ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА РОССИИ
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ГЛАВНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ
им. А. И. ВОЕЙКОВА

Е. Н. Романова, Е. О. Гобарова, Е. Л. Жильцова

МЕТОДЫ МЕЗО- И МИКРОКЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА

Санкт-Петербург
ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ
2003

УДК 551.58

Данная книга посвящена методам мезо- и микроклиматического районирования на основе новых общегеографических разработок и технологий автоматизированного расчета с помощью ПЭВМ.

Изложены методы систематизации агроклиматической информации мезо- и микроклиматического уровня и районирования территории на основе геотопологического анализа.

На основании учета требований сельскохозяйственных культур к климату реализовано применение результатов мезо- и микроклиматического районирования в экономике сельского хозяйства.

На примере Новгородской области проведена оценка мезоклиматических районов по степени их оптимальности для произрастания районированных сельскохозяйственных культур при средних и экстремальных климатических условиях. Аналогичным образом оценены микроклиматические местоположения в пределах мезорайонов области.

Елена Никандровна Романова,
Елена Олеговна Гобарова,
Елена Львовна Жильцова

МЕТОДЫ МЕЗО- И МИКРОКЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА

Редактор *О. М. Федотова*. Художник *Л. А. Унрод*.
Технический редактор *Н. Ф. Грачева*. Корректор *И. А. Крайнева*.

ЛР № 020228 от 10.11.96 г.

Подписано в печать 23.09.03. Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 6,5. Усл. печ. л. 6,05. Уч.-изд. л. 6,35. Тираж 650 экз. Индекс 228/02.

Гидрометеоиздат. 199397, Санкт-Петербург, ул. Беринга, д. 38.

М $\frac{1805040400\text{-}22}{069(02)\text{-}03}$

© Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова (ГГО), 2003

ПРЕДИСЛОВИЕ

Снабжение отечественным продовольствием населения России является актуальнейшей проблемой современной экономики. Для этого необходимо российские, не очень богатые климатические ресурсы использовать полностью, что возможно только с учетом мезо- и микроклиматических вариаций. Разработаны новые технологии для создания автоматизированной системы использования микроклиматической информации в интересах сельского хозяйства. Для этой цели также потребовались обобщение и систематизация мезо- и микроклиматической информации, имеющей сельскохозяйственную направленность, а именно увязка мезо- и микроклиматических данных с требованиями сельскохозяйственных растений.

Методика проведения микроклиматических наблюдений изложена в целом ряде изданных Гидрометеоиздатом методических указаний, наиболее полными, обобщающими из них являются [14, 25]. Данные, полученные по многолетним микроклиматическим наблюдениям, проведенным лабораторией микроклимата Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (ГГО), позволили создать систему таблиц поправок на микроклимат.

В последние годы создано новое направление — обобщение и систематизация мезо- и микроклиматической информации и их автоматизация с помощью ПЭВМ.

Эти разработки проиллюстрированы на примере Новгородской области. Выполнено мезоклиматическое районирование области на геотопологической основе. Выделено девять мезоклиматических районов, произведена их оценка по степени оптимальности для онтогенеза сельскохозяйственных культур при средних и экстремальных климатических условиях, оценены микроклиматические местоположения в пределах каждого мезоклиматического района.

Любая область России может быть исследована аналогичным образом и даны рекомендации по оптимальному размещению

сельскохозяйственных культур в мезоклиматических районах с учетом микроклиматических особенностей.

В случае возникновения вопросов по использованию изложенных методов просьба обращаться к проф. Е. Н. Романовой по адресу: 194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7, ГГО. Возможны консультации, совместные работы, заказанные на договорных началах.

ВВЕДЕНИЕ

Оптимальное размещение сельскохозяйственных культур в пределах областных агропромышленных комплексов (АПК) приводит к заметному повышению их урожайности, не требуя при этом дополнительных затрат.

Разработанное в настоящее время мезоклиматическое районирование на геотопологической основе позволяет определить степень соответствия мезоклиматических условий требованиям сельскохозяйственных культур к климату, что отражается в областных эколого-климатических паспортах.

Учет имеющих место в пределах мезоклиматических районов микроклиматических различий является следующей, более высокой ступенью оценки онтогенеза сельскохозяйственных культур и осуществляется с применением технологий автоматизированного расчета на ПЭВМ. В результате расчетов создается эколого-микроклиматический паспорт микроклиматических местоположений в пределах того или иного мезоклиматического района.

Решена задача автоматизированного создания эколого-климатических паспортов для мезоклиматических районов областей и для микроклиматических местоположений в их пределах. На рис. 1 приводится методическая схема структуры эколого-климатического паспорта, сведения которого охватывают диапазон от зональных климатов до микроклиматов отдельных хозяйств. Наличие эколого-климатических паспортов позволяет с помощью ПЭВМ осуществить оптимальное размещение различных сельскохозяйственных культур в пределах областных и районных АПК.

Используя данную информацию, можно производить оптимальное размещение в пределах области районированных культур и осуществлять интродукцию более теплолюбивых

Рис. 1. Методическая схема требований к структуре эколого-климатических паспортов.

культур в микроклиматические местоположения, характеризующиеся более высокими значениями показателей теплообеспеченности.

1. СИСТЕМАТИЗАЦИЯ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Агроклиматология в зависимости от задачи охватывает и зональные, и детальные исследования. Существующие в регионах мезо- и микроклиматическая неоднородности климатических условий весьма существенны (табл. 1) и подлежат обязательному учету при адаптации технологий растениеводства, расчетах эколого-климатического потенциала, корректировке прогнозов погоды на местные условия и решении целого ряда других задач, направленных на оптимизацию размещения сельскохозяйственных культур. Естественно, что методы исследований также требуют различных подходов. Но иногда при детальных исследованиях используют принципы зональных решений, что неправильно.

Таблица 1

Климатические градиенты и микроклиматическая изменчивость метеорологических величин

Метеорологическая величина	Градиенты		Диапазон микроклиматической изменчивости
	широтные (на 1° ш.)	высотные (на 100 м высоты)	
S МДж/(м^2·мес)	8,4—12,6	—	46,1—155,0
B МДж/(м^2·мес)	4,2—8,4	—	41,1—134,1
ФАР МДж/(м^2·мес)	2,1—5,0	—	29,3—75,4
T °С	0,6—0,8	0,5—0,7	5—7
$T_{макс.\ ср}$ °С	0,6—0,8	0,7—0,8	9,0—10,5
$T_{мин.\ ср}$ °С	0,7—0,9	0,6—0,9	5—9
$\tau_{б.\ п}$ дни	3—5	5—6	До 20—30
$T_п$ °С	0,6—0,8	—	2—4

Примечание. S — прямая радиация; B — радиационный баланс; ФАР — фотосинтетически активная радиация; T — средняя температура воздуха; $\tau_{б.\ п}$ — продолжительность безморозного периода; $T_п$ — температура почвы на глубине 20 см.

Представляется целесообразным выполнить систематизацию агроклиматической информации по уровням ее детализации, для каждого уровня определить тип обобщенной агроклиматической информации, а также тип подстилающей поверхности, обеспеченной исходной информацией, источник информации и рациональный масштаб их пространственного отображения, что позволит более целенаправленно использовать в сельском хозяйстве агроклиматические показатели.

1.1. Систематизация агроклиматической информации по уровням ее детализации

Огромное разнообразие агроклиматов систематизировано на основании анализа свойств получаемой информации. В табл. 2 выделены четыре уровня детализации агроклиматической информации, последовательное применение которых позволит представить агроклиматическую информацию следующих уровней: зонального (макроклиматического), мезоклиматического (отдельных областей), микроклиматического (отдельного фермерского хозяйства) и даже наноклиматического, отражающего пестроту условий в пределах единого сельскохозяйственного поля. При районировании по макроклиматическому уровню отражается зональный тип агроклимата, характеризующий равнинные однородные территории. В качестве исходной информации для расчета агроклиматической информации в этом случае используются данные репрезентативных (в широком смысле) метеорологических и агрометеорологических станций.

Использование информации макроклиматического (1-го) уровня позволяет выполнить фоновое агроклиматическое районирование, выделить агроклиматические пояса и подпояса, определить ареалы распространения сельскохозяйственных культур. Примером такого районирования является агроклиматическое районирование СССР Д. И. Шашко [33]. Для решения конкретных хозяйственных задач информацию данного уровня применять не следует.

Информация мезоклиматического уровня должна использоваться для характеристики региональных, в первую очередь областных агроклиматов. Типы неоднородностей подстилающей

Таблица 2

Систематизация агроклиматической информации по уровням ее детализации и практической значимости

Системная характеристика	Уровень			
	1-й (макроклиматический)	2-й (мезоклиматический)	3-й (микроклиматический)	4-й (наноклиматический)
Тип агроклиматической информации	Зональный (фоновый)	Региональный; обслуживание областных АПК	Детальный (ограниченных территорий с выраженной неоднородностью подстилающей поверхности в пределах мезорайонов); обслуживание районных АПК	Вариации метеорологического режима, возникающие под влиянием микронеоднородностей подстилающей поверхности
Масштаб возмущений:				
горизонтальный	> 100 км	До 100 км	До 10 км	До 1 м
вертикальный	> 1000 м	До 1000 м	До 100—200 м	До 50—70 см
Типы подстилающей поверхности, обеспеченные климатической	Однородные равнинные территории	Горные системы, большие массивы холмистого рельефа (площадь ≥100 км^2); долины больших рек (ширина ≥5 км); побе-	Отдельные участки горного рельефа; группы холмов в холмистом рельефе или отдельно стоящие холмы; долины	Микрорельеф (бугры, кочки, понижения в любом типе рельефа) и другие мелкие неоднородности подсти-

