическом поясе температура не опускается до 0° и ниже ни в воздухе, ни на почве (за исключением высокогорных райо-

нов); средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха выше  $5^{\circ}$ . Средняя температура воздуха самого холодного месяца  $15-20^{\circ}$ . Годовая амплитуда температуры воздуха невелика ( $5-8^{\circ}$ ) при довольно большой ее суточной амплитуде; суммы активных температур  $6000-8000^{\circ}$  и более. Наблюдается чередование сухих и дождливых периодов различной длительности; годовая сумма осадков по территории пояса очень изменчива — от  $100-150$  мм в тропических пустынях до  $10\,000-12\,000$  мм в зонах избыточного увлажнения.

Экологическими особенностями растений тропического пояса являются: неспособность растений переносить понижения температуры ниже  $5^{\circ}$ ; 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.

2. Субтропический пояс. Характеризуется наличием двух вегетационных периодов — летнего и зимнего. В летний период полевые работы более напряженны; 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  $0^{\circ}$ ; средний из абсолютных годовых минимумов выше  $-10^{\circ}$ ; средняя температура воздуха самого теплого месяца выше  $20^{\circ}$ ; суммы активных температур более  $3500^{\circ}$ . Зимой морозы носят характер заморозков умеренного пояса. Количество осадков за год и годовой ход их значительно изменяются по территории пояса.

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  $-20^{\circ}$ . Субтропические однолетние культуры теплого сезона не вегетируют при температурах ниже  $10-15^{\circ}$ , не переносят заморозков и требуют за период вегетации суммы активных температур от  $3000-3500$  до  $6000^{\circ}$ .

Культуры холодного сезона обладают относительно высокой морозостойкостью; используют положительные температуры зимнего периода не прекращая вегетации; отличаются потребностью к низким температурам (ниже  $10^{\circ}$ ) в первые периоды развития; за

период вегетации им необходима сумма активных температур около 2000°. Растения требовательны к влаге.

3. Умеренный пояс. Характеризуется одним летним вегетационным периодом и «нерабочим» зимним сезоном. В основном за год обеспечен один урожай. Состав культурной растительности менее 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. Длина вегетационного периода от 200 дней на южной границе до 40 дней и менее на северной. Средняя температура воздуха самого теплого месяца несколько выше 15°. Сумма активных температур от 1000° на северной границе пояса до 3500—4000° 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°, а в северных районах пояса ниже —50°.

Годовая сумма осадков резко меняется по территории пояса.

Растения, начиная вегетацию при температурах около 5—10°, в последующие фазы развития требуют более высоких температур (порядка 15—20°); они обладают большей устойчивостью к заморозкам в начале развития. В основном это растения длинного дня. Зимующие злаковые (озимые) и древесные отличаются высокой морозостойкостью. Общая потребность в тепле у разных растений выражается суммой активных температур от 1000 до 3000° и более.

4. Полярный пояс. Имеет небольшие ресурсы тепла, поэтому состав культурных растений здесь ограничен. Для растений этого пояса характерны скороспелость, малая требовательность к теплу, способность переносить понижение температур ниже 0°. Заморозки здесь возможны в продолжение всего периода вегетации. Сумма активных температур изменяется в пределах 300—1000°. 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.

5. Арктический пояс. Для него характерны очень низкие температуры лета. Средняя температура воздуха самого теплого месяца изменяется от 0 до 10°, поэтому культурные растения не могут произрастать здесь в открытом грунте. В летние месяцы часто бывают длительные похолодания с понижением температуры до 0° и ниже.

Каждый пояс делится на термические зоны, различающиеся на 150—200°, в которых обеспечивается теплом определенный набор культур.

По характеру увлажнения термические пояса разделены на зоны с определенными приемами земледелия по регулированию влажности почвы: избыточно влажная зона с ГТК выше 1,5—2,0

(необходим дренаж); зона, обеспеченная влагой, ГТК от 2,0 до 1,0; зона сухого (богарного) земледелия, ГТК от 0,5 до 1,0; сухая зона (необходимо орошение), ГТК ниже 0,5. 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 подрайоны 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.

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.

Аналогичная карта в 1962 г. была опубликована П. И. Колосковым, который за основу оценки теплообеспеченности сельскохозяйственных культур принял сумму температур выше 0°, для оценки

влагообеспеченности — показатель увлажнения  $K = \frac{H}{E - e}$ , где  $H$  — годовое количество осадков,  $E - e$  — сумма средних месячных величин дефицита влажности воздуха (мб), а для оценки условий зимовки — температуру самого холодного месяца. Зоны и районы Колосков выделит путем механического наложения этих трех показателей, изолинии которых удваиваются при продвижении с севера на юг (по суммам температур: 1000, 2000, 4000, 8000°).

В результате такого районирования суша земного шара разделена Колосковым на ряд районов, относящихся к пяти поясам (I—V) по сумме положительных температур, к шести зонам (А, Б, В, Г, Д, Е) по степени увлажненности и к двенадцати областям (1—12) по температуре наиболее холодного месяца. Каждый район обозначается трехзначной формулой, представляющей комбинацию трех указанных характеристик.

Карта Колоскова дает очень дробное деление суши земного шара на ряд небольших районов. Автор, к сожалению, не произвел комплексного анализа полученных районов, не выявил сельскохозяйственные районы, близкие по агроклиматическим условиям. Неудачным является использование Колосковым для оценки теплообеспеченности сельскохозяйственных культур суммы температур выше 0° — уровня, при котором, особенно на севере, учитывается большой процент неактивных для жизни растений температур. Характеристика условий зимнего периода только по температуре самого холодного месяца недостаточно полно отражает зимовку сельскохозяйственных культур, особенно в субтропической зоне.

В 1967 г. была опубликована агроклиматическая карта мира, составленная Д. И. Шашко. На этой карте, так же как и в работе Г. Т. Селянинова, для оценки теплообеспеченности сельскохозяйственных культур приняты суммы температур воздуха выше  $10^{\circ}$ , причем градации их несколько отличаются от принятых Селяниновым. В целом Шашко выделил четыре термических пояса (холодный, умеренный, теплый и жаркий), которые далее разделил на подпояса. Субтропические широты автор также выделил в виде подпояса. Сумма активных температур ( $>10^{\circ}$ ) в холодном поясе не превышает  $1200^{\circ}$ , а в жарком — более  $8000^{\circ}$ .

Влагообеспеченность Шашко определял по показателю увлажнения, который рассчитывался по формуле

$$Md = \frac{P}{\sum (E - e)},$$

где  $P$  — осадки за год,  $\sum (E - e)$  — сумма средних суточных дефицитов влажности воздуха за год (в миллиметрах). По этому показателю он выделил области достаточного, недостаточного и незначительного увлажнения с рядом подобластей, различающихся по годовому ходу влагообеспеченности.

Условия зимовки растений Шашко, как и Колосков, определял только по температуре самого холодного месяца. По этим агроклиматическим показателям автор выделил на территории суши земного шара 53 агроклиматических типа, обозначение которых дал сочетанием букв, цифр и условной штриховкой, что позволяет в принципе легко определять на карте районы со сходными агроклиматическими условиями.

Существенным достоинством карты Шашко является оценка продуктивности (бонитета) климатов различных стран, впервые разработанная автором в мировом масштабе.

## § 5. МИРОВЫЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ АНАЛОГИ

Одной из основных задач агроклиматического районирования мира, рассмотренного выше, является определение территорий со сходными условиями климата, обеспечивающими возможность заимствования и акклиматизации сельскохозяйственных культур, а также приемов земледелия.

Для правильного подбора видов и сортов растений в новых для них районах возделывания надо не только применять совершенную агротехнику, но и хорошо знать климатические и почвенные условия как нового района, так и тех мест, откуда растение завозится. Чем ближе эти условия, тем больше возможность успешной интродукции, тем легче растения акклиматизируются.

Первые работы по агроклиматическим аналогам принадлежат Маиру и Павари. Эти авторы при установлении аналогов исходили из сравнения общеклиматических условий районов без учета специфических требований сельскохозяйственного производства. Работников подвергли эти работы заслуженной критике и показали,



что такой общий подход не может обеспечить практику работ по акклиматизации растений.

Н. И. Вавилов еще в 1932 г. 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 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 отмечает, что нет ничего удивительного в том, что абиссинская пшеница, произрастающая у себя на родине при средних месячных температурах около  $15^{\circ}$  и «укладывающаяся» в относительно короткий вегетационный период, ограниченный большим дождливым периодом, созревает под Ленинградом. Это объясняется тем, что суммы температур за вегетационный период в горных районах Эфиопии и под Ленинградом очень близки (около  $1700^{\circ}$ ), 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.

Совершенно очевидно, что простой перенос растений из одной географической области, характеризующейся определенными климатическими и почвенными условиями, отвечающими требованиям данного растения, в другую область, не отвечающую этим требованиям, не может быть успешным. Для акклиматизации растения в этом случае требуется либо большая работа по переделке природы растения для приспособления его к новым условиям (что не всегда может быть достигнуто), либо применение специальной агротехники для защиты его от неблагоприятных факторов среды.

В качестве примеров такой успешной интродукции растений в необычные для них климатические условия с помощью специальной агротехники можно указать на произрастание в траншеях лимонов в Таджикистане, что обеспечивает их надежную защиту от губительных зимних морозов, и джута в Средней Азии

в условиях орошения. В обоих случаях влияние ограничивающих естественное распространение этих культур климатических факторов компенсируется соответствующими агротехническими приемами.

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 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 СССР. На ней выделены площади, различающиеся по степени схождения от наиболее близких до совершенно отличных по общеклиматическим условиям от субтропической зоны СССР, но тем не менее пригодные для интродукции культур, например для зимнего огородничества. Так, для зимнего периода выявлено сходство агроклиматических условий между северным побережьем Франции и Южной Англией с Черноморским побережьем Кавказа, хотя климаты этих районов в остальное время года совершенно различны.

Мировые агроклиматические аналоги СССР по условиям произрастания отдельной культуры винограда впервые были даны Ф. Ф. Давитая в 1938 г. В 1957 г. С. А. Сапожникова установила аналоги СССР для кукурузы в Западной Европе и Северной Америке.

Наиболее близки агроклиматические условия вегетационного периода умеренной зоны СССР соответствующим районам Западной Европы и Северной Америки, что видно из рис. 82 и табл. 52, характеризующих районы в пределах мирового ареала произрастания яровой пшеницы.

К этому же выводу пришла Г. Н. Ковальчук, установившая по той же методике агроклиматические аналоги условий произрастания картофеля на ЕТС, в Западной Европе и Северной Америке. В качестве основного критерия схождения она приняла агроклиматические условия периода клубнеобразования.

Большие исследования в этой области проводятся американским ученым Нутансеном. Он устанавливает аналоги (преимуще-

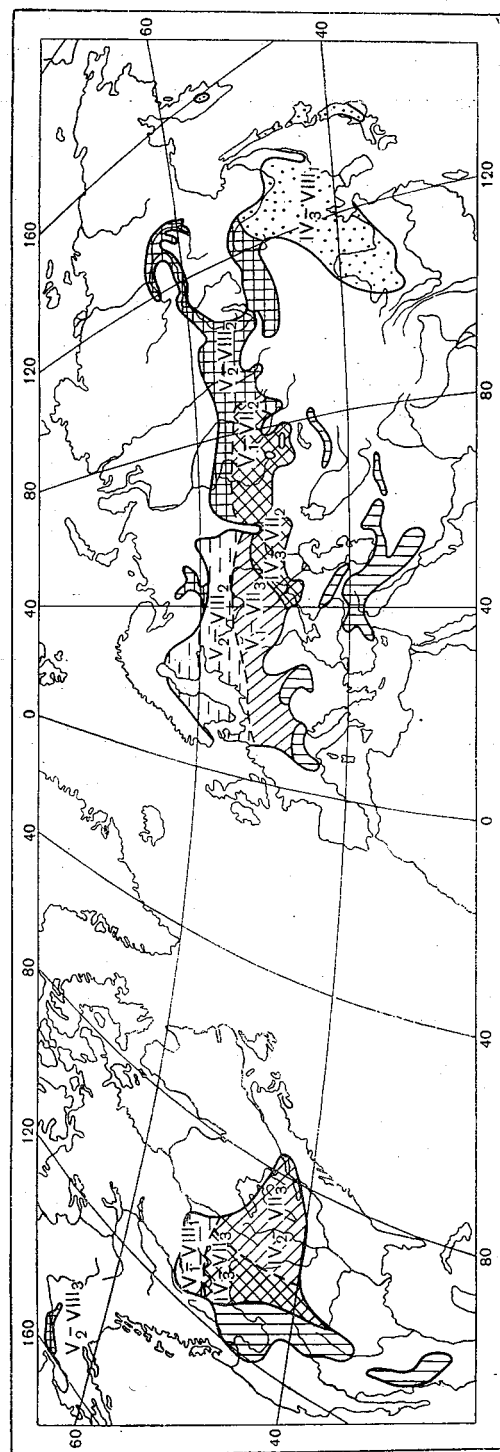


Рис. 82. Агроклиматические условия произрастания весенних посевов пшеницы.  
Усл. обозначения см. табл. 52.

Таблица 52

## Агроклиматические условия произрастания весенних посевов пшеницы

Номер на рис. 82	Район	Период колошение— восковая спелость		Темпера- тура во время уборки (град.)
		длитель- ность (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, с сухой весной, летом избыточно влажный . . . . .	Около 30	1,5—2,0 и более	20—22
6	Горные районы с высотной зональностью . . . . .	—	—	—

ственно зерновых) с учетом фенологических данных о вегетационном периоде изучаемой культуры, но оценку климатических условий производит более грубо, используя только средние месячные температуры и осадки вместо принятых в СССР агроклиматических показателей.

## **Глава VIII**

### **ОЦЕНКА АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ОТДЕЛЬНЫМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ КУЛЬТУРАМ И ПРИЕМАМ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

---

Эффективное и рациональное развитие сельского хозяйства в нашей стране требует научного обоснования размещения культурных растений и их сортов по территории. Знания 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.

Следует отметить, что если сейчас в основном удовлетворительно изучены общие агроклиматические ресурсы страны и отдельных ее районов (республик, краев и областей), то относительно отдельных культур и тем более приемов земледелия этого сказать нельзя. Например, для такой важнейшей культуры, как пшеница, отсутствует агроклиматическое районирование по условиям ее произрастания и урожайности на всей территории СССР.

Если относительно хорошо изучены потребности в условиях климата большинства яровых культур, то для озимых этот вопрос разработан слабо и т. д.

Частное агроклиматическое районирование в нашей стране стало интенсивно развиваться с 1938 г. (начиная с работ Ф. Ф. Давитая). В последнее десятилетие определилась новая направленность этих исследований: основное внимание уделяется количественной оценке агроклиматических ресурсов в связи с продуктивностью и качеством сельскохозяйственной продукции.

Агроклиматическому районированию конкретной сельскохозяйственной культуры, 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 данной культуры или различной обеспеченностью определенного уровня урожайности и качества продукции.

Одним из основных факторов, определяющих возможность произрастания любой культуры, являются ресурсы тепла. В большинстве работ по частному районированию ресурсы тепла и потребность в них сельскохозяйственных культур выражают суммой активных температур выше  $10^{\circ}$ . Для некоторых культур (например, кукурузы) районирование по термическому режиму выполнено исходя из сумм эффективных температур.

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 II. Из этих коэффициентов наиболее часто используют ГТК или его различные модификации. В частности, в последнее время С. А. Сапожникова в целях сравнимости агроклиматических оценок условий увлажнения разных стран (в том числе стран социалистического содружества) предложила новый показатель — коэффициент увлажнения (КУ), который является одним из вариантов модификации ГТК (см. также главу II).

Для зимующих культур необходима дополнительная оценка климата территории по условиям перезимовки. Она проводится на основе общих положений, изложенных в главе II.

Весьма часто применительно к конкретным культурам составляются комплексные карты, учитывающие одновременно условия термического режима, увлажнения и перезимовки. Комплексные карты строят методом совмещения указанных частных карт.

Агроклиматическое районирование отдельных культур по продуктивности проводят на основе показателей, связывающих величину урожая с агроклиматическими факторами. К таким факторам относят главным образом тепло, влагу, радиацию и некоторые другие. Оценка продуктивности культуры может быть дана непосредственно в ц/га или условно в баллах.

К настоящему времени для отдельных районов СССР произведено агроклиматическое районирование довольно большого числа культур: пшеницы, кукурузы, винограда, подсолнечника, проса, хлопчатника, сахарной свеклы, риса, мандаринов и пр. Здесь мы не будем рассматривать районирование всех указанных культур, ибо это не является задачей учебного пособия. При выборе рассматриваемых ниже культур авторы исходили из двух основных принципов: культура имеет существенное значение в сельскохозяйственном производстве нашей страны; районирование культуры произведено с учетом современных достижений агроклиматологии.

## § 1. ПШЕНИЦА

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 разными экологическими признаками.

Несмотря на то, что среди зерновых культур пшеница занимает первое место, агроклиматическое районирование ее для территории нашей страны на уровне современных требований, как указывалось выше, еще не закончено.

В исследованиях Г. Т. Селянинова выявлены основные требования различных сортов пшеницы к климату. В ареале произрастания сев яровой пшеницы проводится при средних суточных температурах от 5 до 10°, а озимой при 15°, колошение проходит при температуре от 15 до 18°, созревание — в пределах 22—12°. В районах, где созревание наблюдается при температурах ниже 15°, пшеница, как правило, не дозревает. В течение вегетации устойчивость пшеницы к низким температурам резко меняется. Если в начале развития она не повреждается даже при —10°, то в период колошения повреждение наступает уже при температуре несколько ниже 0°. Зерно пшеницы в стадии зеленой спелости повреждается при температуре порядка —3°, а в стадии молочной и восковой спелости — при —5, —10°.

Морозостойкость различных сортов озимой пшеницы меняется в больших пределах. При благоприятных осенних условиях вегетации морозостойкость пшеницы (применительно к температуре на глубине узла кушения) составляет —15° и ниже.

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 пшеница типа Гарнет требует для созревания 1450°, среднеспелые сорта типа Полтавка — 1560°, типа Мелянопус 69—1670°, типа Гордейформе — 1700°, а позднеспелый сорт Германский 74—1880°. 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.

Период посев—всходы при весеннем и осеннем севе изменяется в больших пределах (5—20 дней). Однако сумма температур за это время при достаточном увлажнении почвы относительно постоянна и составляет примерно 150°.

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.

Проблема влияния влажности почвы на темпы развития пшеницы изучена Селяниновым лишь качественно. Более детально проанализирована им потребность пшеницы во влаге. Для примера в табл. 53 показано влияние увлажнения почвы на урожайность пшеницы сорта Лютесценс 62. Таблица составлена с учетом типа почв.