Окончание табл. 2

Системная характеристика	Уровень			
	1-й (макроклиматический)	2-й (мезоклиматический)	3-й (микроклиматический)	4-й (наноклиматический)
информацией		режья больших озер (площадь ≥50 км^2), морей, океанов, большие массивы почвенно-растительного покрова (площадь 100 км^2)	небольших рек; побережья озер, прудов; массивы с различиями почвенно-растительного покрова	лающей поверхности ($\Delta h \leq 1$ м)
Источник информации	Данные репрезентативных (в широком смысле) метеорологических станций	Данные репрезентативных (в более узком смысле) станций (необходима типизация метеорологических станций по местоположению)	Система таблиц микроклиматической изменчивости	Специальные полевые наблюдения, моделирование в фитотронах, использование выявленных закономерностей
Рациональный масштаб карты	1 : 10 000 000 и мельче	1 : 500 000—1 : 2 500 000	1 : 10 000—1 : 100 000	1 : 100 и крупнее
Области применения	Общие глобальные климатические исследования разного плана: изменений и колебаний климата, зональных классификаций	Определение направления социально-экономического развития регионов; выделение агроклиматических районов в пределах областных АПК; оцен-	Принятие решений в муниципальном землеустройстве и природопользовании; обслуживание районных АПК; расчеты агроклиматических	Водно-тепловые мелиорации различных сельскохозяйственных полей; планирование разных агротехнических приемов

климата; выделение климатических поясов и подпоясов; построение климатических, агроклиматических и других специализированных фоновых карт и атласов; определение зональных ареалов распространения растительных сообществ и сельскохозяйственных культур	ка агроклиматических условий произрастания районированных культур в различных мезорайонах при средних и экстремальных климатических условиях	характеристик и оценка произрастания сельскохозяйственных культур в отдельных местоположениях	(гребневания, бороздования); геоботанические исследования

поверхности, для характеристики которых требуется информация мезоклиматического уровня, также представлены в табл. 2. Агроклиматические показатели рассчитываются по данным агрометеорологических станций, репрезентативным уже в более узком смысле. Методы оценки репрезентативности таких станций и их типизации изложены в [15]. Типы метеорологических станций связаны с типологическими ландшафтами, точнее с геотопологическими особенностями местности, что дает возможность экстраполировать данные при мезоклиматическом районировании даже при небольшом объеме фактических данных. Использование информации этого уровня позволяет составлять региональные агроклиматические атласы, осуществлять областное агроклиматическое районирование, организовать структуру рационального размещения сельскохозяйственных объектов в пределах областей, определять ареалы распространения сельскохозяйственных культур с учетом их сортовых особенностей.

В выпусках [1—3] в пределах областей выделены агроклиматические районы, но методические принципы такого районирования были аналогичны правилам зонального районирования, которое не учитывает репрезентативность метеорологических станций и их ландшафтный, точнее геотопологический, тип.

Использование информации микроклиматического уровня позволяет выполнить детальное агроклиматическое районирование ограниченных территорий с выраженной неоднородностью подстилающей поверхности. В настоящее время эта информация становится особенно актуальной при определении изменения агроклиматических ресурсов сельскохозяйственных полей в пределах территории и акционерных обществ, и фермерских хозяйств.

Существующая система таблиц микроклиматической изменчивости метеорологических величин позволяет и без проведения специальных наблюдений учесть их микроклиматические вариации на территории административных районов, фермерских хозяйств [14].

Таким образом, информация микроклиматического уровня позволяет осуществить рациональное размещение сельскохозяйственных культур в полях севооборота. Сведения о микроклимате также необходимы при оценке климатической стоимости земли и т. д.

И наконец, 4-й уровень детализации (наноклиматический) позволяет отразить вариации метеорологического режима, возникающие под влиянием микронеоднородностей, т. е. неоднородностей рельефа в пределах самого сельскохозяйственного поля — микропонижений или микроповышений. Несмотря на кажущуюся незначительность, неоднородности такого плана вызывают существенные изменения метеорологического режима в припочвенном слое воздуха и верхнем слое почвы. Нередко их наличие на сельскохозяйственном поле является результатом низкого уровня агротехнических мероприятий и требует устранения. Искусственное создание на сельскохозяйственном поле микрорельефа в виде гребней и борозд служит для целей водно-тепловой мелиорации, которая оказывается достаточно эффективной.

Таким образом, наибольшее научно-практическое значение для сельского хозяйства имеют 2-й и 3-й уровни детализации: мезоклиматический и микроклиматический.

1.2. Методические основы геотопологического анализа применительно к задачам мезо- и микроклиматологии

Для выполнения поставленной методической задачи были установлены общие принципы типизации природных условий по степени их мезо- и микроклиматообразующего действия. Для такой типизации широко используют современные достижения геоморфологии, точнее геотопологии, разработанные А. Н. Ласточкиным и А. И. Жировым [9, 11, 12].

Для установления конкретных мезо- и микроклиматических особенностей, оказывающих влияние на сельскохозяйственное производство, проводится геоморфологический анализ, который позволяет определить геотопологические типы местоположений в пределах области, района, хозяйства, оценить репрезентативность и произвести типизацию метеорологических станций для каждой геотопологической единицы.

Известно, что на формирование климата оказывают влияние неоднородности подстилающей поверхности, которые определяются геотопологическими условиями. Различные формы макро-

рельефа обусловливают типы мезоклиматов, а в пределах различных типов мезоклиматов формируются микроклиматы.

Геотопологические особенности земной поверхности по их климатообразующему воздействию делятся на девять типов макрорельефа, каждый из которых создает свой мезоклимат. Основные характеристики этих типов приведены в ниже.

1. Низменная равнина характеризуется малыми абсолютными высотами — не более 100 м. В некоторых случаях низменности имеют отметки высот ниже уровня моря (например, Прикаспийская низменность). В пределах низменностей встречаются также и отдельные возвышения с относительными превышениями не более 30 м. Большая часть территории низменных равнин заболочена.

Такой характер подстилающей поверхности способствует формированию на низменностях особого типа климата — климата низменных равнин. В этом типе имеются микроклиматические вариации метеорологических величин, которые определяются разной степенью заболоченности, особенностями мелиорации, чередованием заболоченных участков и суходолов. В результате на небольших территориях создаются микроклиматические неоднородности в деятельном слое, выраженные в изменении радиационного баланса, температуры и влажности почвы и приземного слоя воздуха, скорости испарения. Встречающиеся небольшие возвышения также являются микроклиматообразующими факторами. В этом случае изменения наблюдаются во всем комплексе микроклиматических показателей.

2. Равнина характеризуется однородным геологическим строением и абсолютными высотами, не превышающими 200 м (колебания относительных превышений не превосходят 50 м).

Метеорологические станции, находящиеся в таких условиях, являются, как правило, репрезентативными, их следует отнести к группе фоновых станций данного типа рельефа по метеорологическому режиму приземного слоя воздуха.

Микроклиматическая изменчивость метеорологических величин на большей части территории таких равнин выражена слабо. Однако наличие даже небольших возвышений нарушает однородность метеорологического режима в приземном слое воздуха, создавая микроклиматические неоднородности на ограниченных территориях.

Существенные мезоклиматические различия возникают вследствие большой пестроты механического состава почвы, что приводит к значительным различиям в термическом режиме и увлажнении ее верхнего слоя.

3. Холмистый рельеф — всхолмленные участки суши с абсолютными высотами до 500 м и относительными превышениями от 10 до 100—150 м. Микроклимат территорий, имеющих холмистый рельеф, отличается большим разнообразием, которое не могут отразить данные метеорологических станций. Для характеристики микроклимата необходимо использовать систему таблиц микроклиматической изменчивости метеорологических величин.

4. Предгорья — окраинные части горных стран, характеризующиеся холмистым или горным рельефом (иногда имеют местное название — прилавки, адыры и др.). Абсолютные высоты колеблются от 200 до 1000 м, относительные превышения могут достигать 200 м.

Мезоклимат и микроклимат предгорий формируется, с одной стороны, под влиянием гор, а с другой — под влиянием прилегающих равнин. В этих условиях мощным микроклиматообразующим фактором является нисходящий (катабатический) ветер (фен, бора, стоковый ветер и др.). Стоковые явления в значительной степени определяют микроклиматические различия. В предгорьях в зависимости от прихода солнечной радиации достаточно четко выражены высотные градиенты метеорологических величин.

Данные метеорологических станций должны быть строго дифференцированы в зависимости от местоположения и абсолютной высоты станции над уровнем моря.

В предгорном и горном рельефе при определении репрезентативности, т. е. характерности, метеорологической станции не обязательно это понятие привязывать к большой территории. В сложных в физико-географическом отношении условиях нужно выделить характерные геотопологические разновидности мезоклиматического масштаба.

Для горных территорий обычно выделяют семь мезоклиматических типов местоположений: 1) широкие долины (шириной 4—5 км); 2) узкие долины; 3) перевалы, седловины; 4) котловины, впадины; 5) склоны; 6) плато, вершины; 7) побережье водоемов и острова. Каждый тип местоположений характеризуется

определенными особенностями. Один из типов местоположений должен быть использован в качестве контрольного, при этом относящиеся к нему станции будут репрезентативными и в широком смысле. Примером могут служить станции, расположенные в широких (>5 км) долинах (аналоги равнинных станций). Станции, относящиеся к другим типам характерных местоположений, считаются репрезентативными в более узком смысле — для своего типа геотопологических особенностей.

Нередко характерность метеорологической станции нарушается тем, что она находится под влиянием вторичного признака неоднородности подстилающей поверхности (например, станция может быть расположена в широкой долине, но на вершине холма, или на перевале среди густого лесного массива). В таких случаях станцию следует считать нерепрезентативной, поскольку бессистемный охват вторичных признаков неоднородностей подстилающей поверхности затрудняет правильное использование режимной информации. Эти станции должны быть исключены из рассмотрения.