Таблица 53

Зависимость урожаев яровой пшеницы Лютесценс 62 от показателя увлажнения в период всходы — колошение

Характеристика	Показатель увлажнения (ГТК)						
	0—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 черноземах							
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	

Исследования показали, что агроклиматические условия произрастания яровой и озимой пшеницы могут быть определены следующими основными показателями: длительностью дня весной, ГТК за период колошение—восковая спелость, температурой периода уборки. Для озимых добавочно следует учесть условия зимовки: длительность периода покоя, температуру самого холодного месяца и высоту снежного покрова.

Для более детального изучения влияния климата на любую культуру необходимо привлекать дополнительные показатели: суточную амплитуду температуры, показатели влияния температуры дня и ночи на рост и развитие культуры, показатели, учитывающие



влияние агроклиматических условий на урожай и качество продукции, и т. д.

В качестве примера такого подхода приведем некоторые результаты последней работы Н. Б. Мещаниновой, где вопросы агроклиматического районирования пшеницы в условиях Кулундинской степи дифференцированы 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 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 Поволжья применительно к яровой пшенице. Проведенное ею агроклиматическое районирование позволило в конечном итоге выделить в Поволжье районы различной климатической эффективности орошения яровой пшеницы.

## § 2. КУКУРУЗА

Агроклиматическое районирование кукурузы для территории СССР впервые было выполнено С. А. Сапожниковой совместно с В. А. Смирновой и М. И. Мель. Из полученных ими результатов особенно важно определение северной границы культивирования кукурузы.

Позднее Ю. И. Чирков провел более глубокие исследования зависимостей роста и развития кукурузы от агрометеорологических факторов. Характерно, что эти зависимости определены применительно к этапам органогенеза кукурузы, что, безусловно, является новым. На этом основании была дана оценка агроклиматических ресурсов территории СССР с целью районирования разных сортов и гибридов кукурузы в зависимости от поставленных производственных задач (возделывание кукурузы на зерно или силос).

Районирование кукурузы выполнено Чирковым по обеспеченности ее теплом, влагой и в целом по обеспеченности ресурсами климата.

### 1. Оценка обеспеченности кукурузы теплом

Для сравнительной оценки потребности в тепле различных по скороспелости сортов и гибридов кукурузы использован новый

признак, оказавшийся устойчивым для каждого сорта (гибрида), — число листьев на главном стебле кукурузы. Выявлено, что этот признак скороспелости сорта (гибрида) тесно связан с суммой эффективных температур воздуха выше  $10^{\circ}$ . В районах, где средняя температура июля не превышает  $20^{\circ}$ , в среднем на один лист стебля приходится сумма эффективных температур, равная  $30 \pm 2^{\circ}$ .

На основе выявленной закономерности найдены уравнения связи числа листьев, характеризующих скороспелость сорта, с суммами эффективных температур, необходимых для наступления основных фаз развития кукурузы. Эти уравнения представлены в табл. 54.

Таблица 54

Связь суммы эффективных температур воздуха  $y$  с числом листьев  $x$  для различных по скороспелости сортов и гибридов кукурузы

Межфазный период	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Посев — выметывание метелки	$y = 30,2x + 31,8$	0,86
Посев — молочная спелость	$y = 35,2x + 241,1$	0,83
Посев — восковая спелость	$y = 41,6x + 290,5$	0,80

Указанные уравнения можно использовать для подсчета сумм эффективных температур в районах возделывания кукурузы, расположенных к северу от июльской изотермы  $20^{\circ}$ . Для более южных районов возделывания, где значительная часть вегетационного периода кукурузы проходит на фоне температур воздуха выше  $20^{\circ}$ , необходимо учитывать так называемую балластную температуру, смысл которой сводится к следующему. Темпы развития кукурузы ускоряются с повышением средней суточной температуры примерно до  $19-20^{\circ}$ . 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  $10^{\circ}$  ( $x$ ) к сумме безбалластных эффективных температур ( $y$ ). Эта связь представлена уравнением

$$y = 0,74x + 140, \quad r = 0,94.$$

Пользуясь этим уравнением, можно легко рассчитать эффективные безбалластные суммы тепла для любого периода развития кукурузы в любом районе ее возделывания.

При оценке ресурсов тепла для территории СССР необходимо вводить поправку на продолжительность безморозного периода, ибо последний в континентальных районах нашей страны короче, чем период с температурой выше  $10^{\circ}$ .

Таблица 55

**Зоны обеспеченности теплом и влагой основных фаз развития различных  
по скороспелости сортов и гибридов кукурузы**

**а. Обеспеченность теплом развития кукурузы в зависимости от термической зоны  
и скороспелости**

Термические зоны (на рис. 83)	$\Sigma t > 10^\circ$ , обеспечен- ные в 80% лет	Фаза развития	Скороспелость сортов и гибридов и собственное им число листьев			
			средне- ранние, 13—14	средне- спелые, 15—16	средне- поздние, 17—18	поздне- 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	80

**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

Кроме того, для континентальных районов СССР необходимо вводить еще поправку на величину амплитуды суточного хода температуры воздуха, поскольку она, достигая значительных величин (16—17°), оказывает заметное влияние на величину балластных температур в дневное время.

Для сопоставления ресурсов тепла территории с потребным количеством тепла рассчитана табл. 55, в которой показана 80%-ная обеспеченность теплом основных фаз развития кукурузы в зависимости от термической зоны и скороспелости сорта. Таблица рассчитана для безбалластных эффективных температур в пределах сумм 400—1200°.

Данные табл. 55 можно использовать при агроклиматическом районировании различных по скороспелости сортов и гибридов кукурузы, исходя из следующих основных методических положений.

При районировании территории прежде всего для каждой станции определяют суммы температур 80%-ной обеспеченности, подсчитанные от нижнего предела 10°. Затем по уравнению, указанному выше, из этих сумм исключаются балластные температуры и, согласно правилам картирования, проводят на карте изолинии сумм эффективных безбалластных температур. После этого на карту наносят изолинии:

а) обеспеченности теплом фазы выметывания, что позволяет решить вопрос об использовании кукурузы на зеленый корм и силос без початков;

б) обеспеченности теплом фазы молочной спелости, что позволяет решить вопрос об использовании кукурузы на силос с початками;

в) обеспеченности теплом фазы восковой спелости, что позволяет решить вопрос об использовании кукурузы с целью получения сухого зерна.

При районировании кукурузы по обеспеченности теплом в любом из указанных случаев необходимо учитывать еще следующее обстоятельство: оптимальные сроки сева кукурузы наступают примерно через декаду после устойчивого перехода температуры воздуха через 10°. Поскольку к этому времени уже накапливается сумма эффективных температур порядка 30°, то ее необходимо вычесть из общей суммы температур.

## **2. Оценка обеспеченности кукурузы по условиям увлажнения**

Обеспеченность режима увлажнения кукурузы оценивается по запасам продуктивной влаги в почве или по модифицированному значению гидротермического коэффициента. Продуктивность кукурузы определяется (при оптимальном термическом режиме) запасами продуктивной влаги в период от IV этапа органогенеза (появление  $\frac{2}{3}$  всех листьев) до XI этапа органогенеза (фаза мо-

лочной спелости). Для этого периода режим увлажнения применительно к кукурузе можно оценивать по следующим градациям:

Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы (мм)	Условия увлажнения
120—180	Оптимальные
80—120	Хорошие
40—80	Удовлетворительные
< 40	Плохие

При отсутствии сведений о влажности почвы для достаточно густой сети станций Чирков рекомендует оценивать увлажнение почвы по модифицированному значению гидротермического коэффициента  $K$ :

$$K = \frac{0,5R_{x-III} + R_{IV-VIII}}{0,18 \sum t_{IV-VIII}}.$$

В этой формуле осадки за апрель—август ( $R_{IV-VIII}$ ) характеризуют режим увлажнения основного периода вегетации кукурузы; ресурсы влаги за вневегетационный период ( $R_{x-III}$ ) учтены коэффициентом 0,5.

Рассчитанный по этой формуле для каждого пункта коэффициент  $K$  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  $K$  можно дать по следующей шкале:

$K$	Оценка (в баллах)
1,2—1,3	5
1,0—1,1	4
0,8—0,9	3
0,6—0,7	2
< 0,5	1

При оценке влагообеспеченности в 3 балла необходимы эпизодические поливы кукурузы, при оценке в 1—2 балла возделывание кукурузы без орошения нерентабельно.

### 3. Оценка обеспеченности продуктивности кукурузы ресурсами климата

Исследованиями доказано, что продуктивность кукурузы в основном определяется ресурсами тепла и влаги данного района. Если в течение большей части вегетационного периода увлажнение метрового слоя почвы хорошее (запасы продуктивной влаги в нем 140—180 мм), а температурный режим оптимален (средние суточные температуры воздуха колеблются в пределах 18—22°), то климатические условия обеспечивают высокие и устойчивые урожаи кукурузы как на силос, так и зерно.

При возделывании кукурузы на зерно ресурсы тепла должны ежегодно обеспечивать техническое вызревание наиболее урожайных сортов и гибридов. При возделывании кукурузы на силос (с початками) ресурсы тепла должны ежегодно обеспечивать наступление молочной спелости наиболее урожайных сортов, а при возделывании кукурузы на зеленый корм и силос без початков — наступление фазы выметывания.

Выявлено, что рациональное изменение густоты сева скороспелых сортов кукурузы в различных термических зонах способствует образованию оптимальной площади листовой поверхности в этих зонах, доводя тем самым фотосинтетический потенциал посева скороспелых сортов до величины позднеспелых. Поэтому при агроклиматической оценке продуктивности кукурузы Чирков рекомендует учитывать оптимальную для данного сорта и климатического района густоту сева.

В качестве примера приведем табл. 56, в которой оценка агроклиматических условий формирования продуктивности дана для

Таблица 56

Агроклиматическая оценка относительной продуктивности (%) посевов среднепоздних сортов кукурузы с учетом густоты сева

Сумма эффективных температур 80%/о-ной обеспеченности (град.)	Ресурсы влаги: весенние влагозапасы в слое почвы 0—100 см + осадки за период вегетации кукурузы (мм)									
	400		350—400		300—350		250—300		200—250	
	густота	продуктивность	густота	продуктивность	густота	продуктивность	густота	продуктивность	густота	продуктивность
400—500	110	55	100—130	47	90—110	40	—	—	—	—
500—600	80—110	60	70—90	52	60—80	45	55—60	40	50—55	35
600—700	70—80	67	60—70	60	55—60	52	50—55	45	45—50	40
700—800	60—70	75	55—60	68	50—55	60	45—50	50	40—45	35
800—900	60—70	80	50—60	72	45—50	60	40—45	50	35—40	35
900—1100	—	—	—	—	40—45	55	35—40	45	30—35	30
> 1100	—	—	—	—	40	50	35	40	30	25

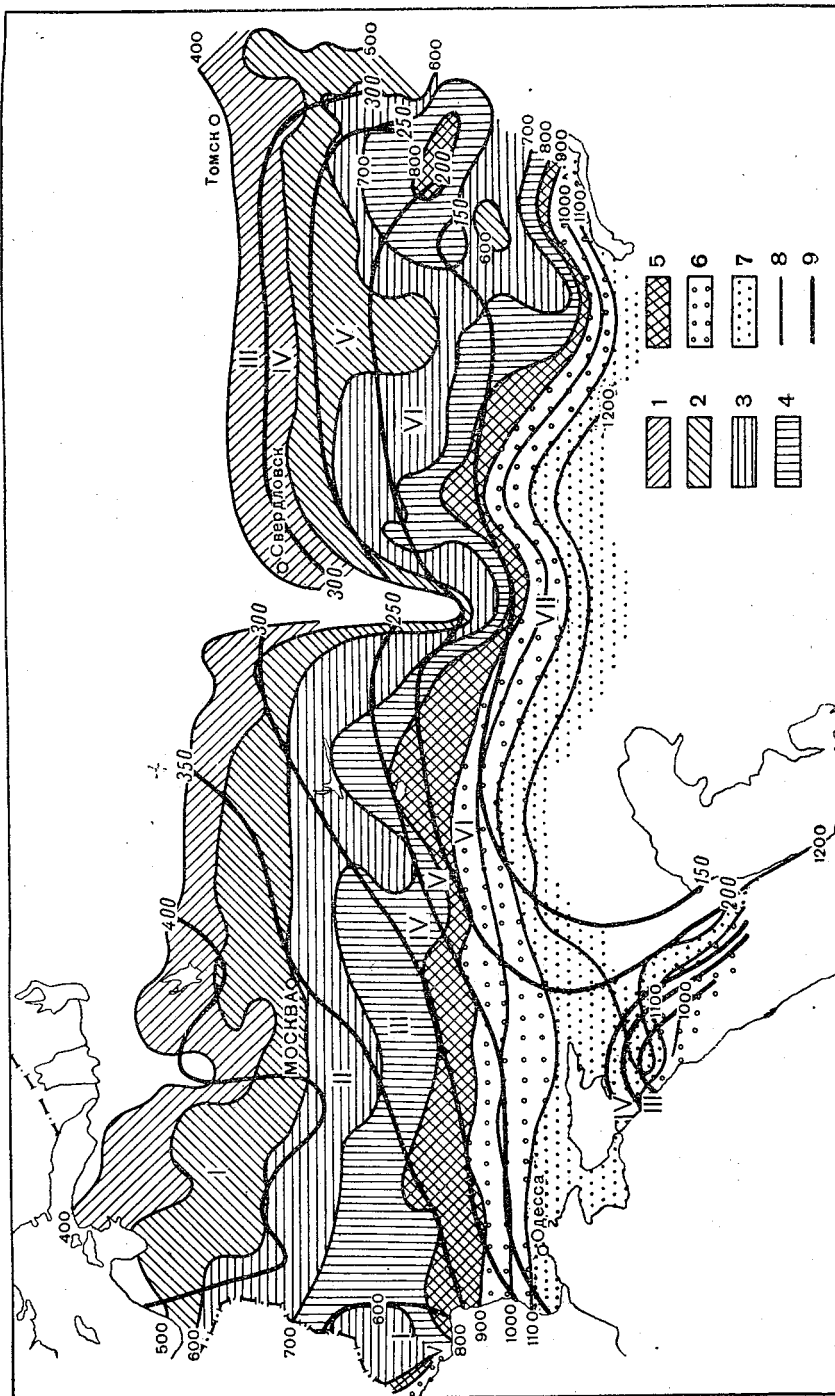


Рис. 83. Зоны обеспеченности теплом и влагой основных фаз развития различных по скороспелости сортов и гибридов кукурузы.

1 — 7 — пояснения в табл. 55; 8 — изолинии сумм эффективных температур 80%-ной обеспеченности за вегетационный период, 9 — изолинии сумм осадков за вегетационный период.

среднепоздних сортов кукурузы с учетом оптимальной густоты сева.

При расчете данной таблицы максимальная продуктивность среднепоздних сортов кукурузы при сумме температур  $1100^{\circ}$  и оптимальном увлажнении принята за 100%.

На основе указанных положений и выявленных закономерностей Чирков произвел агроклиматическое районирование кукурузы применительно к территории Советского Союза. Оценка степени обеспеченности продуктивности кукурузы ресурсами климата при ее возделывании на зерно и силос совпадает лишь в южных влагообеспеченных районах ареала возделывания кукурузы. По мере продвижения кукурузы на север различие в указанной оценке возрастает, ибо в северных районах вызревание початков кукурузы на зерно не обеспечивается ресурсами тепла, в то время как хорошее увлажнение почвы гарантирует здесь получение достаточно высоких урожаев кукурузы на силос. Зоны обеспеченности теплом и влагой основных фаз развития различных сортов и гибридов кукурузы на территории СССР представлены на рис. 83.

### § 3. КАРТОФЕЛЬ

Картофель в нашей стране является одной из важнейших культур. Как продукт питания он стоит на втором месте после хлеба. По универсальности использования с картофелем не может сравниться ни одна сельскохозяйственная культура. На территории СССР под картофелем заняты огромные площади; он культивируется от Заполярья до южных границ Советского Союза.

Агроклиматические условия ареала произрастания картофеля в нашей стране далеко не везде благоприятны для его оптимального роста и развития. Достаточно сказать, что, помимо вредителей и болезней, в южных районах страны из-за высоких температур происходит климатическое вырождение картофеля, что приводит к получению недоброкачественного посевного материала. Правильная агроклиматическая оценка территории применительно к картофелю наряду с различными приемами его возделывания способствует получению высоких и устойчивых урожаев.

Изучению агроклиматических показателей картофеля и агроклиматических условий его произрастания посвящено множество исследований, среди которых следует отметить работы А. И. Руденко, О. М. Поповской, Е. А. Цубербиллер, А. Л. Макаровой, В. В. Капелюш, М. Д. Злотникова, Г. Н. Ковальчук и др. В своих исследованиях эти авторы приходят к единому мнению, что за агроклиматический показатель начала роста картофеля можно принять дату устойчивого перехода температуры воздуха через  $7-8^{\circ}$ .

Потребность картофельного растения в тепле неодинакова в зависимости 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 существенно зависят от уровня применяемой агротехники (табл. 57).

Т а б л и ц а 57

Сумма среднесуточных активных температур воздуха за межфазные периоды (град).

Фон удобрений	Межфазные периоды					
	посев— всходы	всходы— бутони- зация	бутони- зация— цветение	цвете- ние— 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		

В процессе исследований получены агроклиматические показатели потребности разных сортов картофеля в тепле. Критическим для формирования урожая картофеля является период интенсивного клубнеобразования (от цветения до начала увядания ботвы). Условия тепло- и влагообеспеченности этого периода во многом определяют урожай картофеля. За показатель благоприятности термического режима в этот период можно принять среднюю температуру почвы на глубине 20—30 см, равную 16—18°.

Показатели, характеризующие степень благоприятствования условий увлажнения, представлены в табл. 58. Условия увлажнения в ней характеризуются средними значениями ГТК. В таблице учтены также типы почв.

Суммарное влияние тепла и влаги на прирост клубней картофеля в период от цветения до увядания ботвы показано на рис. 84. Из рисунка следует, что для обеспечения максимального прироста клубней в этот период необходимы средние температуры воздуха за декаду 16—18° и запасы продуктивной почвенной влаги (в слое 0—50 см) 50—80 мм.

Детальное агроклиматическое районирование картофеля для Европейской части Советского Союза произведено А. И. Руденко. Особое внимание при рассмотрении этой проблемы автор уделил периоду клубнеобразования картофеля. Поскольку произведенное

Показатели, характеризующие режим увлажнения картофеля (ГТК)

Типы почвы	Оптимальные условия до клубнеобразования	В период клубнеобразования			Оптимальные условия за период посадки—начало отмирания ботвы
		благоприятные условия	средне-благоприятные условия	неблагоприятные условия	
Легкие	1,6	1,5	1,0—1,4	0,9	2,2
Тяжелые и легкие на близкозалегающей тяжелой материнской породе	1,0	0,9—2,1	0,8 и 2,2	0,7 и 2,3	1,3
Легкие на тяжелой материнской породе, залегающей на глубине 60—100 см	1,0—1,3	1,3—3,3	0,9—1,2 и 3,4	0,8	1,3—1,7

им агроклиматическое районирование (рис. 85) представляет несомненный теоретический и практический интерес, рассмотрим некоторые его аспекты более подробно.

Зона I. Сухой и очень жаркий климат зоны весьма неблагоприятен для картофеля в период клубнеобразования: средняя температура воздуха здесь выше  $24^{\circ}$ , осадки менее 30 мм, ГТК ниже 0,5; урожай ниже среднего многолетнего по СССР; вероятность климатического вырождения картофеля более 50%.

Зона II. Засушливый и жаркий климат зоны неблагоприятен для картофеля в период клубнеобразования: температура воздуха колеблется в пределах  $22-24^{\circ}$ , 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  $21^{\circ}$ , осадки составляют 60—80 мм, ГТК изменяется от 0,7 до 1,0, урожай близок к многолетнему среднему по СССР; 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  $19^{\circ}$ , осадки составляют 70—80 мм, ГТК =  $1,0 \div 1,5$ ; урожай несколько выше среднего многолетнего по СССР; 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 для СССР; вероятность распространения фитофторы составляет 50—75%.

Зона VI. Влажный, умеренно теплый климат вполне благоприятствует клубнеобразованию картофеля: температура воздуха колеблется в пределах 16—17°, осадки превышают 120 мм; урожай в зоне значительно выше среднего многолетнего для СССР; вероятность фитофторы свыше 75%.

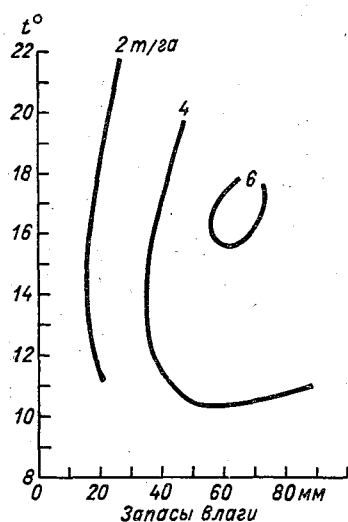


Рис. 84. Прирост клубней за декаду в период от цветения до увядания ботвы при различной средней декадной температуре воздуха и различных запасах влаги в слое почвы 0—50 см.

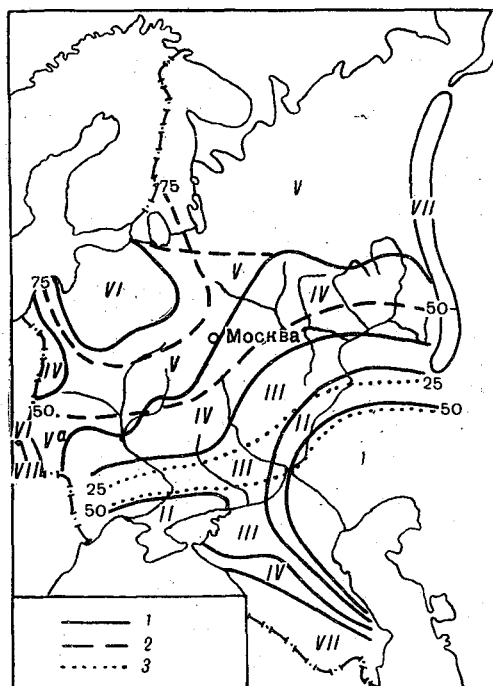


Рис. 85. Агроклиматические зоны картофелеводства на Европейской территории СССР.

1 — границы зон картофелеводства, 2 — вероятность распространения фитофторы (%), 3 — границы районов распространения вероятного вырождения картофеля (%).

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 посевы его необходимо сосредоточивать на низинных, пойменных и орошаемых землях.

В зонах IV, V и VI необходимо культивировать устойчивые к фитофторе сорта картофеля.

Районирование территории СССР по урожайности картофеля выполнено А. Т. Никифоровой (рис. 86).

Для использования в нашей стране опыта зарубежных стран важное значение имеет изучение агроклиматических аналогов картофеля. Г. Н. Ковальчук установила аналоги выращивания картофеля для территории США и Европейской части СССР и по-

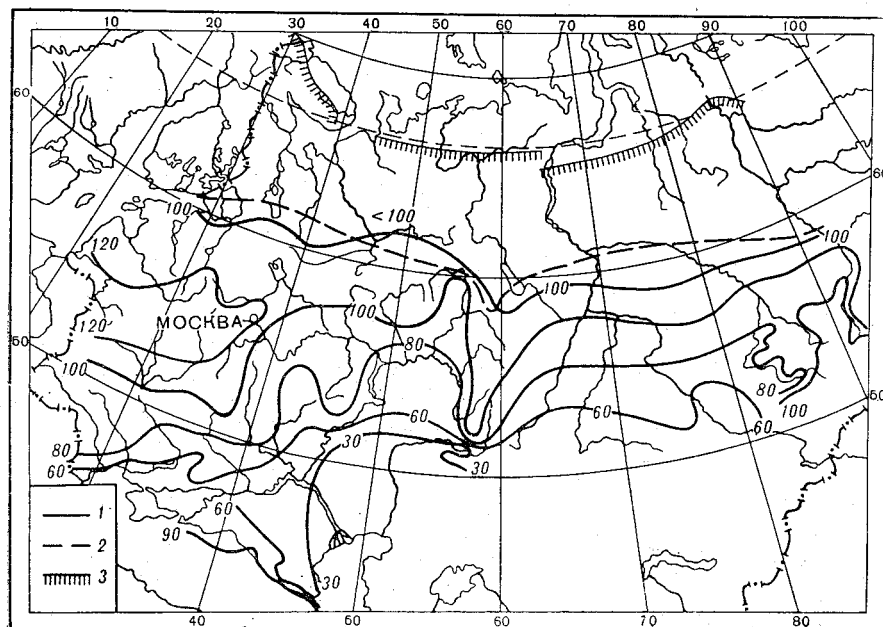


Рис. 86. Агроклиматическое районирование картофеля по продуктивности.  
1 — урожайность картофеля (ц/га), 2 — граница 80%-ной обеспеченности произрастания картофеля, 3 — северная граница произрастания картофеля.

казала возможность значительного повышения продуктивности картофеля при более полном использовании агроклиматических ресурсов нашей страны.

#### § 4. ВИНОГРАД

Фундаментальные исследования агроклиматических ресурсов применительно к культуре винограда выполнены Ф. Ф. Давитая. Следует подчеркнуть, что его работы выходят за рамки чисто прикладных задач, ибо наряду с решением последних они представляют собой глубокие теоретические и методологические исследования.

В качестве основных агроклиматических показателей для районирования культуры винограда Давитая принял суммы активных температур выше  $10^{\circ}$ , ГТК и осадки, средние из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха и почвы, заморозки. При характеристике выделенных районов следует пользоваться повторяемостью и обеспеченностью этих показателей.

Обработав многочисленный фенологический материал, Давитая пришел к выводу, что средняя температура начала роста (вегетации) винограда практически не меняется по сортам, колеблясь около  $10^{\circ}$ . Физиологически начало роста винограда определяется началом движения сока в 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.

Следует иметь в виду, что суммы температур могут изменяться в горных районах в зависимости от высоты места. Известно, что сумма прямой солнечной радиации при прочих равных условиях увеличивается с подъемом местности над уровнем моря. Увеличение прямой радиации способствует большему нагреванию деятельной поверхности, в результате чего ускоряется развитие растений и соответственно уменьшаются суммы потребных температур. Например, в Западной Грузии сумма температур выше  $10^{\circ}$ , необходимая для созревания винограда сорта Алиготе, при увеличении высоты местности от уровня моря до 1200 м уменьшается от 2800 до 2300°, т. е. на 18%.

Для прохождения отдельных стадий развития и получения качественной продукции винограду, помимо общей суммы температур, необходимо определенное напряжение температуры. В агроклиматологии оно обычно оценивается средней температурой самого теплого месяца.

Значительный ущерб виноградникам могут наносить весенние заморозки. Понижение температуры воздуха до  $-1, -2^{\circ}$  после возобновления вегетации вызывает повреждение распутившихся почек, верхушек побегов и соцветий, т. е. самых нежных органов лозы. И хотя весенние заморозки не приводят к гибели виноградных кустов, они значительно снижают урожай текущего года. Вследствие этого при агроклиматическом районировании винограда обязателен учет интенсивности и повторяемости весенних заморозков.

Осенние заморозки представляют для винограда меньшую опасность. Так, вполне созревшие ягоды винограда хорошо выносят осенние заморозки интенсивностью до  $-4, -5^{\circ}$ . Ко времени наступления таких заморозков виноград обычно успевают убрать (за исключением очень поздних сортов). Поэтому при агроклиматическом районировании винограда учет осенних заморозков менее важен.

Оптимальность условий произрастания винограда существенно зависит от условий его перезимовки. За показатель в этом случае

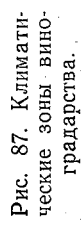
принимают средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха. Если считать допустимым зимнее повреждение винограда 1—2 раза в 10 лет, то изолиния  $-15^{\circ}$  абсолютного годового минимума температуры может быть принята за границу между укрывной и неукрывной зонами виноградарства применительно к сортам слабой зимостойкости. Для сортов повышенной зимостойкости, критическая температура повреждения которых составляет  $-21^{\circ}$ ,  $-22^{\circ}$ , за указанную границу следует принимать изолинию  $-18^{\circ}$ .

При оценке условий перезимовки винограда в районах с особо суровыми зимами (например, на юго-востоке СССР) необходимо, кроме температуры воздуха, учитывать и температуру почвы. Данное обстоятельство объясняется тем, что виноградное растение, укрытое землей, легко переносит понижение температуры до  $-15^{\circ}$ ,  $-18^{\circ}$ , в то время как корни его вымерзают уже при температуре  $-10^{\circ}$ ,  $-11^{\circ}$ . Поэтому для таких районов необходимо ориентироваться на средний из абсолютных годовых минимумов температуры почвы, увязывая его с повторяемостью температур почвы ниже критических значений для корневой системы.

В качестве показателя влагообеспеченности периода вегетации винограда Давитая предложил использовать среднюю за период май—июль величину ГТК. Выбор указанного периода обусловлен тем, что весенние запасы воды в почве, созданные осенне-зимними осадками, почти во всех виноградарских районах достаточны для начального периода развития винограда. Кроме того, следует иметь в виду, что виноград развивает мощную корневую систему, достигающую глубины 6 м и более. Величина ГТК менее 0,5 за этот период указывает на существенный недостаток влаги для винограда, 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.

Используя агроклиматические показатели, исследования природных ресурсов, особенности микроклимата и прочее, Давитая построил ряд ценных для виноградарства карт. Карта районирования винограда по СССР приведена на рис. 87. Она дает представление о климатических зонах виноградарства нашей страны. На этой карте выделено пять зон по обеспеченности теплом разных сортов винограда. Кроме того, учтены условия перезимовки винограда и дана граница его культуры с орошением.

Изучением агроклиматических ресурсов территории с целью получения максимального урожая винограда задачи агроклиматического районирования далеко не исчерпываются. При агроклиматическом районировании винограда весьма желательно выделить макро-, мезо- и микрорайоны для специализации виноградно-винодельческой продукции. Такая специализация производства требует введения особых показателей. Например, в районах, предназначенных для сушки винограда, следует дополнительно к обычным показателям учитывать температуру и осадки после сбора винограда (по крайней мере в течение месяца после срока сбора). Для



Зоны по степени обеспеченности урожаем сортовой винограда раз-  
ной скоростью тем-  
пелом в среднем за  
10 лет: ранние сорта: 1  
до 5 раз, 2 — от 5  
до 9 раз; средние сорта: 3 — от 5  
до 9 раз и поздних  
сортот, последние  
сорта: 4 — от 5  
до 9 раз и полной  
обеспеченности  
сортот, 5 — полной  
обеспеченности  
тем-  
лом всех сортот, 3 —  
по условиям пе-  
резимки винограда  
(укрытия на зиму), 7 —  
с укрытием, 8 —  
с особым укрытием,  
8 — без укрытия; пре-  
рывистой линией да-  
на граница виногра-  
дарства с орошением.

получения высококачественного и транспортабельного столового винограда необходимо учитывать повторяемость низких значений относительной влажности воздуха, поскольку последняя способствует образованию более грубой кожицы ягод и, следовательно, увеличению транспортабельности винограда и т. д.

В целом определение потребности винограда различных сортов в условиях среды существования позволило Давитая составить классификационную таблицу, которая имеет важное значение для решения проблемы районирования. Особое внимание Давитая уделил разработке проблемы специализации виноградно-винодельческой продукции применительно к различным районам виноградарства нашей страны. Составленная им карта и табл. 59 имеют большое практическое значение.

Таблица 59

Агроклиматические показатели направления сырьевой базы  
виноградно-винодельческой промышленности

Виноматериалы	Сумма активных температур выше 10°	Средняя температура самого теплого месяца	Количество осадков (мм) за	
			год	месяц до сбора
Шампанские	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, тя- желые	3200—3600 и более	22—24 и более 20	400—1200 более 1200	0—150 до 200
Столовые вина	2800—4100	18—26	400—1200	0—170
слабоградусные, свежие	2800—3200	18—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
Десертные крепленые и слад- кие вина	более 3600	20—28	350—800	0—100
малосахаристые, недоста- точно полные материалы, преимущественно для крепких вин	3600—3800	20—25	350—800	0—100
сахаристые, полные мате- риалы преимущественно для крепких вин	3800—4100	22—27	350—800	0—100
высокосахаристые мате- риалы преимущественно для десертных сладких, ликерного типа, вин	более 4100	более 24	350—800	0—100
Столовый, транспортабельный виноград	более 3800	более 22	500—1000	0—100
Сушеный виноград	более 4000	более 25	500—700	менее 20

Сопоставив границу промышленной культуры винограда с возможной климатической границей его возделывания, Давитая пришел к выводу, что в результате трехсотлетней стихийной практики



виноградарства агроклиматические ресурсы в нашей стране далеко не исчерпаны и поэтому для дальнейшего развития этой важной отрасли народного хозяйства у нас имеются большие возможности.

#### § 5. СУБТРОПИЧЕСКИЕ КУЛЬТУРЫ

В начале 30-х годов под руководством Г. Т. Селянинова была изучена субтропическая зона СССР и произведено ее агроклиматическое районирование. Полученные результаты опубликованы в 1936 и 1938 гг. в двух томах «Материалов по агроклиматическому районированию субтропиков СССР».

В 1961 г. вышла большая работа Г. Т. Селянинова, посвященная агроклиматической характеристике субтропической зоны СССР, которая явилась итогом многолетнего труда автора. Здесь был использован более полный исходный материал, что позволило дать более детальную характеристику особенностей субтропического климата с учетом элементов микроклимата, а также шире раскрыть агроклиматические ресурсы субтропиков СССР.

Известно, что субтропическая зона является переходной от тропиков к умеренной зоне. Если учесть степень морозостойкости субтропических культур, большинство из которых не переносят морозы ниже  $-15^{\circ}$ , а самые морозостойкие формы ниже  $-20^{\circ}$ , то изолинию 10% повторяемости указанных морозов можно отождествить с северной границей субтропической зоны.

Основными признаками растений субтропической зоны, имеющими значение для их классификации по отношению к климату, можно считать морозостойкость, потребность в тепле за вегетационный период, засухоустойчивость, требования к свету и чувствительность к отдельным неблагоприятным метеорологическим явлениям. Решающим при районировании является потребность растений в тепле.

Классификация субтропических многолетников по их требованию к влаге приведена в табл. 60.

Основными культурами в субтропической зоне СССР являются цитрусовые, чай, тунговые деревья, бамбук, маслины, инжир, хурма и пробковый дуб. Эти растения Селянинов объединил в группы по требованию к климату. Для выделенных групп проведено агроклиматическое районирование территории на основе главных агроклиматических показателей: суммы активных температур (выше  $10^{\circ}$ ), ГТК и среднего значения абсолютных годовых минимумов температуры воздуха.

Прежде всего Селянинов выделил зоны теплообеспеченности культур по суммам активных температур с интервалом  $200^{\circ}$ . По годовому ходу режима увлажнения далее он выделил области разного увлажнения, по условиям перезимовки растений и степени засушливости климата — провинции.

Учитывая степень морозостойкости растений, он выделил следующие зоны для отдельных групп культур.

Классификация субтропических многолетников по требованию их к влаге

Растения	Минимальные значения ГТК, переносимые растениями без вреда	Минимальное среднее количество осадков за летний месяц при температуре самого теплого месяца 23—26° (мм)
Ксерофиты полупустынного климата: гваюлы, агавы и др.	0,1	0—10
Ксерофиты средиземноморского климата: маслины, инжир, лавр благородный, финик, эвкалипт, фисташки, пробковый дуб и др.	0,3	10—20
Засухоустойчивые мезофиты: виноград, грецкий орех, миндаль, кипарис, лавровишня	0,5	20—40
Мезофиты муссонного климата: citrusовые, мушмула, хурма японская, фейхоа, лавр камфарный, тунговое дерево	1,0—1,2	60—80
Гигрофиты муссонного или экваториального высокогорного климата: чайный куст, хинное дерево, новозеландский лен	1,6—2,0	120—150

Зона I (морозостойкость культур выше  $-4^{\circ}$ ). Могут культивироваться лимон, итальянский мандарин, итальянский апельсин, австралийские акации, эвкалипты.

Зона II (морозостойкость культур от  $-4$  до  $-6^{\circ}$ ). Могут культивироваться мандарин уншиу, апельсин Вашингтон-Нэвл, грейпфрут Дункан, эвкалипты зимостойкие, финик, олеандр и др.

Зона III (морозостойкость культур от  $-6$  до  $-8^{\circ}$ ). Могут культивироваться чай (китайские сорта), маслина, инжир, камфарное дерево, гваюла, лавр благородный, фейхоа, пальмы.

Зона IV (морозостойкость культур от  $-8$  до  $-10^{\circ}$ ). Могут культивироваться пробковый дуб, хурма японская, гранат, лавровишня, кипарис, инжир (зимостойкие сорта).

Зона V. Могут культивироваться наиболее морозостойкие сорта многолетних растений с наименьшей требовательностью к теплу.

В пределах указанных зон Селянинов дифференцировал территорию по обеспеченности влагой: избыточно влажная территория с ГТК более 2, влажная с ГТК от 2 до 1,2; недостаточно влажная с ГТК от 1,2 до 0,8, сухая с ГТК, равным 0,8 и менее. Для каждой зоны указаны ресурсы тепла за вегетационный период.

В итоге с учетом всех показателей выделены три фитоклиматические зоны:

1) citrusовых,

2) чая, тунга, лавра,

3) хурмы, инжира, граната, пробкового дуба, миндаля.

По степени обеспеченности влагой каждая зона разделена на подзоны. Например, зона 2 разделена на подзоны: сухую — ГТК менее 0,8; засушливую — ГТК от 0,8 до 1,2 и т. д. Для каждой подзоны определены культуры, которые могут культивироваться в ней. Например, в сухой подзоне зоны 2 можно культивировать только маслины; в засушливой подзоне зоны 2 — маслины, тунг, лавр и т. д.