5. Морские прибрежные предгорья представляют собой узкую (3—5 км от уреза воды) полосу морского побережья предгорий горных систем, прижатых к морям и крупным водоемам. Это совершенно особые в климатическом отношении территории. Здесь на климат оказывают сильное влияние и море, и горы. Днем восходящие токи заносят глубоко в горы морской воздух, ночью мощный стоковый ветер обрушивает на узкую прибрежную полосу большие массы горного воздуха. Для условий морских прибрежных предгорий чрезвычайно важно получить распределение высотных градиентов метеорологических величин и значения их микроклиматической изменчивости.

6. Низкогорья — низкие горы с абсолютными высотами 500—750 м и очень малыми относительными превышениями (10—50 м). Вследствие небольших абсолютных высот вертикальные градиенты почти не выражены. Микроклиматообразующие факторы примерно такие же, как при холмистом рельефе.

Микроклиматические различия сильно зависят от формы рельефа (экспозиции и крутизны склона, части склона, площади воздухосбора и др.). Данные метеорологических станций и здесь должны быть строго дифференцированы в зависимости от их местоположения.

Фоновые станции для низкогорий приурочиваются к выровненным участкам, по возможности находящимся вне зоны влияния соседних возвышений. При таком типе рельефа мезоклиматические различия по территории выражены слабо.

Микроклиматические изменения метеорологических величин при этом типе макрорельефа выражены более контрастно, чем при холмистом рельефе, в связи с бóльшими абсолютными высотами.

7. Плоскогорья, нагорья характеризуются абсолютными высотами более 500 м. Это высоко поднятые участки суши с плоскими или волнисто-равнинными формами рельефа. Плоскогорья нередко расчленены долинами, окраины иногда имеют характер гор. Нагорья встречаются преимущественно в субтропических и близких к ним широтах, характеризуются сочетанием высоко расположенных над уровнем моря равнинных участков и пониженных горных хребтов.

В этом типе макрорельефа возможны большие относительные превышения, достигающие 300 м. Климат плоскогорий и нагорий определяется, помимо общих физико-географических условий, еще и высотой над уровнем моря. Для нагорий, имеющих большие абсолютные высоты, характерны большая прозрачность атмосферы, типичный горный режим радиационных характеристик, значительные суточные амплитуды метеорологических величин и сильная засушливость. Мезоклиматические различия по территории выражены четко, микроклиматические изменения метеорологических величин также достаточно велики.

8. Среднегорный и горный рельеф характеризуется абсолютными высотами более 750 м и относительными превышениями 200—1500 м. Для этого типа макрорельефа характерна направленность горных хребтов, выраженная расчлененность рельефа, четкая вертикальная зональность климатических особенностей. Данные метеорологических станций должны быть строго дифференцированы по условиям их местоположения.

9. Межгорные депрессии (впадина, котловина и пр.) — любые обширные понижения в горной местности, которые характеризуются абсолютными высотами более 200 м. Относительное превышение окружающих гор над дном депрессии часто составляет 500 м и более, иногда достигает 1000—2000 м.

Межгорные депрессии характеризуются особым климатом, определяемым общими физико-географическими условиями. Фоновые метеорологические станции приурочены к ровным участкам депрессий, удаленным от горных склонов на расстояние не менее 2—5 км.

Микроклиматические изменения метеорологических величин определяются особенностями рельефа окружающих гор, рельефом самой депрессии, а также другими микроклиматообразующими различиями подстилающей поверхности.

Мезоклиматические типы местоположений и их границы определяются по физико-географическим или геотопологическим картам с применением основных принципов геотопологии.

Изложенные особенности изменения мезо- и микроклимата в разных типах макрорельефа носят общий характер, в конкретных случаях нужен точный геотопологический анализ территорий и форм рельефа.

2. МЕЗОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ НА ПРИМЕРЕ НОВГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Климатическая составляющая является одним из важнейших экологических компонентов.

При мезоклиматическом районировании необходимо использовать общие принципы типизации природных условий по степени их мезоклиматообразующего действия (см. п. 1.2).

В работе [21] приведены основные принципы методов мезоклиматического районирования. В данном издании рассмотрим мезоклиматическое районирование на примере Новгородской области.

2.1. Геотопологический анализ

В пределах Новгородской области выделяются пять типов геотопологических особенностей, в которых формируются различные типы мезоклиматов (рис. 2):

1. Низменные равнины.
2. Равнины.
3. Прибрежные территории.
4. Холмистый рельеф.
5. Болота и заболоченные территории.

Новгородская область занимает значительную территорию: 57—59° с. ш., 30—36° в. д.

К низменным равнинам относится Волхово-Ильменская низина. Пониженные формы рельефа и открытость воздействию холодных и влажных потоков воздуха с севера и запада обусловливают прохладное влажное лето. Короткий безморозный период и холодные почвы являются в этом типе геотопологических особенностей лимитирующими факторами для ведения сельского хозяйства.

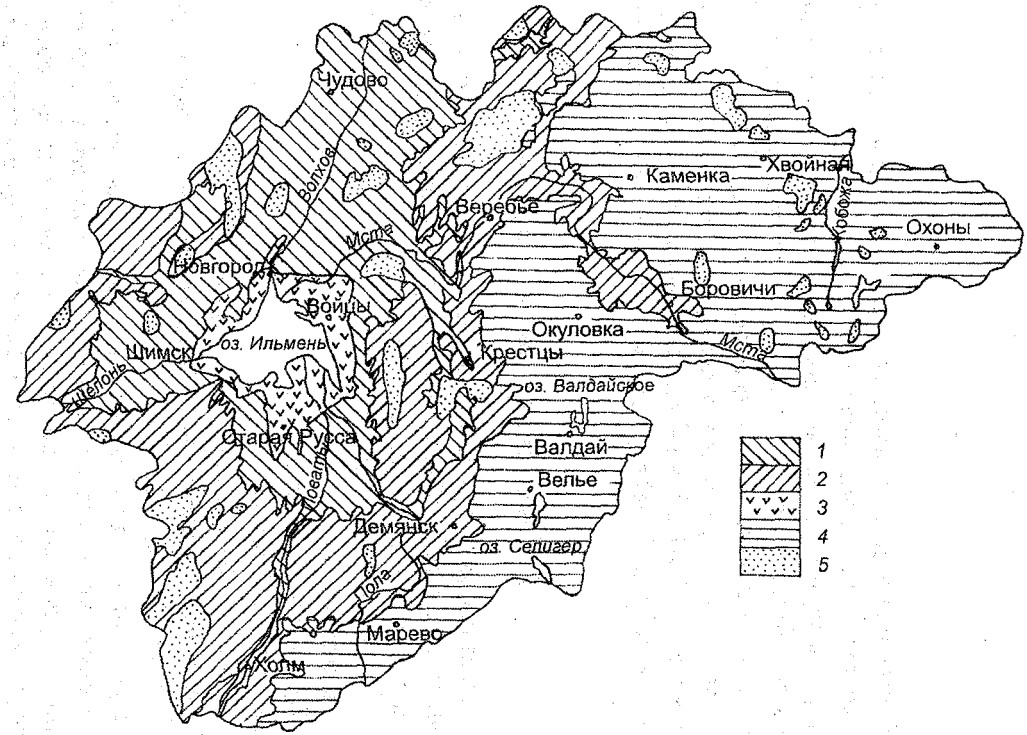


Рис. 2. Геотопологические районы Новгородской области.

1 — низменные равнины (абсолютные высоты до 50 м); *2* — равнины (высоты 50—100 м); *3* — прибрежные территории (высоты до 25 м); *4* — холмистый рельеф (высоты более 100 м); *5* — болота и заболоченные территории.

Равнины, окаймляющие низину, находятся под влиянием тех же климатических факторов. Температурные характеристики как почвы, так и воздуха остаются низкими.

В юго-западной части Волхово-Ильменской низины создаются условия, наиболее благоприятные для сельского хозяйства в первую очередь за счет термического фактора. Территория Мстинской впадины по мезоклиматическим условиям тоже относится к благоприятным для роста и развития сельскохозяйственных культур, однако здесь несколько увеличена заморозкоопасность вследствие котловинного местоположения.

Прибрежные территории оз. Ильмень — пониженные, но сказывается смягчающее действие большого водоема, обусловливающее более длительный безморозный период.

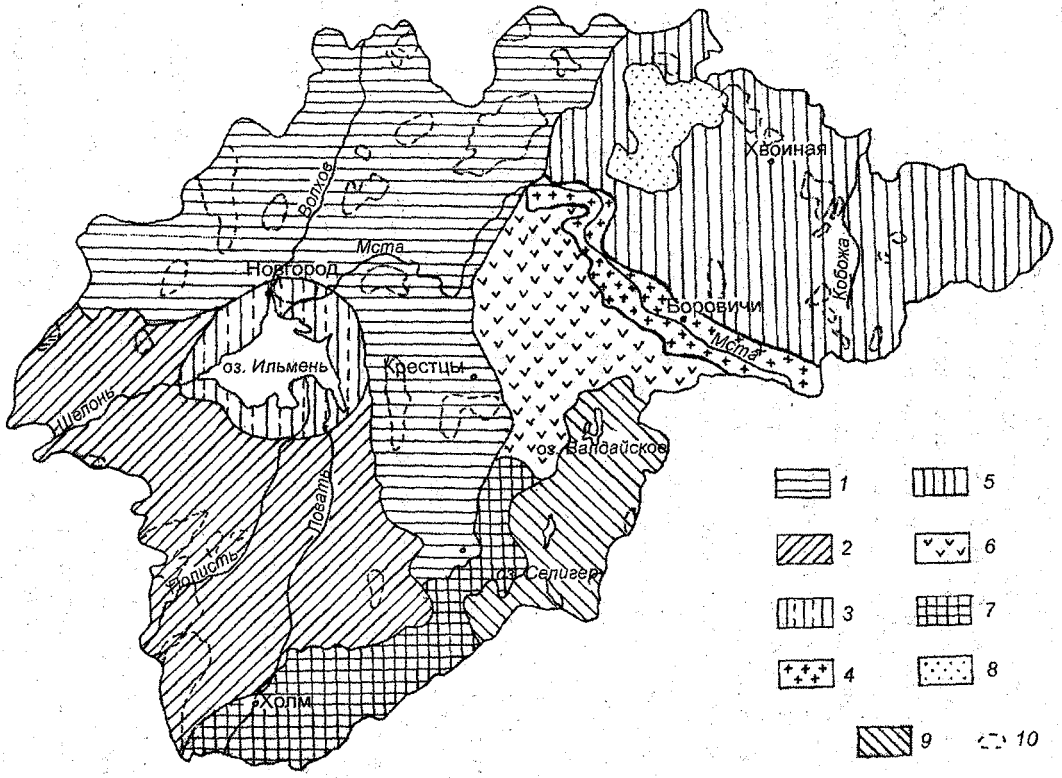
Около трети территории Новгородской области занимает Валдайская возвышенность и ее отроги, протянувшиеся с крайнего юга области до ее северной границы. Большая протяженность территории с холмистым рельефом обусловливает и большое разнообразие климатических особенностей этого района.