Таким образом, Селянинов достаточно детально определил границы возможного распространения конкретных субтропических культур с последующим агроклиматическим описанием особенностей зон и подзон субтропиков СССР.

Позднее в Советском Союзе были проведены исследования условий произрастания субтропических культур в других странах мира.

## § 6. ХЛОПЧАТНИК

Ведущей культурой сельскохозяйственного производства в республиках Средней Азии является хлопчатник. Здесь он представлен многочисленными высокоурожайными сортами. Успешность возделывания хлопчатника и получение высококачественного волокна определяются, как показали исследования Л. Н. Бабушкина, главным образом климатическими и погодными условиями. Основные агроклиматические показатели хлопчатника, выражающие его потребность в свете, тепле и влаге, определены в условиях Средней Азии для сортов, произрастающих на незасоленных почвах при общепринятой агротехнике и достаточном увлажнении.

Хлопчатник — светолюбивое растение короткого дня. Прорастание его семян начинается при температуре 10—11°. После посева всходы хлопчатника различных сортов появляются при накоплении суммы эффективных температур выше 10°, равной 75—85°. Для наступления массовой фазы бутонизации у различных по скороспелости сортов хлопчатника требуется накопление различных сумм эффективных температур (табл. 61).

Следующая фаза развития хлопчатника — цветение — наблюдается в районах хлопковой зоны Средней Азии в основном в июле и только в ряде районов во второй половине июня.

Для наступления массовой фазы цветения необходимо также накопление определенных сумм эффективных температур; они указаны в табл. 61.

Период от цветения до раскрытия первых коробочек (у 50% растений) существенно зависит от режима поливов. Увеличение числа поливов вызывает удлинение этого межфазного периода, систематический недополив сокращает продолжительность периода.

Суммы эффективных температур, необходимые для наступления фазы раскрытия первых коробочек, определены для средних

Таблица 61

## Потребность разных сортов хлопчатника в тепле

Группа сортов по скороспелости	Сумма эффективных температур (град.)			
	выше 10° за период всходы— бутониза- ция	выше 10° за период за бутониза- ция— цветение	выше 13° за период цвete- ние—раскры- тие первых коробочек	выше 10° за период всходы— раскрытие первых коробочек
Очень ранние	370	400	635—645	1680—1690
Ранние	400	415	655—665	1720—1730
Средние	415—420	445	675—685	1795—1805
Среднепоздние	430	485	700—710	1875—1885
Поздние	435	530	720—730	1960—1970
Очень поздние	440	580—670	790—800	2100

норм и принятой схемы поливов при нижнем пределе эффективных температур 13° (табл. 61).

Указанные в таблице количественные агроклиматические показатели потребности в тепле сортов хлопчатника можно использовать для агроклиматических расчетов и агроклиматического районирования.

Для общей агроклиматической оценки термических ресурсов территории применительно к культуре хлопчатника можно использовать сумму эффективных температур за период вегетации от всходов до раскрытия первых коробочек. Вегетация хлопчатника практически заканчивается при наступлении осенних заморозков, которые часто повреждают растения и коробочки.

При исследовании проблемы влагопотребности хлопчатника в Средней Азии основное внимание обычно уделяется определению наиболее благоприятных для роста, развития и урожайности хлопчатника схем водоснабжения.

Оросительная норма 660 м<sup>3</sup>/га соответствует оптимальным условиям развития хлопчатника в Узбекистане. Биологические кривые водопотребления хлопчатника для условий Средней Азии, построенные разными исследователями, также выявили тесную связь между величиной водопотребления хлопчатника и его урожаем.

Считается, что агроклиматическое районирование по теплообеспеченности хлопчатника наиболее целесообразно проводить на основании сумм эффективных температур более 10°, которые следует подсчитывать от даты устойчивого перехода температуры воздуха через 10° весной до даты первого заморозка осенью.

Определение границ разной теплообеспеченности сортов, используемых в Средней Азии, потребовало изучения изменчивости указанных сумм эффективных температур применительно к этой территории. Специальная проработка материалов наблюдений позволила построить кривую обеспеченности сумм эффективных

температур выше 10°. С помощью этой кривой рассчитаны средние многолетние суммы эффективных температур (выше 10°), обеспечивающие в 50, 75, 90 и 100% лет массовое (50%) наступление фазы раскрытия первых коробочек у различных сортов хлопчатника. Эти данные приведены в табл. 62.

Таблица 62

Средние многолетние суммы эффективных температур выше 10°, обеспечивающие в 50, 75, 90 и 100% лет наступление массовой фазы раскрытия первой коробочки у разных сортов хлопчатника (на территории Средней Азии)

Сорта	Обеспеченность (%)			
	50	75	90	100
Самые ранние	1690	1790	1890	2040
Ранние	1730	1830	1930	2080
Средние	1800	1900	2000	2150
Среднепоздние	1890	1990	2090	2240
Поздние	1970	2070	2170	2320
Очень поздние	2100	2200	2300	2450

Используя табл. 62, можно для любого пункта Средней Азии определить обеспеченность хлопчатника теплом, зная ресурсы тепла в этом пункте, выраженные суммой эффективных температур более 10°. Данные табл. 62 легли в основу определения границ разной обеспеченности теплом среднепоздних и поздних сортов хлопчатника на территории Средней Азии. На рис. 88 приведена схематическая карта обеспеченности термическими ресурсами хлопчатника, составленная Бабушкиным.

Как следует из этой карты, значительная площадь Средней Азии по термическому режиму благоприятна для произрастания различных сортов хлопчатника. На этой карте проведены лишь две изолинии: северная соответствует сумме 2070° и 100% обеспеченности теплом скороспелых сортов хлопчатника, южная соответствует сумме 2450° и 100% обеспеченности теплом самых поздних сортов хлопчатника.

Оценку степени благоприятствования климатических условий для произрастания хлопчатника нельзя считать полной, если учитывать только теплообеспеченность этой культуры за вегетационный период. Одним из основных периодов вегетации хлопчатника является период от раскрытия первых коробочек до заморозков. От его длительности и термического уровня во многом зависят величина и качество урожая хлопчатника. Сроки раскрытия первых коробочек могут служить характеристикой степени благоприятствования метеорологических условий всего предшествующего периода развития, начиная с сева. После раскрытия первых коробочек дальнейшие темпы развития растения определяются

метеорологическим комплексом условий этого периода вплоть до заморозков.

Агроклиматическим показателем степени благоприятствования термического режима заключительного этапа развития хлопчатника считаются суммы эффективных температур (более  $10^{\circ}$ ) за период от начала раскрытия коробочек до заморозков. На территории Средней Азии средние величины этих сумм изменяются от  $0^{\circ}$  на севере до  $1500^{\circ}$  на юге. Кроме того, суммы изменяются и во времени. С учетом этих изменений для территории Средней Азии выделены зоны различной обеспеченности термическими ресурсами периода созревания хлопчатника (рис. 89).

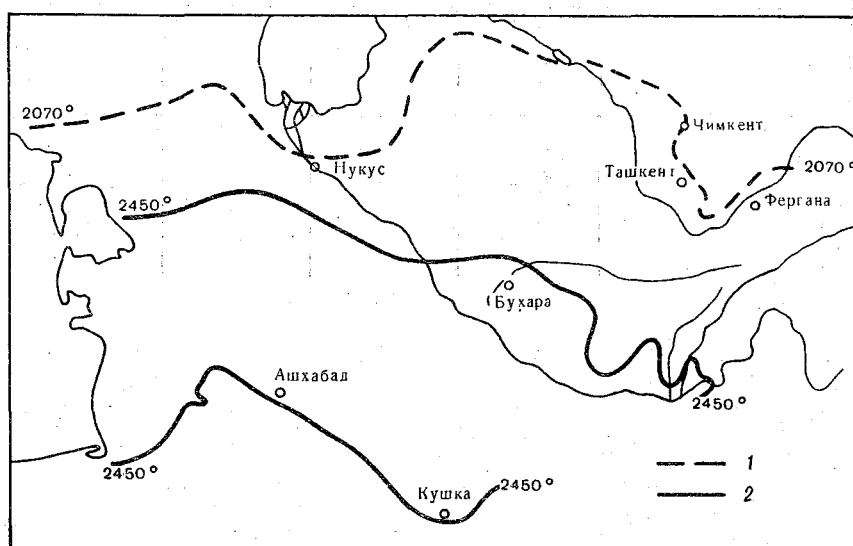


Рис. 88. Обеспеченность термическими ресурсами хлопчатника.

1 — обеспеченность скороспелых сортов, равная 100%, 2 — поздних (тонковолокнистых) сортов, равная 100%.

Краткую характеристику зон можно представить следующим образом.

Зона I — мало обеспеченная термическими ресурсами (суммы эффективных температур за рассматриваемый период от 0 до  $200^{\circ}$ ).

Зона II — недостаточно обеспеченная термическими ресурсами (суммы эффективных температур от 200 до  $400^{\circ}$ ).

Зона III — средне обеспеченная термическими ресурсами (сумма эффективных температур от 400 до  $700^{\circ}$ ).

Зона IV — обеспеченная термическими ресурсами (сумма эффективных температур от 700 до  $1000^{\circ}$ ).

Зона V — богатая термическими ресурсами (сумма эффективных температур от 1000 до  $1300^{\circ}$ ).

Зона VI — очень богатая термическими ресурсами (сумма эффективных температур более  $1300^{\circ}$ ).

Подробное агроклиматическое районирование территории хлопковой зоны республик Средней Азии (выполненное Л. Н. Бабушкиным) заключалось в выделении групп агроклиматических районов со сходными агроклиматическими показателями в каждом из агроклиматических округов. При этом основными агроклиматическими показателями служили следующие признаки:

1) общие термические ресурсы территории, выраженные суммой активных температур выше  $10^{\circ}$  за период от перехода средней суточной температуры через  $10^{\circ}$  до первых заморозков;

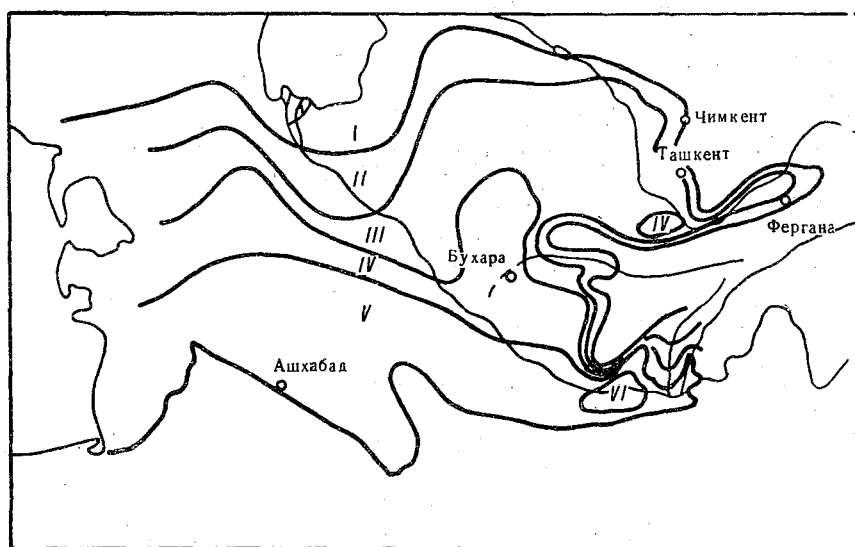


Рис. 89. Различная обеспеченность термическими ресурсами среднепоздних сортов хлопчатника в период осенней вегетации (от раскрытия первых коробочек до заморозков).

2) термические ресурсы за период осенней вегетации хлопчатника;

3) характеристика сухости осени (средняя относительная влажность воздуха в дневные часы);

4) термический режим весеннего посевного периода;

5) характеристика выпадения осадков весной;

6) характеристика степени суховейности территории.

Важно отметить, что районированием были охвачены территории, еще не использованные в сельском хозяйстве (огромные пространства Каракумов и Кызылкумов), которые, следовательно, представляют собой большие резервы для возделывания хлопчатника и других культур (при условии их орошения).

## **§ 7. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ДЛЯ КРУГЛОГОДИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА СВЕЖИХ ПРОДУКТОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Наша страна обладает значительным разнообразием агроклиматических условий. Это обстоятельство является благоприятным для выращивания самых различных сельскохозяйственных культур и их сортов. Правильное использование природных условий может обеспечить почти круглогодичное снабжение населения нашей страны свежими овощами и фруктами.

География сельскохозяйственных культур показывает, что на крайнем юге страны возделываются наиболее позднеспелые культуры. С продвижением на север по мере сокращения длины вегетационного периода они заменяются более скороспелыми и ультра-скороспелыми. Созревание большинства культур происходит почти одновременно — осенью. В результате этого в сентябре—октябре создается изобилие овощей, фруктов и винограда, которые трудно хранить, быстро транспортировать и перерабатывать.

Подбор культур и сортов по природным зонам складывался исторически и определялся двумя причинами:

1) желанием получить наибольший урожай, 2) слабыми связями между отдельными зонами, отсутствием транспорта, способного быстро, с минимальными потерями, перевозить свежие продукты.

В современных условиях можно более правильно использовать разнообразие климатов нашей страны и удлинить период потребления населением свежих овощей, фруктов, ягод, бахчевых культур и винограда. Для этого необходимо в наиболее жарких районах наряду с возделыванием поздних культур, определяющих здесь общее направление земледелия, выделить площади для выращивания самых скороспелых растений, которые будут созревать в конце апреля — начале мая. В других районах необходимо так подобрать сорта, чтобы население с апреля по декабрь—февраль было обеспечено свежими овощами, картофелем, ягодами, фруктами и виноградом. Таким образом, в нашей стране можно в течение 8—10 месяцев в году иметь свежие продукты. Если учесть, что часть продуктов, не теряя пищевых качеств, сохраняется 2—3 месяца (лук, редис, капуста, картофель, ягоды, яблоки, груши и др.), то население практически круглый год может быть обеспечено свежими овощами и фруктами.

Эту возможность можно показать на примере винограда. В Советском Союзе возделываются сотни сортов винограда, отличающихся экологическими свойствами. Их классифицируют на пять основных групп: очень ранние, ранние, средние, поздние и очень поздние. В южных районах Средней Азии в июне созревают очень ранние сорта винограда; очень поздние сорта созревают здесь в августе—сентябре. В Крыму и Западном Закавказье виноград созревает в сентябре—ноябре и т. д.



Детальный агроклиматический расчет сроков созревания различных сортов винограда с учетом тепла и влаги в различных районах нашей страны дан на рис. 90.

Как следует из рисунка, при правильном учете природных условий можно так распределить сроки созревания винограда, что население будет иметь его свежим 7—8 месяцев в году, а при правильном хранении и до 10 месяцев. Этот вывод подтвержден опытами научно-исследовательских учреждений и достижениями передовиков сельского хозяйства.

Аналогичные агроклиматические расчеты были выполнены и для овощных культур: томатов, огурцов и капусты. В соответствии с ними непрерывное снабжение населения свежими овощами может быть обеспечено с конца апреля по март следующего года. Если улучшить хранение овощей, то появится принципиальная возможность снабжать население свежими овощами круглый год.

Метод непрерывного производства свежих продуктов сельского хозяйства путем использования разнообразия агроклиматических условий страны вошел в научную литературу под названием природного (географического) конвейера.

Кроме географического конвейера существенным фактором в решении проблемы круглогодичного производства свежих продуктов является парниково-тепличное хозяйство, которое особенно интенсивно развивается в нашей стране в последние годы. Так, если в 1968 г. площадь всего хозяйства защищенного грунта составляла 5948,9 га, то в 1970 г. она увеличилась до 8757,1 га. Валовое производство лишь овощей в защищенном грунте достигло в 1970 г. 298 269 т. В перспективе среднее производство овощей в защищенном грунте на каждого жителя СССР должно возрасти до 9,5 кг/год.

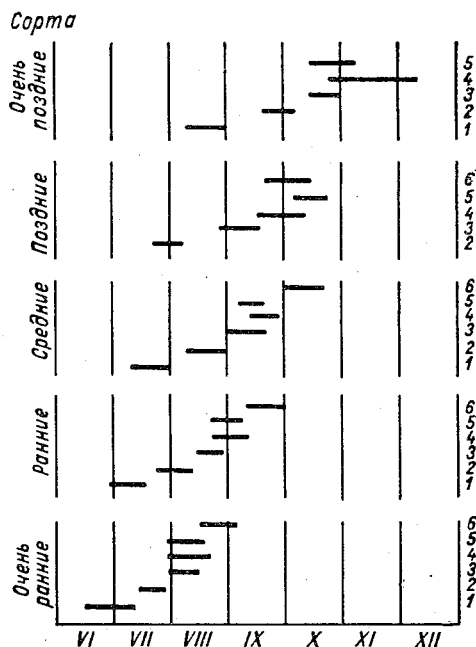


Рис. 90. Сроки созревания винограда.

1 — южные районы Туркменской, Узбекской и Таджикской ССР, 2 — Самарканд—Ташкент, 3 — Кировобадский район Азербайджанской ССР, 4 — Западная Грузия, 5 — Южный берег Крыма, 6 — средняя часть Молдавии.

## **§ 8. ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПОЯВЛЕНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ БОЛЕЗНЕЙ И ВРЕДИТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

Болезни и вредители культурных растений наносят большой ущерб сельскому хозяйству не только в данном году, но и в последующие. Например, повреждение виноградников некоторыми вредителями может вызвать уменьшение урожая винограда в течение нескольких лет.

Для разработки специальных мер защиты растений от вредителей и болезней необходимо иметь различные сведения. Нужно знать, например, 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.

На территории нашей страны практически во всех сельскохозяйственных районах распространены в той или иной мере вредители и болезни растений. Степень их развития и вредоносность в значительной мере зависят от климатических и погодных условий.

Г. К. Пятницкий впервые в нашей стране начиная с 30-х годов приступил к изучению влияния погодных и климатических условий на развитие и распространение главных вредителей и болезней сельскохозяйственных культур. В дальнейшем работы в этом направлении были продолжены П. Г. Чесноковым, А. И. Руденко, А. С. Подольским и др.

Исследованиями установлено, что наибольший ущерб сельскохозяйственным растениям наносят насекомые. Это объясняется разнообразием их видов, большой плодовитостью и значительным диапазоном адаптации к внешним условиям.

Существенный ущерб сельскохозяйственным культурам наносят и различные болезни. В этом случае ущерб обусловлен нарушением основных функций растения и его частей, что выражается в изменении структуры и физиологии клеток и тканей. Например, зерновые культуры страдают чаще всего от головни и ржавчины. Картофель в теплые и влажные годы может настолько поражаться фитофторой, что урожай его понижается на 30—50% и более. Виноград чаще всего повреждается милдью, оидиумом и вредителем — филлоксерой.