Для Валдайской возвышенности большие мезоклиматические различия по территории характерны при высотах менее 200 м, в основном на севере Новгородской области.

К пятому типу геотопологических особенностей относятся болота и заболоченные территории, но в связи с их малой пригодностью для сельскохозяйственного производства в данной работе не дается подробного анализа их основных климатических характеристик.

2.2. Описание мезоклиматических районов

При решении вопроса оптимизации размещения сельскохозяйственных культур нельзя ограничиться учетом пространственной изменчивости отдельных климатических показателей, необходимо синтезировать отдельное их влияние путем создания единой мезоклиматической карты, отражающей весь комплекс воздействия составляющих климата на продуктивность сельскохозяйственных культур.


Хвойная
Волхов
Мста
Новгород
Кобожа
Боровичи
Мста
оз. Ильмень
Крестцы
Шелонь
оз. Валдайское
Полисть
Ловать
оз. Селигер
Холм
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

Мезоклиматическое районирование проводится на геотопологической основе по показателям климата — радиационному режиму, скорости и направлению ветра, теплообеспеченности воздуха и почвы, влажности почвы. Полученная комплексная мезоклиматическая карта в сочетании с таблицей агроклиматических показателей является эколого-климатическим паспортом области. В соответствии с мезоклиматическим районированием по отдельным показателям на комплексной мезоклиматической карте выделены следующие девять мезоклиматических районов (рис. 3, табл. 3):

1. Волхово-Ильменская низина, северная и центральная части.
2. Волхово-Ильменская низина, юго-западная часть.
3. Приильменский район.
4. Мстинская впадина.
5. Валдайская возвышенность (абсолютные высоты до 200 м), восточная часть.
6. Валдайская возвышенность (абсолютные высоты до 200 м), центральная часть.
7. Валдайская возвышенность (абсолютные высоты до 200 м), южная часть.
8. Валдайская возвышенность (абсолютные высоты более 200 м), северная часть.
9. Валдайская возвышенность (абсолютные высоты более 200 м), центральная часть.

К 1-му мезоклиматическому району относится северная и центральная части Волхово-Ильменской низины, имеющие невысокие тепловые ресурсы и достаточно большое увлажнение. Наблюдается большая степень заболоченности почвы на севере области. Безморозный период составляет 115 дней. Сумма температур воздуха выше 10 °С равна 1750—1800 °С, преобладающая

Рис. 3. Мезоклиматическое районирование Новгородской области по комплексу показателей.

Районы: *1* — Волхово-Ильменская низина, северная и центральная части; *2* — Волхово-Ильменская низина, юго-западная часть; *3* — Приильменский; *4* — Мстинская впадина; *5* — Валдайская возвышенность (абсолютные высоты до 200 м), восточная часть; *6* — Валдайская возвышенность (абсолютные высоты до 200 м), центральная часть; *7* — Валдайская возвышенность (абсолютные высоты до 200 м), южная часть; *8* — Валдайская возвышенность (абсолютные высоты более 200 м), северная часть; *9* — Валдайская возвышенность (абсолютные высоты более 200 м), центральная часть.

10 — болота и заболоченные территории.

Агроклиматические показатели мезоклиматических

Район	$T_{мин}$ °С	$T_{макс}$ °С	Средняя месячная температура воздуха, °С		Скорость ветра за май—октябрь, м/с	Сумма ФАР, МДж/м^2	$\sum(T > 5$ °С) °С
			Январь	Июль			
1. Волхово-Ильменская низина, северная и центральная части	−33	30	−9,0	17,0	3,0—3,5	900	2160
2. Волхово-Ильменская низина, юго-западная часть	−30	31	−8,3	17,7	3,0—3,5	1100	2320
3. Приильменский	−30	30	−8,5	17,7	4,0—4,5	1100	2280
4. Мстинская впадина	−33	31	−9,5	17,4	2,5—3,0	1040	2210
5. Валдайская возвышенность (абсолютные высоты до 200 м), восточная часть	−35	30	−10,2	16,8	3,5—4,0	975	2060
6. Валдайская возвышенность (абсолютные высоты до 200 м), центральная часть	−31	30	−9,4	16,8	3,5—4,0	1000	2140
7. Валдайская возвышенность (абсолютные высоты до 200 м), южная часть	−33	30	−8,5	17,2	3,5—4,0	1060	2290
8. Валдайская возвышенность (абсолютные высоты более 200 м), северная часть	−34	29	−10,2	16,0	4,0—4,5	850	1935
9. Валдайская возвышенность (абсолютные высоты более 200 м), центральная часть	−33	29	−9,6	16,8	4,0—4,5	1000	2140

Примечание. ФАР — фотосинтетически активная радиация; τ_5 — продолжительность почвы; $T_{макс}$ — средняя из абсолютных максимумов температура воздуха;

Таблица 3

районов Новгородской области

$\Sigma(T > 10\ °C)$	τ_5 дни	$\tau_{б.п}$ дни	Влажность, % ПВ	$\Sigma(T_п > 10\ °C)$, °C, для почв		
				легких	средних	тяжелых
1750—1800	170	115	75—85	1950—2050	1740—1840	1520—1620
1950—2000	180	135	65—70	2100—2200	1840—1980	1580—1680
1950—2000	175	150	65—70	2000—2100	1800—1900	1600—1700
1850—1950	175	125	65—70	2000—2100	1800—1900	Нет
1700—1750	160	115	65—75	1900—2000	1700—1800	"
1750—1800	170	130	70—75	2000—2100	1800—1900	"
1900—1950	180	135	75—85	2200—2300	1900—2100	1700—1900
1500—1550	160	110	95—100	1900—2000	1700—1800	Нет
1775—1800	170	130	85—95	2000—2100	1900—2000	"

жительность периода с температурой воздуха выше 5 °C; ПВ — полная влагоем-
$T_{мин}$ — средняя из абсолютных минимумов температура воздуха.

влажность почвы — 80 % ПВ. Скорость ветра в вегетационный период (май—октябрь) — от 3 до 3,5 м/с.

Поздние заморозки в отдельные годы наблюдаются в середине июня, осенние — обычно во второй декаде сентября, при раннем похолодании — в конце августа.

Пятый и 8-й районы отличаются низкой обеспеченностью теплоэнергоресурсами и высокой влагообеспеченностью. Восьмой (наиболее холодный в Новгородской области) район занимает северную часть Валдайской возвышенности с высотами более 200 м. Сумма температур воздуха за период с устойчивой температурой выше 10 °С составляет всего 1500—1550 °С, безморозный период продолжается 110 дней, наблюдаются небольшие значения фотосинтетически активной радиации (ФАР) — 850 МДж/м^2 и наибольшая влажность почвы — 95—100 % ПВ. Средний из абсолютных минимумов температуры воздуха в зимний период достигает −34 °С, а его значение −40 °С отмечается 1 раз в 7 лет; абсолютный минимум может опускаться до −54 °С.

Неблагоприятными факторами для сельского хозяйства являются поздние весенние заморозки, которые 1 раз в 10 лет отмечаются в середине июня, а в отдельные годы в конце июня. Характерно преобладание почвы легкого и среднего механического состава; сумма температур почвы выше 10 °С составляет соответственно 1900—2000 °С для песчаных и 1700—1800 °С для среднесуглинистых почв.

По ресурсам тепла и влаги 5-й район более благоприятен, чем 8-й. Территория этого района значительно заболочена, занята большими лесными массивами, но освоенные земли, как правило, имеют более благоприятный климатический режим для ведения сельского хозяйства. Сумма температур воздуха выше 10 °С несколько больше, чем в 8-м районе, и составляет 1700—1750 °С, что является уже достаточным по потребностям многих районированных в Новгородской области сельскохозяйственных культур. Длительность безморозного периода составляет около 115—117 дней. Возможны поздние заморозки из-за северных вторжений холодного полярного воздуха. По этой же причине (холодные вторжения ведут к увеличению облачности) наблюдается довольно низкий уровень ФАР — 900—1000 МДж/м^2, что является лимитирующим фактором для онтогенеза сельскохозяйственных культур. Влажность почвы близка к наименьшей

влагоемкости (НВ) и составляет 65—75 % ПВ, т. е. район находится в зоне наиболее благоприятного увлажнения почвы.

Наиболее благоприятными для сельского хозяйства Новгородской области являются 2, 3, 4 и 7-й районы. Именно в этих районах потребности большинства районированных в области сельскохозяйственных культур удовлетворяются полностью и наблюдается наибольший в Новгородской области безморозный период (130—150 дней). Благоприятен и температурный режим почвы. Сумма температур почвы выше 10 °С на глубине 20 см для легких почв меняется в пределах 2000—2300 °С, для средних почв — в диапазоне 1800—2100 °С.

Климатические различия между этими мезоклиматическими районами области связаны в основном с распределением средней месячной температуры воздуха (лето и зима), ФАР и скорости ветра, обусловленным различными геотопологическими характеристиками районов.