В качестве примера рассмотрим влияние климата на вредителей сельскохозяйственных культур. Из насекомых очень большой вред злаковым культурам наносит шведская муха, широко распространенная на территории СССР. Характерно, что она обладает высокой экологической пластичностью к условиям среды. Ее массовое размножение наблюдается при температуре воздуха 18—30° и относительной влажности не ниже 60%. Следовательно, в север-

ных районах СССР низкие температуры неблагоприятны для ее массового размножения. На юге страны высокие температуры и низкая влажность являются также ограничивающими факторами.

Ареал повышенной численности шведской мухи зависит не только от климатических условий летнего периода, но и от температуры зимы. Так, если личинки шведской мухи находятся при температуре  $-4^{\circ}$  в течение трех недель, то 60% их погибает, а суточное пребывание личинок при температуре  $-8,5^{\circ}$  вызывает их гибель на 50%. Поэтому в районах с незначительным по высоте снежным покровом и низкими температурами (например, в Якутии) шведская муха перезимовать не может, хотя условия лета здесь благоприятны для ее развития.

Определен показатель, характеризующий благоприятные условия существования для этого вредителя. Он выражается через коэффициент увлажнения ГК, рассчитанный по формуле

$$ГК = \frac{P}{\sum(t-5)},$$

где  $P$  — сумма осадков за период с температурой, превышающей предел развития шведской мухи ( $5^{\circ}$ );  $t$  — средняя месячная температура тех месяцев, когда она в среднем выше  $5^{\circ}$ .

Анализ фактических материалов численности шведской мухи и сопоставление их с рассчитанными значениями ГК по территории СССР позволили сделать следующий вывод: территория с показателем ГК от 4,5 до 6,5 характеризуется постоянно повышенной численностью шведской мухи; 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 шведской мухи мала, здесь отсутствуют заметные повреждения растений.

На основе многочисленных исследований П. С. Чесноков произвел районирование территории Советского Союза с выделением зон сравнительного вреда, причиняемого шведской мухой, дав при этом детальную характеристику этих зон (рис. 91).

В зоне I (ГК равен 4,5—6,5) посевы зерновых личинками шведской мухи заражены ежегодно. В годы массового заражения повреждение посевов этим вредителем достигает 70%.

В зоне II (ГК равен 6,5—7,5) шведская муха ежегодно повреждает посевы ячменя и пшеницы; зараженность посевов ею достигает 50—60%. Снижение вредоносности (по сравнению с зоной I) объясняется несовпадением сроков массовой откладки яиц с критической фазой развития растений (пшеницы и ячменя), а также значительным количеством осадков в раннелетний период.

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 возрастает

Таблица 63

## Глюкоацидометрические анализы винограда и оценка приготовленных вин

Высота участков над уровнем моря (м)	Сахаристость (%)	Кислотность (%)	Дегустационная оценка (баллы)
25	44,0	6,6	8,1
68	50,8	7,9	8,3
113	53,5	8,3	8,5
300	33,0	8,7	7,0

с виноградников в Ялте. При этом качество винограда в одном и том же районе может существенно изменяться в зависимости от

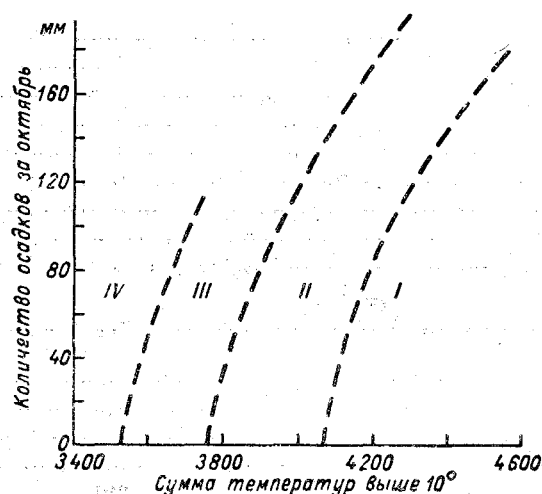


Рис. 92. Зависимость качества десертных и крепких вин от суммы температур выше 10° и количества осадков в октябре на Южном берегу Крыма.

Зоны урожая: I — высокого качества, II — хорошего, III — посредственного, IV — низкого качества.

высоты расположения виноградников. Для иллюстрации последнего положения в табл. 63 приведены данные о сахаристости и кислотности ягод винограда с участков, расположенных на разных высотах в Магараче, и оценка приготовленных из них вин.

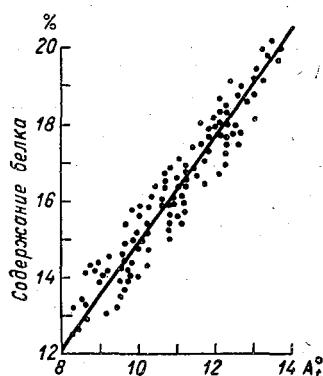
Установлена также тесная зависимость изменения качества десертных и крепких вин от термических условий периода вегетации и от количества осадков за месяц до сбора винограда (рис. 92).

Выявлено, что все химические вещества, которые откладываются в зернах, ягодах, клубнях, корнях растений, по своему проис-

хождению являются вторичными. Первичные вещества создаются в листовом аппарате растений.

Исследование климатических условий накопления различных веществ в растениях позволило получить следующую важную закономерность. В умеренно мягком и теплом климате при оптимальной обеспеченности растений влагой создаются благоприятные условия для образования и накопления в растениях сахаров, крахмала, жира, масла и т. д. При высокой температуре, значительной сухости воздуха и почвы в растениях создаются условия для образования белковых веществ высокого качества.

Рис. 93. Зависимость процентного содержания белка в зерне яровой пшеницы от суточной амплитуды температуры воздуха  $A^{\circ}_t$  за вегетационный период на Европейской территории СССР, в Казахстане, Западной и Восточной Сибири.



О содержании белка и азота в зерне пшеницы в различных странах Западной Европы и в СССР можно судить по данным табл. 64.

Таблица 64

Содержание белка и азота в зерне пшеницы в разных странах

Страна	Содержание (‰)	
	белка	азота
Шотландия	12,19	1,95
Англия	12,09	2,03
ГДР и ФРГ	13,94	2,28
Европейская территория СССР	17,87	2,86
Восточный Казахстан	19,17	3,6
Западная Сибирь	18,88	3,0
Восточная Сибирь	18,50	2,9
Дальний Восток	16,90	2,7

Высокое содержание белка в наших пшеницах объясняется прежде всего особенностями климата Советского Союза. На рис. 93 показана зависимость процентного содержания белка в зерне яровой пшеницы от суточной амплитуды температур воздуха. Уместно

заметить, что наше зерно по качеству не имеет себе равных на мировом рынке.

Многими исследователями 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 СССР с повышением температуры в период клубнеобразования:

Средняя температура воздуха (град.) . . . . .	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%.

Следует заметить, что агроклиматические работы не должны ограничиваться лишь определением связей агроклиматических условий с качеством сельскохозяйственной продукции. В принципе возможно направленное изменение качества сельскохозяйственной продукции при условии направленного изменения агроклиматических ресурсов территории.

Примером могут служить исследования В. А. Ярошевского и В. П. Тотылевой. Авторы составили для яровой пшеницы уравнения связи, которые могут быть использованы для долгосрочного прогнозирования количества белка в зерне этой культуры. Последнее имеет важное производственное значение для заблаговременного определения районов заготовки высокобелкового зерна.

Кроме того, ряд уравнений, предложенных ими, дает возможность в засушливых районах рассчитать нормы орошения, а в районах избыточного увлажнения — нормы осушения, необходимые для получения пшеницы с заданным содержанием процента белка.

Таким образом, агроклиматические исследования позволяют не только прогнозировать, но и программировать сельскохозяйственную продукцию заданного качества. Работы такого плана в настоящее время являются особенно перспективными.

## Глава IX

### ИЗМЕНЕНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

---

Изменение агроклиматических ресурсов любого географического района, как и всей планеты в целом, связано с изменениями собственно 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 изменением 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 меняться примерно с середины XX в. вследствие быстрого развития техники и роста населения Земли.

Воздействие человека на климат и связанные с этим изменения агроклиматических ресурсов в настоящее время можно разделить на две основные группы:

- 1) направленные воздействия человека на климат, являющиеся продуктом сознательной, целенаправленной деятельности человека;
- 2) ненаправленные воздействия на климат, появляющиеся как побочные следствия при решении человеком различных производственных задач. Иногда последние могут привести к резко отрицательным результатам.

## **§ 1. НАПРАВЛЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА НА КЛИМАТ**

Прежде чем рассматривать результаты направленного изменения климата и агроклиматических ресурсов, выявим факторы, под влиянием которых могут происходить такие изменения.

Известно, что климат Земли определяется двумя основными факторами: солнечной радиацией, приходящей на верхнюю границу атмосферы, и характером подстилающей поверхности. Распространенное ранее мнение о том, что атмосферная циркуляция также является климатообразующим фактором, не следует считать правильным, ибо движение воздушных масс — это один из элементов климата, а не внешний по отношению к климату фактор.

Под подстилающей поверхностью как климатообразующим фактором следует понимать такую комплексную характеристику, которая прежде всего учитывает строение рельефа планеты: размеры поверхности и высоты континентов, размеры поверхности и глубины океанов (морей). Другие характеристики подстилающей поверхности (степень облесения, обледенения и пр.) можно в частных случаях считать климатообразующими факторами, если рассматривать климат сравнительно небольшого по времени периода.

Чтобы изменить климат какой-либо местности, необходимо изменить какой-либо из указанных климатообразующих факторов. Поскольку солнечная радиация воздействию человека пока не поддается, направленное изменение климата следует связывать с изменением характера подстилающей поверхности. Это вызывает в основном изменение микроклимата (реже мезоклимата) тех территорий, на которых меняют 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. Ее решение помогает дать дифференцированную характеристику климата относительно небольших территорий, содействуя тем самым его правильному учету в практике сельского хозяйства. В настоящее время разработана система различных мероприятий (агротехнических, мелиоративных и пр.), которые существенно меняют микроклимат полей или довольно значительных территорий. В принципе эти мероприятия основаны на мерах по изменению характера подстилающей поверхности. Рассмотрим изменение микроклимата в зависимости от некоторых из таких мероприятий.

### **1. Влияние орошения на микроклимат**

Большая часть земледельческих районов нашей страны расположена в климатических зонах с недостаточным увлажнением. В таких районах применяют орошение. Основы режима орошения, определяемого погодными условиями, запасами влаги в почве, заданным урожаем и другими факторами, изложены в главе III, § 2,



поэтому в данном разделе рассмотрим лишь влияние орошения на микроклимат орошаемых полей.

Орошение приводит к увеличению запасов почвенной влаги, изменению свойств подстилающей поверхности и метеорологического режима приземного слоя воздуха. Практика и теоретические расчеты показали, что наибольшие изменения происходят в условиях климатов сухих степей, полупустынь и пустынь. Это можно наглядно проиллюстрировать данными табл. 65.

Таблица 65

**Изменение метеорологического режима в июле—августе на обильно орошаемых полях с сомкнутым интенсивно транспирующим травостоем по сравнению с неорошаемыми полями в различных географических зонах**

Зона	Разности в 13 часов						температура поверхности почвы (град.)
	температура воздуха (град.)		абсолютная влажность воздуха (мб)		недостаток насыщения (мб)		
	высота (м)						
	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	
Лесостепная, южная часть	—2	—1	3	1	—5	—3	—15
Степная, западная часть	—3	—2	5	2	—10	—5	—20
Степная, восточная часть (Заволжье)	—3	—2	5	3	—10	—5	—20

Под влиянием орошения прежде всего изменяются составляющие теплового баланса. Их изменение вызывает изменение всего метеорологического режима почвы и приземного слоя воздуха.

Рассмотрим изменения, происходящие с составляющими теплового баланса, на орошенном поле в оазисе по сравнению с неорошаемой частью пустыни, прилегающей к нему.

Количество приходящей солнечной энергии одинаково в пустыне и оазисе. Но в оазисе величина альбедо поверхности почвы вследствие орошения и влияния растительного покрова будет меньше, чем песка в пустыне. Альбедо этих поверхностей соответственно около 20 и 25—35%. В оазисе резко уменьшается эффективное излучение по сравнению с пустыней, что объясняется более низкой температурой поверхности почвы и травостоя, а также большей влажностью приземного слоя воздуха. Указанные причины приводят к увеличению радиационного баланса оазиса примерно на 40%. Эта закономерность впервые была открыта в 20-х годах А. А. Скворцовым.

Затрата тепла на испарение в оазисе резко возрастает. Вследствие этого в оазисах значительно уменьшается поток тепла в атмосферу. Часто днем тепловой поток может быть направлен от атмосферы к поверхности земли. Для примера на рис. 94

приведена схема изменения составляющих теплового баланса в условиях климата полупустыни. Как видно из этого рисунка, на поливном хлопковом поле основная часть радиационного тепла тратится на суммарное испарение (87%), тогда как в полупустыне — на теплообмен почвы с воздухом (86%).

Для характеристики изменения метеорологического режима на орошаемом хлопковом поле по сравнению с полупустыней в табл. 66 приведены результаты параллельных наблюдений за средними суточными температурами почвы и воздуха и влажностью воздуха. Эти результаты свидетельствуют о резком снижении температуры как на поверхности орошенного поля (на 9—13°), так и на глубине 10—20 см. Температура воздуха на орошенном поле также ниже (на 3° на высоте 150 см). Кроме того, в приземном слое воздуха над хлопковым полем явно прослеживается инверсия.

Разница в относительной влажности воздуха особенно велика, что является следствием меньшей турбулентности над орошенным полем.

Еще большие различия прослеживаются в дневные часы. Так, например, днем температура поверхности почвы в полупустыне достигает 70°, тогда как в оазисе она не превышает 35°. Относительная влажность в оазисе составляет 40—45%, а в полупустыне — 10—15%.

В средней полосе орошение также приводит к изменению микроклимата, но эти изменения заметно меньше. Однако в засушливые периоды и здесь различия в метеоро-

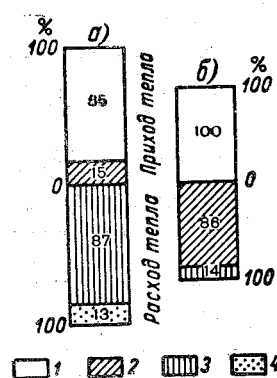


Рис. 94. Тепловой баланс.

а — на поливном хлопковом поле, б — в полупустыне. 1 — радиационное тепло; тепло, затраченное: 2 — на нагревание воздуха, 3 — почвы, 4 — на испарение.

Таблица 66

Микроклимат полупустыни, сухого и орошаемого полей

Наблюдаемый участок	Средняя суточная температура						Средняя суточная относительная влажность воздуха (‰) на высоте (см)		
	почвы на глубине (см)			воздуха на высоте (см)					
	0	10	20	20	50	150	20	50	150
Полупустыня Хлопковое поле «30 лет Октя- бря» (неполив- ное)	38,3 29,4	35,1 27,6	33,5 27,5	29,8 26,7	29,6 26,9	29,4 27,5	31 52	32 50	31 42
Пахта-Арал (оро- шаемое)	25,4	25,1	25,0	24,6	24,5	26,0	74	73	56

логическом режиме орошенных и неорошенных полей довольно значительны. Например, в Каменной Степи после полива пшеницы при суховейной погоде разница температуры на поверхности почвы орошенного и неорошенного поля в дневные часы может достигать 25—28°. Температура воздуха на высоте 20 см может различаться на 10° и более. Разности относительной влажности внутри травостоя доходят до 40—50%. Необходимо отметить, что в ночные часы и в пасмурную погоду днем микроклиматические различия орошаемых и неорошаемых полей сглаживаются.

Представляет интерес оценить в целом для Земли термический эффект орошения.

Существующая сейчас орошаемая территория равна примерно 2 млн. км<sup>2</sup>, что составляет около 0,4 всей поверхности нашей планеты. Эта территория, по подсчетам М. И. Будыко, уменьшает альбедо Земли приблизительно на 0,03%. Считая, что изменение альбедо Земли на 1% меняет среднюю температуру приземного слоя воздуха на 2,3°, Будыко нашел, что орошение в целом для Земли повышает среднюю температуру приземного слоя воздуха на 0,07°.

## **2. Влияние водохранилищ на микроклимат**

Изменение микроклимата под воздействием больших по площади, но обычно мелких водохранилищ проявляется над самим водоемом и в довольно узкой зоне побережья. Например, влияние даже Ладожского озера сказывается лишь на температуре воздуха побережья (не превышает  $\pm 0,5^\circ$ ), распространяясь всего на несколько километров в глубь суши. Заметнее оно проявляется в длине безморозного периода, который увеличивается на побережье на 2—3 недели.

Водохранилища в юго-восточных районах ЕТС (Цимлянское, Волгоградское, Куйбышевское) незначительно изменяют температуру на побережье. Так, в теплое время года температура воздуха на берегах водохранилищ на 2—3° ниже, чем в районах, удаленных от них. Это воздействие затухает на расстоянии 3—4 км от берега.

Водохранилища увеличивают влажность воздуха, особенно на подветренной стороне. В наибольшей мере влияют водохранилища на ветер: над ними и в прибрежной полосе скорость ветра увеличивается на несколько десятков процентов; днем развиваются довольно сильные бризы со скоростью до 3—4 м/сек.

## **3. Влияние осушения болот на климат**

В ряде районов нашей страны большие площади занимают заболоченные почвы: в Прибалтийских республиках, Белоруссии, на северо-западе Украины, в центральной и северной частях ЕТС, в Сибири. В этих районах интенсивно проводят осушительные мелиорации.

Микроклимат на осушенных болотах значительно изменяется в зависимости от степени осушения, окультуренности и минерализованности почв, мощности травостоя. На полностью осушенных и освоенных почвах микроклимат становится таким же благоприятным для роста и развития сельскохозяйственных растений, как и на суходолах.

Радиационный баланс в дневные часы на осушенном болоте на 10—12% больше, чем на суходоле, что объясняется уменьшением эффективного излучения (при хорошо развитом травостое).

Основной статьей расхода теплового баланса осушенным болотом, занятым под культуру, является затрата тепла на испарение травостоя. Она составляет в среднем 80% приходной части баланса. На суходоле эта величина изменяется от 35 до 60% в зависимости от степени увлажнения почвы.

Торф имеет плохую теплопроводность и большую теплоемкость. Вследствие этого, а также большого испарения температурный режим внутри травостоя осушенного болота на поверхности почвы и в корнеобитаемом слое существенно отличается от режима на суходоле. Минимальные температуры на поверхности осушенных болотных почв в среднем ниже, чем на соседних суходолах, на 3—4°, а иногда и на 5°. Максимальные температуры также понижены, если сильно развит травостой. Средние месячные температуры почвы в мае — июне в зоне избыточного увлажнения Европейской части СССР на осушенных болотах ниже, чем на суходоле, на 5—6° на глубине 5 см, на 6—7° на глубине 10 см и на 7—8° на глубине 20 см (растительность — сеяные луговые травы).