Равнинные участки юго-запада Волхово-Ильменской низины (2-й мезоклиматический район) имеют лучшие температурные условия. Средняя температура воздуха в июле составляет 17,7 °С, в январе она равна −8,3 °С (на 1,5—2,0 °С выше, чем на остальной территории). Средний из абсолютных минимумов температуры воздуха (−30 °С) на 3—5 °С выше, чем в других районах, кроме Приильменского, что существенно сказывается на условиях перезимовки растений.

Приильменский (3-й) мезоклиматический район выделяется из всего перечня благоприятных районов прежде всего наиболее длительным безморозным периодом (150 дней) и сравнительно большими значениями скорости ветра (4,0—4,5 м/с). На пахотных землях создаются более благоприятные условия для ведения сельского хозяйства, чем в других мезоклиматических районах. Сумма температур почвы выше 10 °С составляет 1800—1900 °С для средних и 2000—2100 °С для легких почв.

Южное расположение 7-го мезоклиматического района обеспечивает создание условий наибольшего благоприятствования по всем климатическим характеристикам. Здесь наблюдаются самые большие в области суммы температур воздуха выше 10 °С (1900—1950 °С), что обусловливает и наилучшие условия развития растений по сравнению с другими мезоклиматическими

районами области. Увлажненность почвы несколько выше, чем на равнинных территориях, за счет увеличения стока с возвышенных участков. Для ветрового режима в ночной период характерны стоковые явления, в значительной степени определяющие микроклиматические различия метеорологических величин.

Мезоклимат Мстинской впадины (4-й мезоклиматический район), имеющей достаточную протяженность с севера на юг, но практически со всех сторон закрытую отрогами Валдайской возвышенности, весьма благоприятен для ведения сельского хозяйства. Основные климатические показатели имеют здесь достаточно высокие значения, например сумма температур воздуха выше 10 °С составляет 1850—1950 °С. Несколько суровее зимние условия — средний из абсолютных минимумов температуры воздуха достигает −33 °С, а средняя температура воздуха в январе составляет −9,5 °С.

В заключение приведем ранжирование мезоклиматических районов по уменьшению степени их оптимальности для произрастания сельскохозяйственных культур (табл. 4).

Таблица 4

Ранжирование мезоклиматических районов по уменьшению степени их оптимальности

Номер ранга	Название района и его номер (в скобках)
1	Приильменский (3)
2	Волхово-Ильменская низина, юго-западная часть (2)
3	Валдайская возвышенность (абсолютные высоты до 200 м), южная часть (7)
4	Валдайская возвышенность (абсолютные высоты до 200 м), центральная часть (6)
5	Мстинская впадина (4)
6	Волхово-Ильменская низина, северная и центральная части (1)
7	Валдайская возвышенность (абсолютные высоты до 200 м), восточная часть (5)
8	Валдайская возвышенность (абсолютные высоты более 200 м), центральная часть (9)
9	Валдайская возвышенность (абсолютные высоты более 200 м), северная часть (8)

На основании результатов мезоклиматического районирования и учета требований сельскохозяйственных культур к климату в последующих главах будет оценена степень оптимальности произрастания районированных сельскохозяйственных культур при средних климатических и экстремальных условиях в каждом мезоклиматическом районе Новгородской области.

3. СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ДАННЫХ ПО МИКРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Система таблиц микроклиматической изменчивости метеорологических величин включает показатели радиационного и ветрового режимов, теплообеспеченности воздуха и почвы, влагообеспеченности почвы. Все данные были получены в ГГО в результате многолетних экспедиционных исследований, применения расчетных методов, основанных на данных климатических справочников по специально разработанной оригинальной методике [14, 25].

3.1. Расчет микроклиматической изменчивости радиационных характеристик

Расчеты сумм радиации, поступающей на склон, весьма трудоемки, но они упрощаются, если использовать отношения суточной суммы радиации, приходящей на склон, к суточной сумме радиации, поступающей на горизонтальную поверхность.

Основной составляющей радиационного баланса склонов, так же как и горизонтальной поверхности, является прямая солнечная радиация.

Т. А. Голубовой были определены коэффициенты K_s для пересчета средних за месяц суточных сумм прямой радиации с горизонтальной поверхности на склоны северной и южной экспозиции крутизной 5, 10 и 20° и склоны восточной и западной экспозиции крутизной 10 и 20° за теплое полугодие (апрель—сентябрь) в диапазоне 38—66° с. ш. [16, 25]. При помощи этих коэффициентов (табл. 5), а также по данным „Справочника по климату СССР" [28] о действительных средних суточных суммах прямой радиации на горизонтальную поверхность можно вычислить средние дневные суммы прямой радиации, поступающей на склоны, в любом конкретном пункте без проведения микроклиматических наблюдений.

Таблица 5

Коэффициенты K_s для пересчета средних за месяц суточных сумм прямой радиации с горизонтальной поверхности на склоны разной экспозиции

Северная широта, ...°	Крутизна склона, ...°																	
	5						10						20					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Северный склон																		
42	0,95	0,97	0,99	0,98	0,97	0,93	0,89	0,92	0,95	0,95	0,90	0,85	0,75	0,85	0,89	0,88	0,81	0,67
46	0,94	0,97	0,98	0,98	0,96	0,92	0,87	0,92	0,94	0,94	0,89	0,82	0,72	0,83	0,87	0,86	0,78	0,63
50	0,93	0,96	0,98	0,98	0,95	0,91	0,85	0,91	0,94	0,92	0,88	0,79	0,68	0,80	0,85	0,84	0,75	0,58
54	0,93	0,96	0,98	0,97	0,94	0,90	0,84	0,90	0,92	0,92	0,88	0,77	0,65	0,79	0,84	0,82	0,72	0,53
58	0,92	0,96	0,98	0,97	0,93	0,89	0,82	0,90	0,92	0,91	0,87	0,74	0,60	0,77	0,82	0,80	0,69	0,47
62	0,90	0,95	0,97	0,97	0,92	0,87	0,80	0,89	0,92	0,90	0,85	0,70	0,57	0,76	0,81	0,78	0,66	0,40
66	0,89	0,95	0,97	0,95	0,91	0,85	0,77	0,88	0,93	0,91	0,82	0,66	0,53	0,74	0,83	0,79	0,63	0,32
Южный склон																		
42	1,04	1,02	1,00	1,02	1,04	1,07	1,07	1,02	1,00	1,02	1,04	1,11	1,12	1,03	0,99	1,01	1,07	1,18
46	1,05	1,02	1,01	1,02	1,04	1,08	1,08	1,03	1,01	1,02	1,06	1,13	1,15	1,05	1,01	1,02	1,10	1,24
50	1,06	1,03	1,01	1,02	1,04	1,09	1,10	1,04	1,02	1,03	1,08	1,15	1,19	1,08	1,02	1,05	1,13	1,29
54	1,07	1,03	1,02	1,02	1,05	1,10	1,12	1,05	1,03	1,04	1,09	1,18	1,23	1,10	1,04	1,07	1,17	1,35
58	1,08	1,04	1,02	1,02	1,06	1,11	1,14	1,06	1,04	1,05	1,11	1,21	1,27	1,12	1,06	1,09	1,20	1,42
62	1,09	1,04	1,02	1,02	1,06	1,13	1,16	1,07	1,05	1,06	1,13	1,24	1,32	1,15	1,07	1,10	1,23	1,49
66	1,11	1,05	1,02	1,03	1,06	1,15	1,18	1,09	1,06	1,07	1,14	1,28	1,37	1,17	1,08	1,11	1,26	1,56

Окончание табл. 5

Северная широта, ...°	Крутизна склона, ...°																	
	5						10						20					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV	V	VI	VII	VIII	IX
							Восточный склон											
42	$K_s = 1$						0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,96	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96
46							0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
50							1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,98
54							1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,98	0,97	0,97	0,98	0,99
58							1,01	1,01	1,00	1,00	1,00	1,01	0,99	0,98	0,97	0,98	0,98	0,99
62							1,01	1,01	1,00	1,00	1,01	1,01	1,00	0,98	0,98	0,98	0,98	1,00
66							1,01	1,01	1,00	1,00	1,01	1,01	1,00	0,98	0,98	0,98	0,99	1,00
							Западный склон											
42	$K_s = 1$						0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,95	0,94	0,93	0,94	0,94	0,95
46							0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,95	0,94	0,93	0,94	0,94	0,95
50							0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,95	0,94	0,93	0,94	0,94	0,95
54							0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,95	0,94	0,93	0,94	0,94	0,95
58							0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,96	0,95	0,94	0,94	0,95	0,96
62							1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,97	0,97	0,96	0,97	0,98	0,99
66							1,01	1,01	1,00	1,00	1,01	1,01	1,00	0,98	0,97	0,98	0,99	1,00

Коэффициент K_s зависит от широты места, экспозиции и крутизны склона. Как показали исследования М. А. Гольберга, В. Беера и других, в случае склонов южной и северной экспозиции значения коэффициента K_s почти не меняются при изменении облачности и прозрачности атмосферы. Пологие склоны восточной и западной экспозиции при ясном небе получают примерно столько же радиационного тепла за сутки, сколько и горизонтальная поверхность, так как увеличение поступления радиации в дополуденные часы на восточных склонах по сравнению с горизонтальной поверхностью компенсируется его уменьшением в послеполуденное время, а на западных склонах недобор тепла в первую половину дня компенсируется его избытком после полудня. В реальных условиях на приход тепла к восточным и западным склонам существенно влияет суточный ход облачности и прозрачности атмосферы.

В теплую половину года на большей части территории России наблюдается преобладание облачности и уменьшение прозрачности атмосферы в послеполуденные часы, что создает благоприятные условия для облучения солнечной радиацией восточных склонов и уменьшает приток тепла к западным склонам. На севере России и Дальнем Востоке отмечается обратный суточный ход облачности, в связи с чем в этих районах на западные склоны поступает больше солнечной радиации по сравнению с восточными склонами.