Различия в температуре и влажности воздуха между осушенным болотом и суходолом больше всего проявляются внутри травостоя. На высоте 150—200 см они сглаживаются. По данным ряда измерений, на высоте 150 см разница в средних суточных температурах воздуха между осушенным участком болота и суходола составляет всего 0,3—0,6°. За счет этого сумма активных температур выше 10° за вегетационный период на осушенном болоте может уменьшиться на 50—90°, что составляет 2—4% по отношению ко всей сумме за указанный период. Поэтому вегетация растений на осушенных болотах может затянуться незначительно — всего на 3—6 дней. Влажность воздуха на осушенном болоте всегда выше, чем на суходоле.

Наибольшую опасность для сельскохозяйственных культур на осушенном болоте представляют заморозки. Длительность безморозного периода в воздухе на уровне 2 м на слабо осушенном болоте на 12—14 дней меньше, а на лугах с мощным травостоем, созданных на осушенных болотах, на 20—29 дней меньше по сравнению с соседними суходолами. В зависимости от местоположения осушенных участков безморозный период на них вообще может отсутствовать, т. е. заморозки наблюдаются во все летние месяцы. Интенсивность заморозков на почве доходит до —2, —3° (временами до —5, —6°). В районах, где средняя длительность безморозного периода (по данным температуры воздуха) на суходолах

менее 125—130 дней, заморозки на поверхности почвы и на лугах осушенных болот наблюдаются в течение всех летних месяцев.

Таким образом, в первоначальный период осушенные участки являются более холодными и морозоопасными по сравнению с суходолами, и только последующее освоение их в сельском хозяйстве приводит к значительному улучшению микроклимата.

Для примера в табл. 67 сравнивается длительность безморозного периода на высоте 2 м на осушенных болотах разной степени окультуренности. Из таблицы следует, что разница в длительности безморозного периода достигает 23—29 дней при слабом осушении. На хорошо освоенных осушенных участках безморозный период меньше всего лишь на 7 дней по сравнению с суходолом.

Таблица 67

Влияние степени осушки на изменение длительности безморозного периода по сравнению с суходолами

Метеостанция	Безморозный период		
	начало	конец	длительность (дни)
Луга на осушенных болотах			
Николаевское	13 V	27 IX	136
Замошье, болотная	13 V	11 IX	110
Разность			26
Григорово	17 V	23 IX	128
Новгород, болотная	29 V	6 IX	99
Разность			29
Кировская опытная станция	21 V	17 IX	118
Кировское луговое хозяйство	4 VI	8 IX	95
Разность			23
Хорошо осушенные окультуренные и минерализованные участки			
Пушкин, опытная станция	18 V	26 IX	130
Ленинград, Фарфоровский пост	22 V	23 IX	123
Разность			7
Василевичи	2 V	3 IX	153
Бабичи	6 V	30 IX	146
Разность			7

Исследование микроклимата осушенных болот разной степени окультуренности позволило подразделить его на четыре градации:

- 1) микроклимат неосушенных болот;
- 2) слабо осушенных болот,
- 3) болот, интенсивно осушенных, но со слабой минерализацией почв, занятых сельскохозяйственными культурами,
- 4) болот, интенсивно осушенных, хорошо окультуренных, с высоко минерализованными почвами.

В указанном порядке наблюдается улучшение микроклимата осушенных болот и интенсификация использования их в сельском хозяйстве.

Исследования последних лет, проведенные на Северо-Западе ЕТС, показали, что в ряде районов этой территории на осушенных болотах, используемых под определенные культуры, необходимо орошение.

#### **4. Влияние полезащитных лесных полос на микроклимат**

В засушливых лесостепных и степных районах для улучшения микроклиматических условий на полях давно применяется посадка ограждающих лесных полос.

По идее и при участии В. В. Докучаева в Каменной Степи были заложены лесные полосы, которые наглядно доказали их значительное влияние на улучшение микроклимата полей.

Начиная с Докучаева изучением воздействия лесных полос на микроклимат полей занимались многие исследователи, особенно большой вклад внесли ученые Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (М. И. Будыко, О. А. Дроздов, П. А. Воронцов, С. А. Сапожникова, М. И. Юдин и многие другие). В их работах даны количественные показатели изменения микроклиматических характеристик в разных климатических районах при разных условиях погоды. Полученные результаты позволили составить конкретные рекомендации по расположению лесных полос, величине межполосной клетки, степени ажурности насаждений и т. д.

Преимущество произрастания культур в межполосных полях особенно проявляется в годы с засухами и суховеями. Лесные полосы изменяют структуру и скорость ветра, способствуют уменьшению выдувания почв, снегонакоплению, более равномерному распределению снега по площади поля. Они улучшают водный и термический режим почв, уменьшают поверхностный сток талых и дождевых вод.

Воздействие на воздушный поток лесных полос определяется их конструкцией. Лучшей считаются ажурные полосы с небольшими просветами по всей высоте. Воздушный поток, встречаясь с такой полосой, проникает через нее сильно ослабленным и с резко уменьшенной величиной турбулентных вихрей. Большая часть потока (60—70%) переваливает через нее. За полосой, примерно на расстоянии 3—5 высот полосы, наблюдается зона затишья. За нею скорость ветра опять возрастает.

Изменение структуры ветра приводит к уменьшению турбулентного обмена в зоне до 10 высот за полосой; в тонком припочвенном слое воздуха этот эффект прослеживается на расстоянии 15—20 высот полосы.

Вследствие изменения турбулентного обмена происходит изменение температуры, влажности воздуха и почвы, испарения и других характеристик.

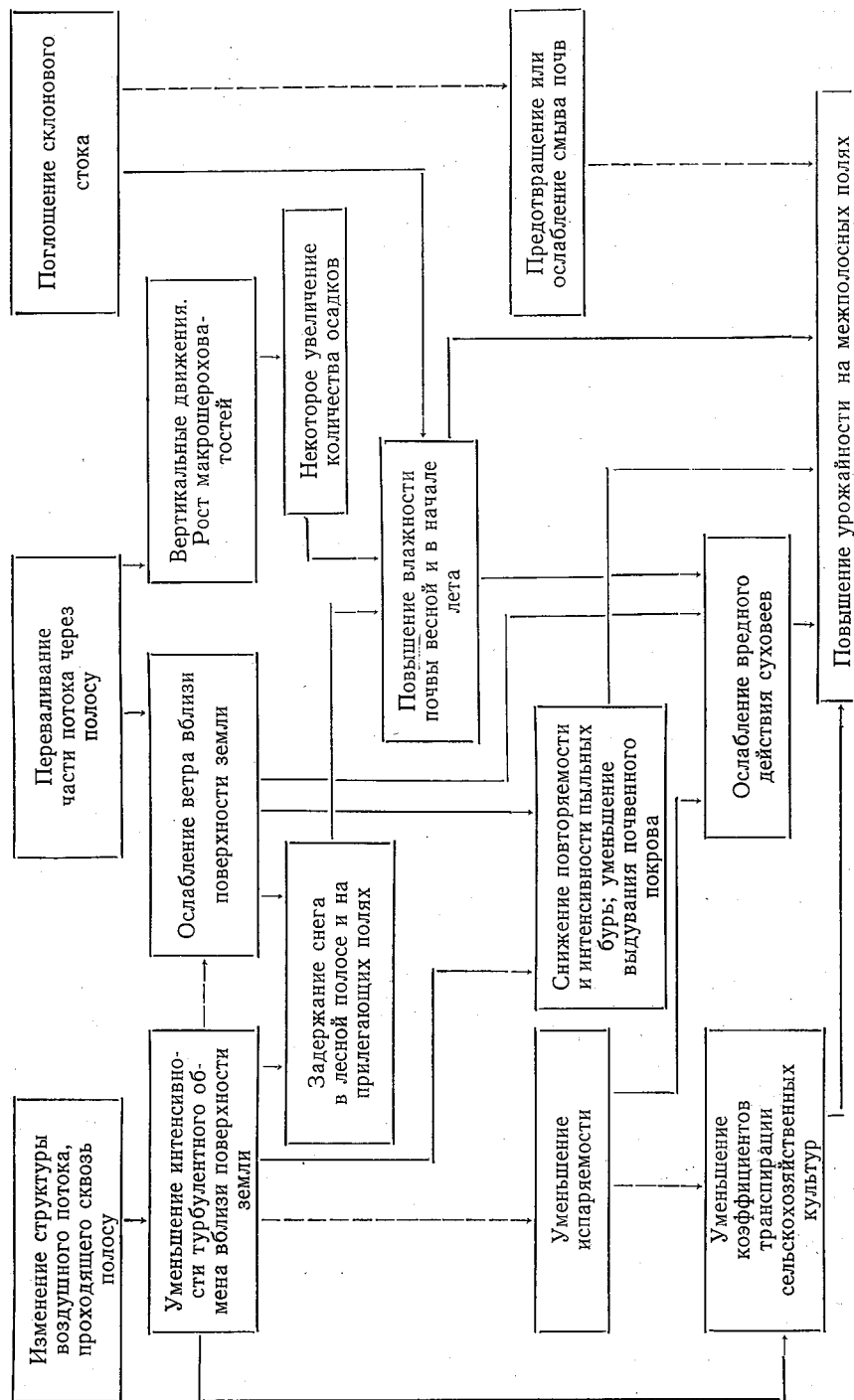


Рис. 95. Действие лесных полос на метеорологический и гидрологический режим и на урожайность.

По исследованиям С. Б. Мاستинской, в засушливом Заволжье снег распределяется в клетке межполосного поля неравномерно. Наибольшее снегонакопление наблюдалось у северных опушек, где запасы воды в снеге достигали 300—750 мм. На остальной части поля они колебались от 40 до 200 мм. В целом на всем поле запасы воды в снеге были на 40—60 мм больше, чем в открытой степи.

В период таяния с опушек и лесополос вода стекает на ранее освободившиеся от снега участки межполосного поля и увлажняет почву дополнительно. Весной в среднем запасы продуктивной влаги

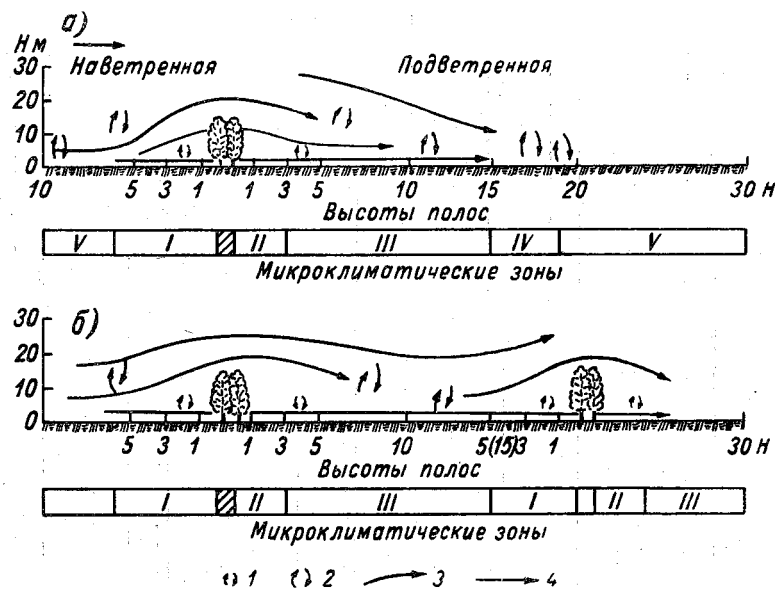


Рис. 96. Схема влияния ажурных лесных полос на микроклимат межполосных полей.

*a* — большие межполосные клетки (ширина более 25—30 *H*), *б* — малые межполосные клетки (ширина менее 25 *H*). Микроклиматические зоны в приземном слое воздуха: *I* — предполосная восходящих токов, *II* — затишья, *III* — уменьшенной турбулентности, *IV* — усиления турбулентности (выдувание), *V* — нормальной турбулентности открытой степи; 1 — мелкие вихри, 2 — крупные вихри, 3 — воздушные потоки, 4 — направление ветра.

на межполосном поле в метровом слое, по данным Мастинской, на 40—50 мм больше, чем в открытой степи. Урожай яровой пшеницы на участках, расположенных вблизи лесных полос (до 100 м), в 2 раза, а в средней части поля в 1,5 раза больше, чем в открытой степи.

Общее влияние полезащитных лесных полос на микроклимат прилегающих территорий и урожай сельскохозяйственных культур можно представить в виде схемы, которая дана на рис. 95.

Исследованиями установлено существование пяти микроклиматических зон на широких межполосных полях, которые схематично представлены на рис. 96. На рис. 96 *a* дана схема зон на клетках



шириной более 25—30 высот полосы, а на рис. 96 б — для клеток шириной менее 25 высот.

Первая зона располагается перед полосой. В ней примерно на расстоянии 4—5 высот наблюдается поднятие воздушного потока и некоторое уменьшение турбулентности в приземном слое. С подветренной стороны полосы, непосредственно за ней, лежит вторая зона, ее размеры колеблются от 0 до 3—5 высот. Для этой зоны характерно затишье. Днем температуры здесь несколько повышены (на 1—2°), а ночью понижены по сравнению с открытой степью. Зимой здесь образуются самые большие сугробы. Зона отличается наиболее благоприятными условиями для роста и развития сельскохозяйственных культур, поэтому урожайность их здесь повышена.

Следующая, третья зона начинается на расстоянии от 5 высот и простирается на расстояние до 15 высот от полосы. В ней все еще ослаблена скорость ветра и турбулентность, несколько повышена температура и влажность воздуха (но меньше, чем во второй зоне). Весной и летом запасы почвенной влаги в этой зоне больше, чем в степи, за счет зимнего дополнительного накопления снега.

В четвертой зоне происходит восстановление воздушного потока, турбулентность здесь повышена. Поэтому летом в этой зоне испарение повышено, а температура и влажность воздуха понижены; зимой происходит выдувание снежного покрова. В пятой зоне условия мало отличаются от открытой степи.

Из рис. 96 б следует, что при меньшей ширине клетки исчезают четвертая и пятая зоны. Такие лесные полосы заложены в Каменной Степи. Они создают устойчивое повышение урожая всех культур.

Как уже отмечалось, от конструкции лесных полос зависит изменчивость микроклимата полей, поэтому выбор конструкции — важный вопрос полезащитного лесоразведения. Справедливо отмечено, что оптимальная конструкция может быть определена только при раздельном учете летнего и зимнего влияния полосы.

## **5. Влияние снегозадержания на микроклимат**

Снегозадержание существенно влияет на микроклимат. Благодаря этому приему регулируется температурный режим почвы зимой, от которого зависят условия перезимовки озимых и плодовых. Кроме того, весной и в начале лета под влиянием снегозадержания существенно изменяется влажность почвы. Запасы влаги на полях со снегозадержанием намного выше, чем без него, особенно в засушливые годы. В результате микроклимат поля со снегозадержанием в весенне-летний период заметно отличается от микроклимата поля без снегозадержания.

Снегозадержание осуществляется с помощью кулис из растений (многолетних, однолетних и др.), искусственных защит (щитов, изгородей) и т. д. Можно использовать и сам снег, создавая снегопаками валы и сугробы.

Анализу влияния снегозадержания на микроклимат посвящены многие исследования А. М. Шульгина. Им показано, что в Восточной Сибири, где с полей в зимнее время снег сдувается, создаются суровые условия для перезимовки озимых. В летнее время здесь нехватает влаги в почве. Применение кулис в этом районе существенно уменьшает сдувание снега, позволяет накопить его на полях, что способствует хорошему увлажнению почвы весной.

Таблица 68

Эффективность регулирования снежного покрова и температуры почвы снегозадержанием. Барнаул

Участок	Средняя высота снежного покрова (см)	Минимальная температура в слое почвы 3 см (град.)		Запас продуктивной влаги в метровом слое почвы (мм)			Средняя из наибольших глубин промерзания почвы (см)
		средняя за зиму	абсолютная	осень	весна	при-бавка	
Без снегозадержания	12	—14,4	—31,6	99	115	16	150
Со снегозадержанием	41	—6,5	—15,1	98	165	67	50

Эффективность снегозадержания можно проиллюстрировать данными табл. 68. Из таблицы следует, что на глубине узла кущения температурный режим для перезимовки озимых вполне благоприятен, так как минимальная температура не опускается ниже —15°, тогда как на полях без снегозадержания она в 2 раза ниже. Температура воздуха в это время опустилась до —40°. Весенние влагозапасы почвы под влиянием снегозадержания увеличились в среднем на 67 см, а средняя глубина промерзания уменьшилась на 1 м.

Таблица 69

Влияние снегозадержания на урожай озимых культур (ц/га) по пару на Барнаурской селекционной станции

Год	Озимая рожь		Озимая пшеница		Прибавка урожая	
	без кулис	кулисы	без кулис	кулисы	озимая рожь	озимая пшеница
1941	24,7	29,0	10,0	15,0	4,3	5,0
1942	14,2	25,3	1,5	22,5	11,1	21,0
1943	17,5	22,0	1,0	21,7	4,5	20,7
1944	9,2	14,8	1,0	15,0	5,6	14,0
1945	2,9	6,0	0	8,9	3,1	8,9
1946	9,4	17,4	0	6,0	8,0	6,0
1947	12,0	19,5	0	16,5	7,5	16,5

Для характеристики динамики снегозадержания при применении различных кулисных растений приведен рис. 97. Он показывает, что кулисные растения накапливают снег с первых же снегопадов и к моменту сильных морозов (декабрь — январь) создают хорошую защиту зимующим культурам.

В результате своих исследований Шульгин пришел к выводу, что наиболее целесообразная ширина полос между кулисами в Западной Сибири 3,6—7,2 м, в районах юго-востока ЕТС 7,2—10,8 м; на Украине и Северном Кавказе 10,8—14,4 м.

Существенное влияние снегозадержания на урожаи озимых культур наглядно иллюстрируется табл. 69. В суровые зимы на Алтае озимая пшеница на полях без снегозадержания погибает, на кулисных же полях в эти годы возможен урожай до 16—22 ц/га.

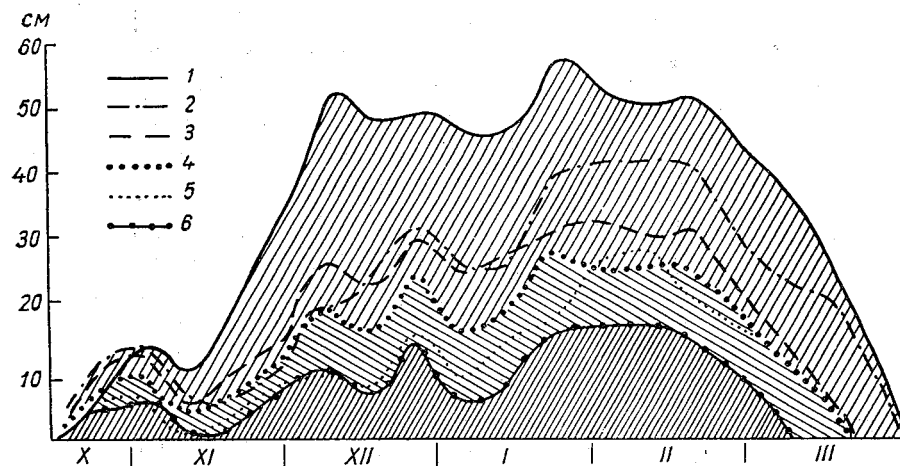


Рис. 97. Динамика снегонакопления на различных фонах снегозадержания. Барнаул.