Рассматривая в общем виде закономерности прихода прямой солнечной радиации к склонам разной крутизны и ориентации, можно сказать, что почти на всей территории России наибольший приток радиационного тепла наблюдается на южных склонах, затем следуют восточные склоны, горизонтальная поверхность, западные и северные склоны. В северных районах и на Дальнем Востоке, а также в районах с аналогичным суточным ходом облачности за южными склонами следует горизонтальная поверхность или западные склоны, затем восточные и северные склоны. В этих районах северо-западные склоны получают больше прямой радиации, чем северо-восточные, а юго-западные — больше, чем юго-восточные, в то время как на большей части территории страны юго-восточные склоны инсолированы сильнее юго-западных.

С увеличением крутизны южных склонов поступление радиации к ним растет, в то время как с возрастанием угла наклона северных, западных и восточных склонов поток радиации к ним уменьшается. Разница в инсоляции северных и южных склонов наиболее значительна и возрастает с увеличением широты места и крутизны склонов, достигая максимальных значений в северных широтах. В середине лета значения коэффициента K_s уменьшаются, особенно в южных широтах, сохраняясь существенными лишь на северных склонах.

Для оценки средних суточных сумм суммарной радиации, поступающей на северные и южные склоны крутизной 10 и 20°, можно использовать рассчитанные значения коэффициента K_Q, выражающего отношение средней суточной суммы суммарной радиации, приходящей на склон, к соответствующей сумме суммарной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность.

Сравнение значений коэффициентов K_s и K_Q показало, что они примерно совпадают, когда доля прямой радиации в суммарной, поступающей на наклонную поверхность, оказывается значительной. В этих случаях для приближенного расчета суточных сумм суммарной радиации, поступающей на склон, можно использовать коэффициент K_s; особенно это относится к склонам южной экспозиции.

Для определения средних суточных (месячных) сумм радиационного баланса склонов вычислен коэффициент K_R для северных и южных склонов крутизной 10 и 20°, выражающий отношение средней суточной суммы радиационного баланса склона к соответствующей сумме радиационного баланса горизонтальной поверхности. На основании данных о средней суточной сумме радиационного баланса горизонтальной поверхности $\sum R_{гор}$, взятых из „Справочника по климату СССР" [28], и по значениям коэффициента K_R можно определить среднюю суточную сумму радиационного баланса склонов $\sum R_c$ в разных климатических зонах

$$\sum R_c = K_R \sum R_{гор}. \qquad (1)$$

Данные по K_R представлены в табл. 6.

Таблица 6

Значения коэффициента K_R на 15-е число месяца (по Т. А. Голубовой)

Северная широта, ...°	Крутизна 20°						Крутизна 10°					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Северный склон												
42	0,81	0,88	0,92	0,92	0,86	0,67	0,91	0,95	0,97	0,95	0,93	0,88
46	0,78	0,88	0,91	0,90	0,84	0,65	0,90	0,94	0,96	0,94	0,92	0,85
50	0,76	0,87	0,90	0,89	0,82	0,62	0,88	0,93	0,95	0,94	0,92	0,83
54	0,73	0,86	0,89	0,88	0,80	0,59	0,86	0,92	0,84	0,93	0,90	0,80
58	0,70	0,85	0,88	0,87	0,78	0,57	0,84	0,92	0,93	0,92	0,89	0,77
62	0,68	0,84	0,86	0,86	0,76	0,53	0,82	0,91	0,94	0,91	0,89	0,72
66	0,65	0,83	0,85	0,84	0,73	0,50	0,81	0,90	0,95	0,92	0,87	0,68
Южный склон												
42	1,08	1,03	1,01	1,02	1,06	1,17	1,15	1,07	1,02	1,04	1,12	1,33
46	1,09	1,04	1,02	1,02	1,07	1,18	1,18	1,08	1,03	1,05	1,13	1,35
50	1,11	1,05	1,02	1,03	1,08	1,19	1,21	1,09	1,04	1,06	1,14	1,37
54	1,12	1,05	1,03	1,03	1,09	1,20	1,24	1,10	1,05	1,08	1,16	1,39
58	1,14	1,06	1,03	1,04	1,10	1,21	1,27	1,11	1,06	1,09	1,17	1,41
62	1,15	1,07	1,40	1,05	1,11	1,22	1,30	1,12	1,07	1,10	1,19	1,43
66	1,16	1,08	1,04	1,05	1,12	1,23	1,33	1,13	1,08	1,11	1,20	1,45

При небольшой крутизне склонов (до 30°) значения и эффективного излучения, и рассеянной радиации на склонах мало отличаются от их значений на горизонтальной поверхности, поэтому различия в значениях радиационного баланса пологих склонов и горизонтальной поверхности определяются в основном различиями в значениях прямой радиации. В связи с этим достаточно точная оценка теплоэнергетических ресурсов на склонах разной экспозиции и крутизны может быть получена при учете только одной прямой радиации.

Различия в приходе прямой радиации к склонам и на горизонтальную поверхность оказывают влияние и на продолжительность залегания снежного покрова. Дополнительное радиационное тепло, поступающее на южные склоны весной, способствует более раннему, чем на ровных участках, сходу снежного покрова, прогреванию и просыханию почвы, цветению плодовых и трав. Увеличение прихода радиации к южным склонам осенью следует использовать для возделывания морозостойких сельскохозяйственных культур с более длительным периодом вегетации.

В летний период южные склоны большой крутизны в средних и южных широтах получают прямой радиаций меньше, чем горизонтальная поверхность.

Для определения предельных значений угла наклона $\alpha_п$ южных, юго-восточных и юго-западных склонов, при которых средние суточные суммы прямой радиации, поступающей на склоны, равны соответствующим суммам прямой радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, Г. Б. Пигольциной [18] построены номограммы (рис. 4). При углах наклона меньше $\alpha_п$ средние суточные суммы прямой радиации, приходящей на склоны, больше средних суточных сумм прямой радиации, поступающей на горизонтальную поверхность; при углах наклона больше $\alpha_п$ приход радиации к склону меньше, чем к горизонтальной поверхности (см. рис. 4).

При детальной оценке агроклиматических ресурсов в районах с холмистым рельефом несомненный интерес представляет использование сведений о дневных суммах ФАР на склоны разной экспозиции и крутизны. Для склонов разной экспозиции

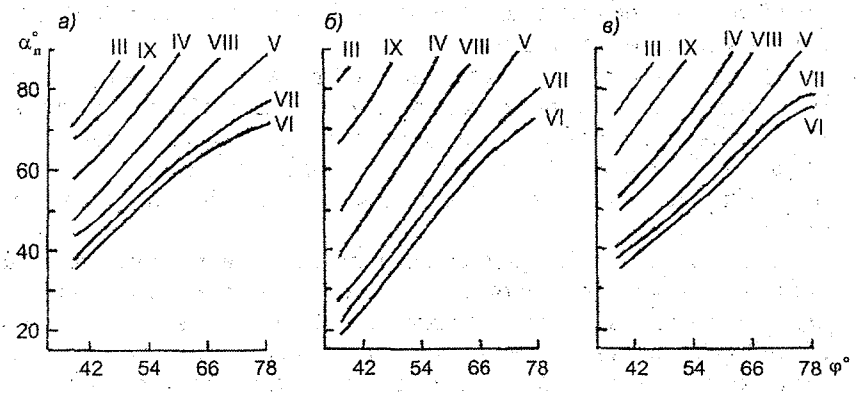


Рис. 4. Зависимость предельных углов наклона $\alpha_п$ от широты места φ и времени года (римские цифры — месяцы).

Экспозиция склонов: *а* — юго-восточная, *б* — южная, *в* — юго-западная.

и крутизны расчет дневных сумм ФАР может быть выполнен по приближенному уравнению

$$\sum Q_{ф.\,с} \approx 0{,}5(\sum S_c + \cos^2(\alpha/2)\sum D_{гор} + \sin^2(\alpha/2)\sum R_{гор}), \qquad (2)$$

где $\sum Q_{ф.\,с}$ и $\sum S_c$ — дневные суммы соответственно ФАР и прямой радиации, поступающей на склоны; $\sum D_{гор}$ и $\sum R_{гор}$ — дневные суммы соответственно рассеянной и отраженной радиации на горизонтальную поверхность; α — крутизна склона.

Относительные суточные суммы суммарной радиации $\sum Q_c/\sum Q_{гор} = K_Q$ хорошо согласуются с соответствующими суммами ФАР $\sum Q_{ф.\,с}/\sum Q_{ф.\,гор}$ на склонах разной экспозиции и крутизны. Следовательно, актинометрические расчеты суточных (месячных) сумм ФАР на склонах могут быть осуществлены по формуле

$$\sum Q_{ф.\,с} = K_Q \sum Q_{ф.\,гор}, \qquad (3)$$

где $\sum Q_{ф.\,гор}$ — дневные суммы ФАР на горизонтальную поверхность.

К числу основных показателей, четко реагирующих на влияние неоднородностей подстилающей поверхности и отражающих микроклиматические особенности отдельных участков (полей)

хозяйства, относятся радиационный баланс и суммы ФАР, рассчитанные за безморозный период.

При расчете сумм радиационного баланса (или ФАР) за безморозный период в пересеченной местности необходимо учитывать изменение средней продолжительности безморозного периода в зависимости от местоположения участка, изменение радиационных характеристик под влиянием экспозиции и крутизны склонов.

Для определения продолжительности безморозного периода конкретного участка (поля) используются даты первого и последнего заморозка в воздухе, взятые из „Справочника по климату СССР" [29], с введением к ним поправок на микроклиматическую изменчивость. Затем для каждого полного месяца безморозного периода вычисляются средние за месяц суточные суммы радиационного баланса склонов заданной ориентации и крутизны. За неполные месяцы (в начале и конце периода) суммы радиационного баланса $\sum R$ подсчитываются по графику годового хода радиационного баланса согласно формуле

$$\sum R = n(a + b)/2, \qquad (4)$$

где a — суточная сумма радиационного баланса на дату начала (конца) безморозного периода; b — то же на конец (начало) месяца; n — число дней в неполном месяце.

В табл. 7 для примера приведены суммы радиационного баланса за безморозный период, рассчитанные для различных местоположений участков в Воейково. Представленные результаты показывают, что в зависимости от местоположения конкретного участка даже для одного географического пункта наблюдается значительная изменчивость радиационно-энергетических ресурсов.

Приведенная методика расчета микроклиматической изменчивости радиационных характеристик позволяет детально оценить их пространственную изменчивость для административных районов и отдельных сельскохозяйственных полей.

Наличие связи между суммой ФАР за безморозный период и суммой температур воздуха за период с температурой воздуха выше 10 °С позволяет рассчитать суммы ФАР для районов, по которым нет данных о радиационных характеристиках.

Таблица 7

Сумма радиационного баланса $\sum R$ за безморозный период в зависимости от местоположения участков (Воейково)

Местоположение участка	$\sum R$ МДж/м^2
Вершина холма	1127
Южный склон, крутизна 10°:	
верхняя часть	1169
средняя часть	1060
нижняя часть	943
Северный склон, крутизна 10°:	
верхняя часть	989
средняя часть	930
нижняя часть	800
Подножие	884
Замкнутое понижение	846
Заторфяненный участок	884
Ровный участок	1022

Для расчета значений, представленных в табл. 8, были использованы данные по всем метеорологическим станциям России, ведущим наблюдения за радиационными характеристиками, из „Справочника по климату СССР" [28].

Таблица 8

Суммы ФАР за безморозный период при различных суммах температур воздуха за период с устойчивой температурой выше 10 °С

$\sum(T>10$ °С) °С	Сумма ФАР МДж/м^2	$\sum(T>10$ °С) °С	Сумма ФАР МДж/м^2
500	280	1150	710
550	340	1200	740
600	360	1250	760
650	390	1300	790
700	430	1350	820
750	470	1400	840
800	500	1450	860
850	530	1500	880
900	560	1550	910
950	590	1600	940
1000	620	1650	970
1050	650	1700	990
1100	680	1750	1020

Окончание табл. 8

$\sum(T > 10\ °C)$ °C	Сумма ФАР МДж/м^2	$\sum(T > 10\ °C)$ °C	Сумма ФАР МДж/м^2
1800	1040	2750	1450
1850	1060	2800	1470
1900	1090	2850	1490
1950	1110	2900	1500
2000	1130	2950	1520
2050	1150	3000	1540
2100	1170	3050	1560
2150	1190	3100	1580
2200	1210	3150	1600
2250	1230	3200	1620
2300	1260	3250	1630
2350	1280	3300	1650
2400	1300	3350	1670
2450	1320	3400	1690
2500	1340	3450	1710
2550	1370	3500	1720
2600	1390	3550	1740
2650	1400	3600	1750
2700	1430		

3.2. Оценка микроклиматической изменчивости режима ветра

Ветер очень сильно изменяется под влиянием неоднородностей подстилающей поверхности (рельефа местности, растительности, застройки). Естественно, что данные наземных метеорологических наблюдений за ветром отличаются большой пестротой в пределах ограниченной территории.

Данные о ветре можно распространить лишь на те участки территории, местоположения которых сходны с местоположением метеорологической станции. Если метеорологическая станция расположена на открытом ровном месте, то данные о ветре будут репрезентативны в рассматриваемом районе только для ровных мест, если же станция находится в долине, то распространять данные можно на долины, причем их ориентировка и ширина должны быть аналогичны той долине, в которой находится станция.

В результате кратковременных, но значительно более детальных, чем на метеорологических станциях, наблюдений можно выявить физически обоснованные закономерности изменения скорости и направления ветра и получить их количественные характеристики в различных формах рельефа.

Воздушный поток в пересеченной местности испытывает динамическое и термодинамическое воздействия. Первое выражается в изменении скорости и направлении ветра в различных формах рельефа в силу их механического влияния, второе — в возникновении местной циркуляции.

Динамическое воздействие рельефа на ветер проявляется в увеличении скорости ветра в местах сближения линий тока и ее уменьшении при их расхождении. Усиление ветра наблюдается на вершинах холмов, на наветренных склонах, иногда также на параллельных направлению ветра склонах. Уменьшение скорости ветра происходит позади препятствий, на подветренных склонах и в отрицательных формах рельефа.

Изменение направления ветра вследствие отклонения воздушного потока от основного определяется особенностями распределения препятствий на пути следования воздушного потока. В верхних частях подветренных склонов в результате обрыва струй при переваливании потока возникает вихревая зона, направление ветра неустойчиво, и возможны направления, противоположные основному потоку.

Термодинамическое воздействие холмистого рельефа на ветер проявляется ночью в виде нисходящих течений, которые достаточно четко прослеживаются при устойчивой антициклонической погоде с небольшой скоростью воздушного потока. Наличие таких ветров в холмистом рельефе приводит к образованию зон застоя в понижениях и к большому различию температуры воздуха между повышенными и пониженными участками. Днем вследствие интенсивного турбулентного обмена, сглаживающего микроклиматические различия, и сравнительно большой скорости ветра в основном потоке термодинамические восходящие течения вверх по склону не проявляются.

Неравномерное распределение снежного покрова при наличии препятствий, перераспределение осадков также в значительной степени определяются особенностями ветрового режима.

При холодных вторжениях наиболее низкие значения температуры наблюдаются на вершинах и наветренных склонах, т. е. в местоположениях, где отмечается увеличение скорости ветра.

Учет режима ветра и его изменения в различных формах рельефа имеет большое значение при выявлении более благоприятных участков для размещения сельскохозяйственных культур.

При средней скорости ветра 3—5 м/с на открытых ровных местах, например на полях, занятых посевами овощных культур, скорость на вершине и в верхней части открытого пологого холма (уклон 4—8°) возрастает в 1,2—1,4 раза, а в долине или лощине, лежащей перпендикулярно к направлению ветра, снижается и составляет 0,6—0,7 скорости ветра на открытом поле.

В саду скорость ветра почти в 2 раза меньше, чем на открытом месте, а в лесу на расстоянии 150—200 м от опушки даже сильный ветер уменьшается под кронами до штиля. Поэтому изрезанность рельефа, характер облесенности местности, наличие лесных полос, живых изгородей, стен домов и других препятствий для воздушного потока, снижающих его скорость и уменьшающих перемешивание слоев воздуха, являются очень существенными факторами образования микроклиматических особенностей отдельных участков.

Сильный ветер оказывает вредное действие на растения, увеличивая перемешивание нижних слоев воздуха, что в дневное время при сверхадиабатических состояниях атмосферы способствует охлаждению почвы и прилегающих слоев воздуха. Кроме того, при усилении ветра происходит более интенсивное испарение, приводящее к иссушению почвы и ненужному усилению транспирации растений.

Особенно опасным для сельскохозяйственных культур сильный ветер бывает во время адвекции холодного воздуха на более теплую подстилающую поверхность, когда он способствует более интенсивной отдаче тепла из почвы в воздух и охлаждению тканей растений. Охлаждение усугубляется еще добавочным расходом тепла на испарение и транспирацию. При пониженной температуре во время адвекции холодного воздуха усиление или ослабление ветра может оказаться решающим в повреждении цветков и завязей плодовых деревьев или теплолюбивых овощных культур.

В засушливых районах ослабление ветра приводит к уменьшению расхода воды растениями и почвой, т. е. в этом случае оно оказывается благоприятным.

Сильный ветер оказывает механическое вредное действие: в период цветения ухудшает опыление цветков, в период созревания сбивает плоды, а иногда целые ветви и даже ломает деревья. Сильный ветер в сочетании с дождем приводит к полеганию зерновых культур в период колошения и созревания.

В связи с этим при закладке сада и выборе участка для теплолюбивых культур обязательно нужно предусмотреть защиту от сильного, холодного ветра и суховея, учитывая естественное ослабление ветра в различных формах рельефа, или защитить поля и сады путем посадки лесных полос.

3.2.1. Изменение режима ветра под влиянием рельефа и древесной растительности

Изменение режима ветра в различных формах рельефа представлено в табл. 9. В качестве показателя изменения скорости воздушного потока используется коэффициент K, который представляет собой отношение скорости ветра в данном местоположении к скорости на открытом ровном месте.