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

#### 6. Изменение микроклимата под влиянием способов посадки, применения мульчирования и защищенного грунта

В районах с избытком влаги за год и недостатком тепла в вегетационный период (северные районы страны) для улучшения микроклимата среды обитания сельскохозяйственных растений применяют гребневание. Этот прием (создание гребней) приводит к хорошей аэрации корнеобитаемого слоя, существенному улучшению термического режима почвы и приземного слоя воздуха.

Гребни лучше прогреваются днем, а в ночное время меньше охлаждаются, особенно в северных районах страны, где в мае и июне очень короткие ночи. Температура пахотного слоя в гребнях в среднем на 3° выше по сравнению с ровным местом. На гребнях культуры (овощные, картофель) ускоряют свое развитие

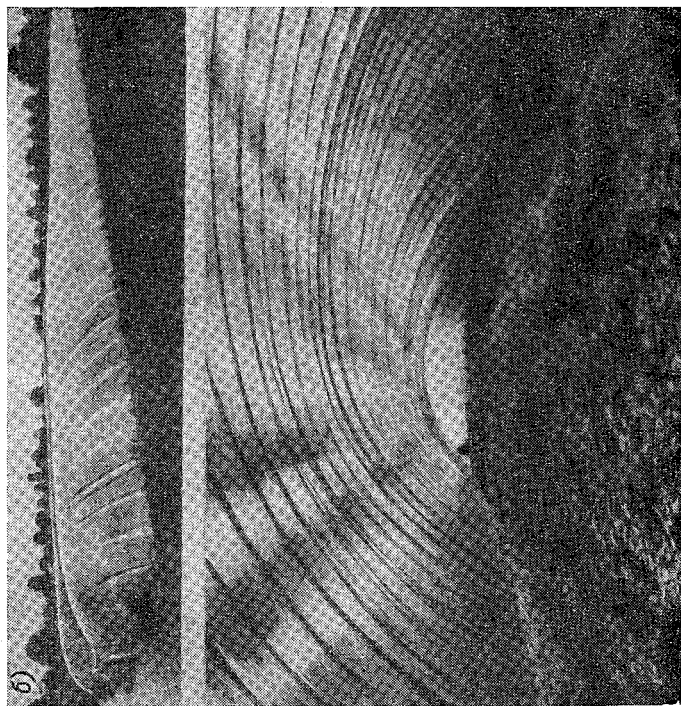
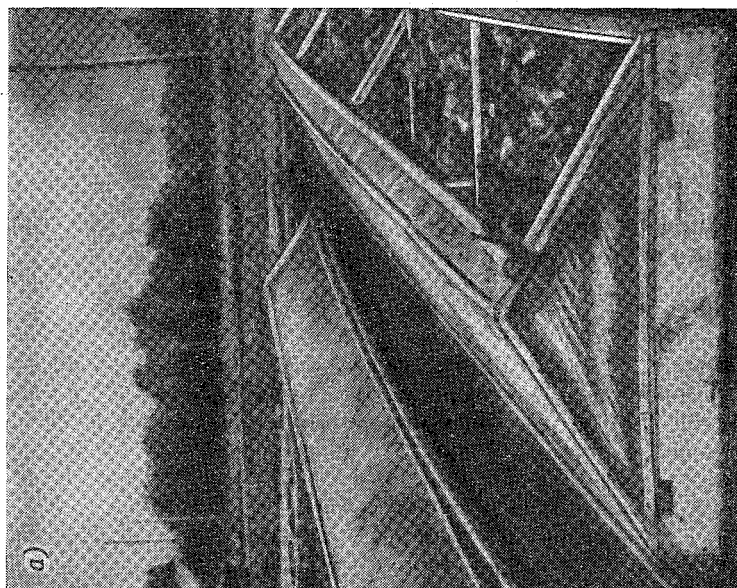


Рис. 98 а, б. Пленочные сооружения различных конструкций.  
а — двухскатный парник, б — надувная теплица,

и созревают примерно на две недели раньше. Урожаи их выше, чем на ровном поле.

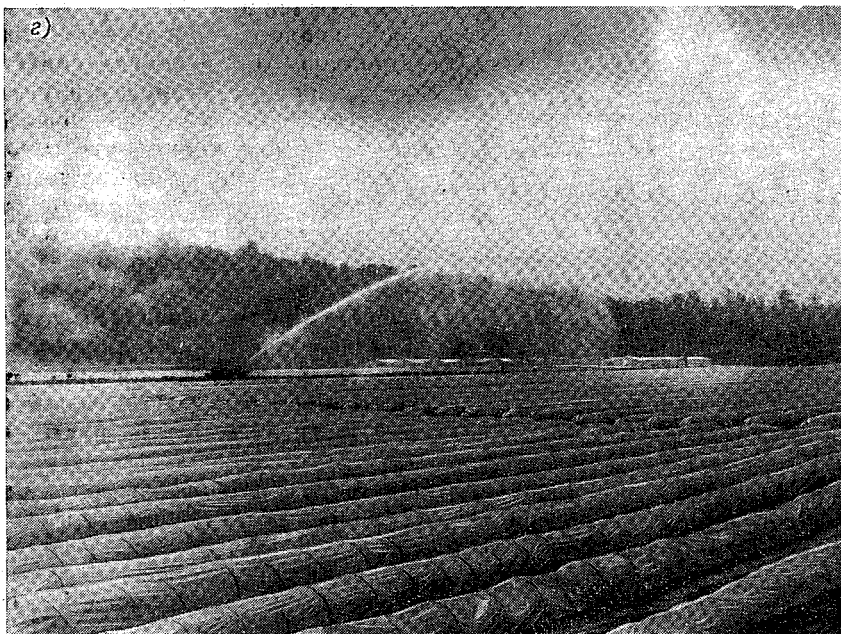
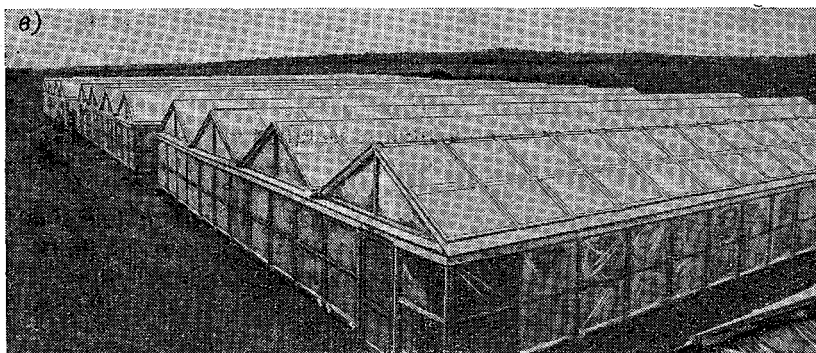


Рис. 98 а, г. Пленочные сооружения различных конструкций.

а — многоблочная весенне-летняя теплица, г — тоннельные пленочные укрытия.

В ряде случаев улучшение термического режима и защита от суховея и холодных ветров достигаются путем выращивания

сельскохозяйственных растений под покровом кулис высокостебельных однолетних культур.

В зоне полупустынь для повышения влагообеспеченности растений часто используют траншейный метод выращивания сельскохозяйственных культур. Траншеи выкапывают там, где неглубоко залегают грунтовые воды. Микроклимат траншеи благоприятен для сельскохозяйственных культур, так как температура почвы днем значительно ниже, чем на открытом месте, а ночью выше. Влажность воздуха среди растений существенно выше. Такой прием можно использовать для выращивания овощных, бахчевых и плодово-ягодных культур.

Изменение радиационных характеристик подстилающей поверхности, а тем самым и микроклимата можно получить, применяя различное мульчирование. Белая мульча увеличивает отражение солнечной радиации, а черная, наоборот, способствует ее поглощению.

Наиболее существенное изменение микроклимата достигается методом защищенного грунта, т. е. сооружением различных теплиц и парников. До создания синтетических пленок теплицы и парники представляли собой довольно тяжелые сооружения из стекла. В последнее время пленочные покрытия в теплицах заменили стекло, что привело к значительному уменьшению их стоимости. Для покрытия грунта используют пленки полиэтиленовые, полиамидные, поливинилхлоридные и пр. Впервые исследования возможности применения синтетических пленок в сельском хозяйстве были начаты в Советском Союзе в Агрофизическом институте еще в 30-е годы.

В настоящее время разработано много различных конструкций пленочных сооружений, некоторые из них представлены на рис. 98. Использование таких теплиц позволит в северных районах нашей страны существенно расширить выращивание ряда необходимых для питания сельскохозяйственных культур. Практика показала, что в таких теплицах можно собирать несколько урожаев.

Изменение суточного хода радиационного баланса под укрытием (тоннельное пленочное укрытие) представлено на рис. 99. Как следует из этого рисунка, днем радиационный баланс под пленкой на 30—40% меньше, чем на открытом участке, что обусловлено прозрачностью пленки. В ночное время эффективное излучение на открытом участке больше примерно на 30—35% по сравнению

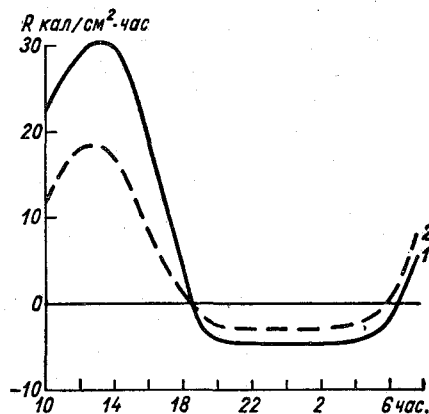


Рис. 99. Суточный ход радиационного баланса на открытом участке и под укрытием.

1 — открытый грунт, 2 — укрытие из полиэтиленовой пленки.

Таблица 70

## Рост и качество растений салата, выращенного под укрытием пленок различного цвета

Пленка (ацетилцеллюлоза)	Высота растений (см)	Сырой вес одного растения (г)	Содержание моносахаров в листьях (% на сырое вещество)	Содержание азота (% на сырое вещество)
Прозрачная (контроль)	5,0	1,67	0,50	1,18
Красная	17,5	3,29	3,86	2,46
Оранжевая	8,5	1,98	1,85	1,60
Синяя	11,0	4,22	2,00	3,00
Зеленая	9,5	2,14	2,13	2,56

с защищенным грунтом. Поэтому в ночные часы температура почвы и воздуха под пленкой выше, чем на открытом участке.

Сравнение суточного хода температуры воздуха под укрытиями и на открытом участке в ясную погоду представлено на рис. 100. Из рисунка видно, что весной в районе Ленинграда днем температура воздуха под пленками значительно выше (на 6°), чем на открытом участке, ночью это различие уменьшается (около 2°). В пасмурные и холодные сутки разница в микроклимате под пленкой и на открытом участке незначительна.

Рядом исследований выявлена связь развития растений с цветом пленки. Для примера рассмотрим табл. 70. Из этих данных видно, что высота растения салата, а также его качество существенно зависят от цвета применяемой пленки. Лучшие результаты дало использование красной, а затем синей пленки.

В целом величина урожая многих культур, выращиваемых на Северо-Западе ЕТС под пленками, обычно больше, чем в незащищенном грунте. Это тем более ценно, что в отдельные годы на Северо-Западе теплолюбивые культуры (огурцы, помидоры и др.) в открытом грунте не дают урожая из-за низких температур (табл. 71).

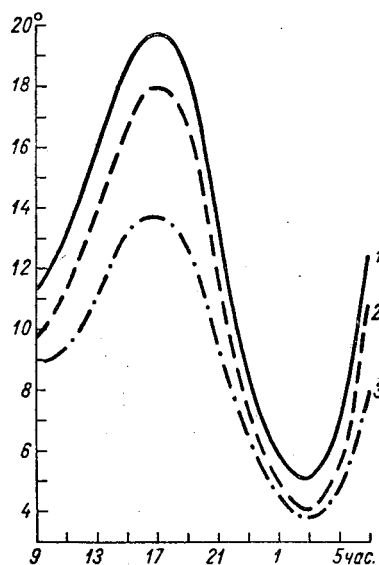


Рис. 100. Суточный ход температуры воздуха под укрытиями и на открытом участке.

1 — укрытие из полиамидной пленки, 2 — из полиэтиленовой пленки, 3 — открытый грунт.

**Урожай культуры огурца под укрытиями в зависимости от температурного и радиационного режимов, создаваемых различными пленками.  
Район Ленинграда**

Укрытие	Средние суточные температуры воздуха		Интенсивность освещения, (кал/см <sup>2</sup> . мин.) для дня с высокой инсоляцией	Урожай огурцов (кг/м <sup>2</sup> )
	в начальный период роста растений (25 IV)	в период интенсивного плодоношения (17 VI)		
Полиамидная пленка	8,0	19,9	0,82	5,4
Полиэтиленовая пленка (однослойное укрытие)	6,6	17,6	0,68	3,7
Полиэтиленовая пленка (двухслойное укрытие)	17,6	20,8	0,52	4,9
Открытый участок	0,3	12,1	0,98	Растения не развивались из-за низких температур воздуха

### 7. Некоторые проекты направленного преобразования климата

В зарубежных исследованиях в последние годы активно обсуждается проект локального воздействия на климат посредством создания широких полос из асфальта. Эти полосы, поглощая большее количество солнечной радиации и уменьшая затрату тепла на испарение, должны привести к увеличению термической конвекции в данном районе и, следовательно, к увеличению осадков.

Другой проект агроклиматического плана заключается в восстановлении растительного покрова в некоторых засушливых районах, где он ранее был уничтожен человеком. Предполагается, что эта мера уменьшит запыленность воздуха в таких районах и увеличит количество осадков.

Подчеркнем еще раз, что эти и другие подобные проекты, а также осуществляемые ныне преобразования (орошение, осушение, лесозащитные полосы и пр.) не в состоянии существенно изменить макроклимат Земли. Этот вывод, по мнению А. М. Алпатьева, останется верным даже в том случае, если «преобразовательные мероприятия будут осуществлены на территориях порядка десятков и сотен миллионов гектаров».

Убедительным доказательством правильности этого вывода служит исторический опыт замены сотен миллионов гектаров лесов лугами, пастбищами, пашнями. Такое преобразование, имевшее глобальный характер, не изменило существенно макроклимат Земли, что подтверждается палеографическими и археологическими исследованиями.



В будущем из рассмотренных выше преобразовательных мероприятий наибольшее региональное распространение, видимо, получат такие, как орошение и осушение.

Что касается проектов крупных преобразований климата, то разбор их не имеет большого смысла, ибо практически все они не вышли из стадии научных разработок и обсуждений. Определенный интерес представляют лишь соображения, которые могут служить принципиальной основой таких проектов.

По мнению Е. К. Федорова, проекты крупных преобразований климата должны основываться на принципе управления наиболее неустойчивыми атмосферными процессами, что даст возможность изменять их ход при сравнительно небольших материальных затратах. Федоров особо подчеркивает одну принципиальную особенность всех сколько-нибудь крупных воздействий на климат: они должны оказывать сложное влияние. Отдельные черты «нового» климата будут благоприятными для деятельности человека, другие, возможно, — неблагоприятными. Поэтому реализация любого крупного проекта преобразования климата должна исходить из большой предварительной исследовательской работы. В результате такой работы должны быть определены все возможные (для разных отраслей) последствия предложенного мероприятия.

Проекты преобразования климата особо большого масштаба должны проводиться на международной основе.

## **§ 2. НЕНАПРАВЛЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**

Ненаправленные изменения климата, являющиеся побочным результатом деятельности человека, в отличие от направленных изменений, могут существенно влиять на климат Земли и, следовательно, на связанные с ним агроклиматические ресурсы. К таким изменениям климата антропогенного характера прежде всего следует отнести увеличение загрязнения атмосферы, изменение ее газового состава, рост производства промышленной энергии.

### **1. Загрязнение атмосферы**

Прогрессирующее загрязнение атмосферы является одним из следствий быстрого развития техники и энергетики в течение нескольких последних десятилетий. Источником запыления атмосферы 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 многообразно. В плане связи загрязнения атмосферы с изменением агроклиматических ресурсов можно отметить следующие аспекты.

Существенное загрязнение атмосферы, приводя к уменьшению количества коротковолновой солнечной радиации, должно привести

к изменению освещенности в приземном слое воздуха, где произрастают растения.

Загрязнение атмосферы, способствуя конденсации водяного пара, по-видимому, может привести к некоторому увеличению облачности и осадков.

Вопрос о влиянии загрязнения атмосферы на термический режим довольно сложен. По-видимому, при увеличении загрязнения атмосферы будет преобладать тенденция понижения средней температуры в приземном слое воздуха.

В последние годы в отечественной и зарубежной (особенно американской) литературе появилось много работ о непосредственном влиянии загрязнения атмосферы на понижение количества и ухудшение качества сельскохозяйственной продукции. В целом количественные характеристики связи загрязнения атмосферы и изменений агроклиматических ресурсов проработаны недостаточно.

## 2. Изменение газового состава атмосферы

Глобальное антропогенное влияние на климат, помимо запыления, заметно проявляется в изменении газового состава атмосферы. На основе многих научных исследований установлено увеличение углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) в атмосфере за последние 40—50 лет на 10—12%. Это увеличение непосредственно связано с расходом атмосферного кислорода на процессы сжигания ископаемых горючих материалов (угля, нефти, газа).

Расходуемый на горение кислород постепенно переходит в связанную форму: часть его соединяется с углеродом горючего материала, образуя углекислый газ, а часть — с водородом, возвращаясь таким образом в атмосферу в виде водяного пара. Ф. Ф. Давитая 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 последние 50 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% его общего современного атмосферного запаса.

Известно, однако, что уменьшение парциального давления кислорода в воздухе на  $\frac{1}{3}$  вызывает кислородное голодание многих форм животных организмов, а на  $\frac{2}{3}$  представляет смертельную опасность (например, для человека).

Процесс участия кислорода в сгорании веществ, как было указано выше, сопровождается увеличением содержания в атмо-

сфере углекислого газа. Последний играет заметную роль в поглощении длинноволнового излучения и, следовательно, в дополнительном повышении температуры воздуха. По-видимому, современное увеличение содержания углекислоты на 10—12% недостаточно для заметного повышения температуры воздуха у поверхности земли. Однако увеличение концентрации углекислого газа в десятки и сотни раз (при резком увеличении затрат кислорода на горение) может привести к значительному изменению термического режима приземного слоя воздуха в целом для земли и, следовательно, к существенному изменению агроклиматических ресурсов нашей планеты.

Кроме того, резкое увеличение концентрации  $\text{CO}_2$  (в 250—300 раз) будет смертельной дозой для многих форм животной жизни.

Таким образом, ощутимый в целом для биосферы перелом в газовом составе атмосферы, вызванный уменьшением  $\text{O}_2$  и увеличением  $\text{CO}_2$ , может наступить уже в ближайшем столетии.

Расчеты, произведенные Давитая, являются ориентировочными. Однако один важный вывод из них несомненен: антропогенные изменения газового состава атмосферы становятся реальными и ощутимыми, поэтому учет их как в общей климатологии, так и в агроклиматологии становится необходимым.

### 3. Рост производства промышленной энергии

Вся энергия, производимая и потребляемая человеком, в конечном счете превращается в тепло. Основная часть этого тепла является дополнительным источником повышения температуры нашей планеты. В этом повышении не следует учитывать энергию водных ресурсов, древесины и продуктов сельскохозяйственного производства, поскольку эти виды энергии представляют собой преобразование солнечной радиации, ежегодно поглощаемой землей.

Другие виды энергии (угля, нефти, газа, атомная энергия) являются новым источником тепла, не связанным с преобразованием солнечной радиации в современную эпоху. Они принимают непосредственное участие в повышении температуры Земли. На их долю приходится около 80% общего количества тепла, производимого на Земле.

М. И. Будыко приводит количественные оценки тепла, которые образуются в результате хозяйственной деятельности человека. Для единицы поверхности земли в целом оно невелико — примерно  $0,01 \text{ ккал/см}^2 \text{ год}$ . Эта энергия способна повысить среднюю температуру воздуха у поверхности земли всего лишь на  $0,01^\circ$ . Однако в перспективе такое положение должно резко измениться. Опубликованные статистические данные показывают, что мировое производство энергии за несколько последних десятилетий возрастает примерно на 5% в год. За период около 50 лет производство энергии увеличивается в целом на один порядок.

Учитывая эти темпы прироста, можно найти, что через 100 лет приращение тепла в результате деятельности человека достигнет примерно  $1 \text{ ккал/см}^2 \text{ год}$ , что составит около 1% солнечной радиации, поглощаемой Землей. Подсчеты, произведенные Будыко и некоторыми другими исследователями, показывают, что этого тепла будет достаточно для таяния ледяных покровов на полюсах Земли.

Таким образом, сохранение существующих темпов увеличения производства энергии уже в течение одного столетия приведет к существенному изменению климата на всей Земле. Это изменение проявится не только в резком повышении температуры полярных районов; меньшее, но все же значительное потепление следует ожидать и в умеренных широтах нашей планеты.

Следует иметь в виду, что наряду с потеплением возможны изменения и других составляющих климата. С позиций агроклиматических ресурсов в этом отношении наиболее интересна проблема изменения влагооборота. Отдельные аспекты этой проблемы, проработанные О. А. Дроздовым, показывают, что при значительном потеплении в высоких широтах количество осадков во внутриконтинентальных районах должно уменьшаться. В связи с этим изменятся и условия увлажнения на больших пространствах нашей планеты. В частности, можно предполагать перемещение субтропической засушливой зоны в более высокие широты.

Указанные изменения для сельскохозяйственного производства носят двоякий характер: резкое потепление полярных районов позволит существенно расширить границы земледелия, что имеет важное значение прежде всего для арктических районов; увеличение засушливости континентальных районов умеренных широт будет иметь для сельского хозяйства явно отрицательное значение.

В любом случае грандиозный характер антропогенных изменений климата, вызванных ростом производства энергии, требует их детального изучения и учета. Этот учет должен быть обязательно комплексным, поскольку, помимо сельского хозяйства, он затрагивает интересы многих других отраслей: энергетики, торгового флота и т. д. Такой учет становится необходимым, ибо изменения климата под влиянием деятельности человека станут не только возможными, но и неизбежными уже в течение ближайшего столетия.

## ЛИТЕРАТУРА

---

### К главе I

- Гольцберг И. А. Исследования по агро- и микроклиматологии. — Сб. «ГГО им. А. И. Воейкова за 50 лет советской власти». Труды ГГО, 1967, вып. 218.
- Давитая Ф. Ф. Итоги и перспективы изучения агроклиматических ресурсов СССР. — Сб. «Метеорология и гидрология за 50 лет советской власти». Л., Гидрометеиздат, 1967.

### К главе II

- Алпатьев А. М. Влагодобор культурных растений. Л., Гидрометеиздат, 1954.
- Будыко М. И. Климатические условия увлажнения на материках. Изв. АН СССР, сер. геогр., 1955, № 2 и 4.
- Будыко М. И., Гандин Л. С., Ефимова Н. А. Влияние климатических факторов на продуктивность растительного покрова. — Сб. «Современные проблемы климатологии». Л., Гидрометеиздат, 1966.
- Вериге С. А., Разумова Л. А. Почвенная влага и ее значение в сельском хозяйстве. Л., Гидрометеиздат, 1963.
- Климатические ресурсы центральных областей Европейской части СССР и их использование в сельскохозяйственном производстве. Под ред. И. А. Гольцберга и О. А. Дроздова. Л., Гидрометеиздат, 1956.
- Константинов А. Р. Испарение с сельскохозяйственных полей. Л., Гидрометеиздат, 1971.
- Кулик М. С. Погода и минеральные удобрения. Л., Гидрометеиздат, 1966.
- Мищенко З. А. Суточный ход температуры воздуха и его агроклиматическое значение. Л., Гидрометеиздат, 1962.
- Мировой агроклиматический справочник. Гидрометеиздат, М.—Л., 1937.
- Рихтер Г. Д. Использование снега и снежного покрова в целях борьбы за высокий и устойчивый урожай. — В кн.: «Роль снежного покрова в земледелии». М., Изд. АН СССР, 1953.
- Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата. — Труды по с/х метеорологии. 1928, вып. 20.
- Селянинов Г. Т. К вопросу о классификации сельскохозяйственных культур по климатическим признакам. — Труды с/х метеорологии, 1930, вып. 21 (№ 2).
- Селянинов Г. Т. Принципы агроклиматического районирования СССР. — В кн.: «Вопросы агроклиматического районирования СССР». М., 1958.
- Шульгин А. М. Снежный покров и его значение в сельском хозяйстве. Л., Гидрометеиздат, 1962.
- Шульгин А. М. Климат почвы и его регулирование. Л., Гидрометеиздат, 1967.

### К главе III

- Гольцберг И. А. Агроклиматическая характеристика заморозков в СССР и методы борьбы с ними. Л., Гидрометеиздат, 1961.
- Давитая Ф. Ф. Научные основы борьбы с засухой по природным зонам СССР. — Изв. АН СССР, 1959, сер. геогр., № 1.

- Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай. Под ред. А. И. Руденко. Л., Гидрометеиздат, 1958.
- Степанов В. Н. Характеристика сельскохозяйственных культур по устойчивости к заморозкам. — Советский агроном, 1948, № 4.
- Цубербиллер Е. А. Агрометеорологическая характеристика суховеев. Л., Гидрометеиздат, 1969.

#### К главе IV

- Гейгер Р. Климат приземного слоя воздуха. М., Изд-во иностр. лит-ры, 1960.
- Гольцберг И. А. Микроклимат и его значение в сельском хозяйстве. Л., Гидрометеиздат, 1957.
- Микроклимат холмистого рельефа и его влияние на сельскохозяйственные культуры. Под ред. И. А. Гольцберг. Л., Гидрометеиздат, 1962.
- Микроклимат СССР. Под ред. И. А. Гольцберг. Л., Гидрометеиздат, 1967.
- Романова Е. Н. Оценка местоположений по увлажнению почвы и необходимые мелиоративные мероприятия по территории СССР. — Труды ГГО, 1972, вып. 288.
- Сапожникова С. А. Опыт использования ультракоротких рядов и построения карт большого масштаба. — В кн.: «Материалы по агроклиматическому районированию субтропической зоны», вып. 2, Л., Гидрометеиздат, 1938.
- Сапожникова С. А. Микроклимат и местный климат. Л., Гидрометеиздат, 1950.
- Федосеев А. П. Влажность почвы в связи с рельефом местности. — Труды КазНИГМИ, 1959, вып. 13.
- Щербань М. И. Микроклиматология. Изд-во Киевского ун-та, 1968.

#### К главе V

- Федосеев А. П. Климат и пастбищные травы Казахстана. Л., Гидрометеиздат, 1964.
- Чекерес А. И. Некоторые климатические особенности периода летнего выпаса овец по территории Казахстана. — Труды КазНИГМИ, 1965, вып. 24.
- Ярошевский В. А. Погода и тонкорунное овцеводство. Л., Гидрометеиздат, 1968.

#### К главе VI

- Дроздов О. А. Основы климатологической обработки метеорологических наблюдений. Л., Гидрометеиздат, 1961.
- Костин С. И., Покровская Т. В. Климатология. Л., Гидрометеиздат, 1961.
- Лебедев А. Н. Графики и карты для расчета климатических характеристик различной обеспеченности на Европейской территории СССР. Л., Гидрометеиздат, 1960.
- Лебедев А. Н. Обоснование номограмм климатических элементов. — Труды ГГО, 1964, вып. 163.
- Новиков А. Г. Механизированная обработка данных агрометеорологических наблюдений при агроклиматических исследованиях. М., Гидрометеиздат, 1966.
- Уланова Е. С., Сиротенко О. Д. Методы статистического анализа в агрометеорологии. Л., Гидрометеиздат, 1968.

#### К главе VII

- Гольцберг И. А. Мировые агроклиматические аналоги субтропической зоны СССР. — В кн.: «Материалы по агроклиматическому районированию субтропиков СССР», вып. 1 и 2, М.—Л., Гидрометеиздат, 1936, 1938.

- Кельчевская Л. С. Агроклиматическое районирование сахарной свеклы в Западной Сибири. — Вестн. с/х науки. «Колос», 1964, № 9.
- Колосков П. И. Агроклиматическое районирование Казахстана. М., Изд. АН СССР, 1947.
- Колосков П. И. Вопросы климатического районирования территории СССР. — Труды НИИАК, 1958, вып. 6.
- Колосков П. И. Климатический фактор сельского хозяйства и агроклиматическое районирование. Л., Гидрометеиздат, 1971.
- Методические указания по составлению справочников «Агроклиматические ресурсы области». Под ред. В. В. Синельщикова. М., Гидрометеиздат, 1967.
- Мировой Агроклиматический справочник. Л.—М., Гидрометеиздат, 1937.
- Сапожникова С. А., Мель М. И., Смирнова В. А., Никифорова А. Т. Опыт характеристики агроклиматических ресурсов территории СССР. — Труды НИИАК, 1957, вып. 2.
- Сапожникова С. А. Опыт агроклиматического районирования территории СССР. — В кн.: «Вопросы агроклиматического районирования СССР». М., Гидрометеиздат, 1958.
- Сапожникова С. А., Шашко Д. И. Агроклиматическое районирование СССР. Под ред. Ф. Ф. Давитая. Карта 1 : 4 000 000. ГУГК, 1972.
- Селянинов Г. Т. Специализация сельскохозяйственных районов по климатическому признаку. — В кн.: «Растениеводство СССР», т. 1. М.—Л., Сельхозгиз, 1933.
- Селянинов Г. Т. Агроклиматическая карта мира. Л., Гидрометеиздат, 1966.
- Шашко Д. И. Агроклиматическое районирование СССР. М., «Колос», 1967.

#### К главе VIII

- Бабушкин Л. Н. Агроклиматическое районирование хлопковой зоны Средней Азии. Л., Гидрометеиздат, 1960.
- Давитая Ф. Ф. Климатические зоны винограда в СССР. М., Пищепромиздат, 1948.
- Давитая Ф. Ф. Учет микроклиматических особенностей в размещении культурных растений и специализация сельского хозяйства. — В кн.: «Современные проблемы метеорологии приземного слоя воздуха». Л., Гидрометеиздат, 1958.
- Давитая Ф. Ф. Использование природного конвейера для круглогодичного производства свежих продуктов сельского хозяйства. — Изв. АН СССР, 1962, сер. геогр., № 5.
- Давитая Ф. Ф. Прогноз обеспеченности теплом и некоторые проблемы сезонного развития природы. М., Гидрометеиздат, 1964.
- Муминов Ф. А. Тепловой баланс и формирование урожая хлопчатника. Л., Гидрометеиздат, 1970.
- Подольский А. С. Новое в фенологическом прогнозировании. «Колос», М., 1967.
- Руденко А. И. К вопросу выделения агроклиматических зон картофелеводства. Картофель, 1959, № 6.
- Сапожникова С. А., Мель М. И., Смирнова В. А. Агроклиматическая характеристика территории СССР применительно к кукурузе. — Труды НИИАК, 1957, вып. 2.
- Селянинов Г. Т. Методика сельскохозяйственной оценки климата в субтропиках. — В кн.: «Материалы по агроклиматическому районированию субтропиков СССР». Л., 1936.
- Селянинов Г. Т. Перспективы субтропического хозяйства СССР в связи с природными условиями. Л., Гидрометеиздат, 1958.
- Селянинов Г. Т. Требования пшеницы к климату. — Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции, 1960, т. 32, вып. 2.
- Смирнов В. А. Покровные культуры и климат. Л., Гидрометеиздат, 1960.
- Смирнова В. А. Агроклиматическое районирование СССР по урожайности подсолнечника. — Труды НИИАК, 1961, вып. 10.

- Чирков Ю. И. Агроклиматические условия и продуктивность кукурузы. Л., Гидрометеиздат, 1969.  
Яковлев Н. Н. Климат и зимостойкость озимой пшеницы. Л., Гидрометеиздат, 1966.

#### К главе IX

- Будыко М. И., Дроздов О. А., Львович М. И., Погосян Х. П., Сапожникова С. А., Юдин М. И. Изменения климата в связи с планом преобразования природы засушливых районов СССР. Л., Гидрометеиздат, 1952.  
Будыко М. И. Климат и жизнь. Л., Гидрометеиздат, 1971.  
Константинов А. Р., Струзер Л. Р. Лесные полосы и урожай. Л., Гидрометеиздат, 1965.

#### Ко всем главам

- Агроклиматический атлас мира. М.—Л., ГУГК. Гидрометеиздат, 1972.  
Агроклиматический атлас Украинской ССР. Киев, «Колос», 1964.  
Атлас сельского хозяйства СССР. ГУГК, М., 1960.  
Алисов Б. П., Дроздов О. А., Рубинштейн Е. С. Курс климатологии, ч. 1 и 2. Л., Гидрометеиздат, 1952.  
Лекции по сельскохозяйственной метеорологии. Под ред. М. С. Кулика, В. В. Синельщикова. Л., Гидрометеиздат, 1966.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ . . . . .	3
ГЛАВА I. ВВЕДЕНИЕ . . . . .	5
§ 1. Предмет и задачи агроклиматологии . . . . .	5
§ 2. Краткая история развития отечественной агроклиматологии . . . . .	6
ГЛАВА II. ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ КЛИМАТОВ . . . . .	16
§ 1. Основные климатические факторы, необходимые для жизни растений . . . . .	16
§ 2. Потребность растений в условиях климата. Классификация растений . . . . .	22
§ 3. Принципы сельскохозяйственной оценки климата . . . . .	32
§ 4. Оценка термических ресурсов . . . . .	36
§ 5. Оценка световых ресурсов . . . . .	61
§ 6. Оценка ресурсов влаги . . . . .	62
§ 7. Оценка условий перезимовки растений . . . . .	82
§ 8. Оценка сельскохозяйственного бонитета климата . . . . .	104
ГЛАВА III. АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОПАСНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ . . . . .	108
§ 1. Заморозки . . . . .	108
§ 2. Засухи . . . . .	136
§ 3. Суховей . . . . .	151
§ 4. Пыльные бури . . . . .	156
ГЛАВА IV. МИКРОКЛИМАТ И ЕГО УЧЕТ В АГРОКЛИМАТОЛОГИИ . . . . .	158
ГЛАВА V. ОЦЕНКА АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЖИВОТНОВОДСТВУ . . . . .	182
§ 1. Климат и распределение трав на территории СССР . . . . .	183
§ 2. Потребность трав в климатических условиях . . . . .	185
§ 3. Характеристика агроклиматических условий и агроклиматическое районирование территории применительно к травам . . . . .	188
§ 4. Агроклиматическая характеристика территории применительно к животноводству . . . . .	200
ГЛАВА VI. МЕТОДЫ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ НАБЛЮДЕНИЙ . . . . .	206
§ 1. Расчет вероятностей явления по его средним значениям . . . . .	207
§ 2. Контроль и обработка наблюдений за влажностью и промерзанием почвы . . . . .	215
§ 3. Контроль и обработка фенологических наблюдений . . . . .	219
§ 4. Картирование агроклиматических показателей . . . . .	225
	343

ГЛАВА VII. АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ СССР И МИРА . . . .	253
§ 1. Общее агроклиматическое районирование территории СССР . . . .	254
§ 2. Специальное агроклиматическое районирование . . . . .	264
§ 3. Агроклиматическое районирование области и территории отдельного хозяйства (колхоза и совхоза) . . . . .	268
§ 4. Агроклиматическое районирование мира . . . . .	272
§ 5. Мировые агроклиматические аналоги . . . . .	276
ГЛАВА VIII. ОЦЕНКА АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ОТДЕЛЬНЫМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ КУЛЬТУРАМ И ПРИЕМАМ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ . . . . .	281
§ 1. Пшеница . . . . .	283
§ 2. Кукуруза . . . . .	285
§ 3. Картофель . . . . .	292
§ 4. Виноград . . . . .	296
§ 5. Субтропические культуры . . . . .	301
§ 6. Хлопчатник . . . . .	303
§ 7. Использование агроклиматических ресурсов для круглогодичного производства свежих продуктов сельского хозяйства . . . . .	308
§ 8. Влияние климатических условий на появление и распространение болезней и вредителей сельскохозяйственных культур . . . . .	310
§ 9. Влияние климата на качество урожая . . . . .	313
ГЛАВА IX. ИЗМЕНЕНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ . . . . .	317
§ 1. Направленные воздействия человека на климат . . . . .	318
§ 2. Направленные изменения климата . . . . .	335
ЛИТЕРАТУРА . . . . .	339

*Синицына Нина Ивановна  
Гольцберг Ида Артуровна  
Струнников Эдмунд Александрович*

#### **АГРОКЛИМАТОЛОГИЯ**

Редактор А. Б. Котиковская  
Художник Б. А. Быков  
Технический редактор А. Г. Алексеев  
Корректор Г. С. Макарова

---

Сдано в набор 19/X.1972 г. Подписано к печати 9/I 1973 г. М-35010. Бумага 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>, тип. № 1.  
Печ. л. 21,5. Уч.-изд. л. 24,02. Тираж 7000 экз. Индекс АЛ-261. Заказ № 395. Цена 1 руб. 08 коп.  
Гидрометеониздат. Ленинград, В-53, 2-я линия, д. 23.

---

Ленинградская типография № 8 «Союзполиграфпрома»  
при Государственном комитете Совета Министров СССР  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли  
190000, Ленинград, Прачечный пер., д. 6