Таблица 9

Коэффициенты изменения скорости ветра в различных формах рельефа по сравнению с открытым ровным местом при неустойчивой (1-я строка) и устойчивой (2-я строка) стратификации атмосферы на высоте 2 м

Формы рельефа	Скорость ветра на ровном месте, м/с	
	3—5*	6—20**
Открытые возвышения (холмы)		
Вершины:		
$\delta h > 50$ м	1,4—1,5	1,2—1,3
	1,6—1,8	1,4—1,5
$\delta h < 50$ м	1,3—1,4	1,1—1,2
	1,6—1,7	1,3—1,4

Формы рельефа	Скорость ветра на ровном месте, м/с	
	3—5*	6—20**
Наветренные склоны крутизной 3—10°:		
верхняя часть	1,2—1,3	1,1—1,2
	1,4—1,6	1,3—1,5
средняя часть	1,0—1,1	1,0—1,1
	1,0—1,1	1,1—1,2
нижняя часть	1,0	0,9—1,0
	0,8—0,9	1,0
Параллельные направлению ветра склоны крутизной 3—10°:		
верхняя часть	1,1—1,2	1,0—1,1
	1,3—1,4	1,2—1,3
средняя часть	0,9—1,0	0,8—0,9
	1,0—1,1	0,9—1,0
нижняя часть	0,8—0,9	0,7—0,8
	0,9—1,0	0,8—9,9
Подветренные склоны крутизной 3—10°:		
верхняя часть	0,8—0,9	0,7—0,8
	0,8—0,9	0,7—0,8
средняя часть	0,8—0,9	0,8—0,9
	0,9—1,0	0,9—1,0
нижняя часть	0,7—0,8	0,7—0,8
	0,8—0,9	0,8—0,9
Возвышения с плоскими вершинами и пологими в верхней части склонами		
Вершины, верхние части наветренных и подветренных склонов крутизной 1—3°	1,2—1,4	1,1—1,2
	1,4—1,6	1,4—1,5
Средние и нижние части наветренных и параллельных направлению ветра склонов крутизной 4—10°	1,1—1,2	1,1—1,2
	1,1—1,2	1,2—1,3
Средние и нижние части подветренных склонов крутизной 4—10°	0,7—0,9	0,8—0,9
	0,9—1,0	0,9—1,0
Долины, лощины, овраги		
Дно и нижние части склонов долин, лощин, оврагов:		
продуваемых ветром	1,1—1,2	1,2—1,3
	1,3—1,5	1,4—1,5

Окончание табл. 9

Формы рельефа	Скорость ветра на ровном месте, м/с	
	3—5*	6—20**
не продуваемых ветром	0,7—0,8	0,7—0,8
	≤ 0,6	≤ 0,6
замкнутых	≤ 0,6	≤ 0,6
Средние и верхние части склонов долин, лощин, оврагов:		
продуваемых ветром	1,2—1,3	1,1—1,2
	1,4—1,5	1,3—1,5
не продуваемых ветром	0,8—0,9	0,8—0,9
	0,6—0,7	0,6—0,7
замкнутых	≤ 0,6	≤ 0,6

* На высоте флюгера (10 м) скорость ветра 4—7 м/с.
** На высоте флюгера скорость ветра 8—25 м/с.

В табл. 9 для различных форм рельефа приводятся значения K по двум градациям скорости ветра на открытом ровном месте: 3—5 и 6—20 м/с.

С помощью табл. 9 и глазомерных съемок местности можно произвести оценку микроклиматической изменчивости скорости ветра в конкретном хозяйстве и составить анемометрические карты.

Лесные защитные полосы обеспечивают снижение скорости ветра в межполосном поле (табл. 10). За полосами ажурной и продуваемой конструкции скорость ветра на высоте 2 м уменьшается приблизительно на 20 % на расстоянии $20H$ (H — высота деревьев в лесной полосе) по сравнению с открытым полем. Взрослые плодовые деревья в самом саду тоже существенно снижают скорость ветра. Минимум скорости ветра за ажурной или продуваемой полосой располагается на расстоянии $3—5H$ от полосы и не превышает 50—60 % скорости ветра на открытом месте. В саду, защищенном лесополосами, среди взрослых деревьев скорость ветра снижается еще больше.

Для получения максимальной эффективности лесных полос большое значение также имеет правильное их размещение, при котором должны учитываться направление вредных ветров (хо-

Таблица 10

Коэффициенты изменения скорости ветра под влиянием лесных полос

Тип полосы	Удаленность от полосы			
	3*H*	15*H*	19*H*	20*H*
Продуваемая ветром	0,50	0,60	0,70	0,85
Ажурная	0,35	0,40	0,60	0,80
Не продуваемая ветром	0,25	0,60	0,85	0,90

Примечание. *H* — высота деревьев в лесной полосе.

лодных, сильных, суховейных) и естественное ослабление или усиление ветра в разных формах рельефа.

3.2.2. Оценка изменения режима ветра по климатическим справочникам

Прежде чем приступить к микроклиматическим исследованиям, которые позволят оценить изменение характеристик ветра в различных конкретных местоположениях холмистого рельефа и за лесными полосами, нужно провести оценку климатических особенностей режима ветра. Для климатической оценки используются наблюдения за ветром на ближайшей метеорологической станции, местоположение которой соответствует или сходно с условиями открытого ровного места. Расстояние до нее не должно превышать 40—50 км, флюгер должен быть установлен на открытом месте, вдали от высоких зданий или деревьев. Период наблюдений за ветром на станции может быть ограничен 5—10 годами. Использовать средние многолетние данные о ветре, приведенные в климатических справочниках СССР, можно только в тех случаях, когда расстояние до станции и установка флюгера удовлетворяют указанным выше требованиям.

По наблюдениям станции должна быть построена средняя многолетняя роза ветров, по которой можно судить о преобладающем направлении ветра в данном районе и о повторяемости холодного ветра и суховея. Для того чтобы выяснить преобладающее направление сильного ветра, нужно построить розу вет-

ров различной скорости. Такая роза очень показательна и для оценки скорости холодного ветра и суховея.

Роза ветров отдельных местоположений в зависимости от защищенности участка может в той или иной степени отличаться от розы метеорологической станции. Это отличие характеризует изменение режима ветра на отдельных участках, т. е. их микроклиматические особенности, которые и должны быть учтены.

Многолетняя роза ветров метеорологической станции также даст возможность оценить повторяемость изменения скорости ветра в различных местоположениях, т. е. поможет установить, насколько благоприятной для существования растений является защищенность данного участка. Например, участок, намеченный под закладку сада, хорошо защищен от восточного ветра. Однако роза ветров ближайшей метеорологической станции дает малую повторяемость восточного ветра и высокую — западного ветра. Следовательно, более благоприятным для закладки сада будет участок, защищенный от западных ветров.

В соответствии со средней многолетней розой ветров в ряде случаев можно ограничиться учетом одного или двух наиболее важных на исследуемой территории направлений ветра. Этот вопрос должен быть решен до проведения анемометрических съемок. По конфигурации многолетней розы ветров и повторяемости сильного ветра можно судить о совпадении направлений сильного и холодного ветра, что в случае отсутствия в данном районе суховеев дает возможность ограничиться учетом одного направления; если же нужно принять во внимание и суховей — то двух направлений.

На сети не проводятся регулярные микроклиматические наблюдения, поэтому построить средние многолетние розы ветров для различных местоположений по данным метеорологических станций невозможно. Для микроклиматической характеристики режима ветра вполне достаточно путем проведения серийных анемометрических съемок получить изменения скорости ветра на отдельных участках холмистого рельефа при разных направлениях ветра по сравнению с аналогичными данными в контрольной точке.

3.3. Оценка микроклиматической изменчивости теплообеспеченности вегетационного периода

Для выбора участков под различные сельскохозяйственные культуры необходимо определить термические ресурсы вегетационного периода конкретного поля.

В пределах области выделяются мезоклиматические районы с различной теплообеспеченностью, в пределах районов в разных местоположениях определяются различия в теплообеспеченности. По справочникам агроклиматических ресурсов той или иной области определяются показатели теплообеспеченности территории, полученные по средним суточным значениям температуры воздуха. Но для детальной микроклиматической оценки особенностей различных местоположений эти показатели недостаточны, они слабо отражают изменчивость теплообеспеченности на близких расстояниях. В микроклиматологии используются более четко реагирующие на изменение микроклимата и лучше отражающие влияние подстилающей поверхности на термический режим местности показатели: суммы температуры дня и ночи, длительность безморозного периода, дата наступления заморозков, температура деятельной поверхности и верхних слоев почвы и т. п.

На пересеченной местности на одинаковых по высоте, но разных по экспозиции участках вследствие различного нагревания их днем и охлаждения ночью термические ресурсы вегетационного периода неодинаковы.

Некоторое повышение термического режима отмечается на открытых южных склонах. Теплыми являются также юго-западные и юго-восточные склоны, которые получают столько же дополнительного тепла от солнечной радиации, сколько и южные. Но различия в нагреве склонов разной экспозиции четко проявляются только в самых приземных слоях воздуха, в температуре почвы и самих растений. На принятой в агроклиматических исследованиях высоте 2,0 м над уровнем почвы эти различия в термическом режиме склонов разной экспозиции сглаживаются под влиянием хорошего дневного турбулентного перемешивания воздуха и не всегда достаточно четко отражают термические условия среди растений.

3.3.1. Оценка заморозкоопасности территорий хозяйства

Одним из наиболее вредных для садовых и огородных культур климатических факторов являются заморозки, которые иногда наносят значительный ущерб урожаю. Как показали исследования физиологов, механизмы повреждения растений низкой температурой зимой в период покоя или кратковременными заморозками в течение вегетационного периода различны. Для разграничения этих двух физиологических процессов, протекающих в растении, физиологами в дополнение к терминам „морозоопасность", „морозостойкость" предложены термины „заморозкоопасность", „заморозкостойкость", которые использованы в дальнейшем тексте.

Заморозки повреждают растения в период роста, а при отсутствии закалки растений — и при относительно высоких значениях дневной температуры.

Для плодовых культур заморозки представляют особенно большую опасность в период цветения и образования завязей. Целый ряд овощных культур, особенно теплолюбивых, также очень чувствителен к понижениям температуры, а при заморозках вегетативная масса этих культур погибает. Поэтому оценка заморозкоопасности территории хозяйства имеет большое практическое значение. Она проводится расчетными методами, которые дополняются результатами глазомерных и инструментальных микроклиматических съемок.

На пересеченной местности степень заморозкоопасности (т. е. различная степень подверженности участков заморозкам) сильно меняется в зависимости от формы рельефа и типа заморозка.

Наибольшие микроклиматические различия наблюдаются при выхолаживании радиационного и адвективно-радиационного типов, являющемся причиной наиболее опасных поздних весенних и ранних осенних заморозков, возникающих при ясном небе и слабом ветре.

Охлажденный воздух, как более тяжелый, стекает по склонам и скапливается в пониженных частях рельефа в виде так называемых озер холода (рис. 5). При этом типе заморозков наименее заморозкоопасными являются вершины и верхние части склонов, с которых охлажденный воздух интенсивно стекает и заменяется более теплым воздухом из вышележащих слоев атмосферы.

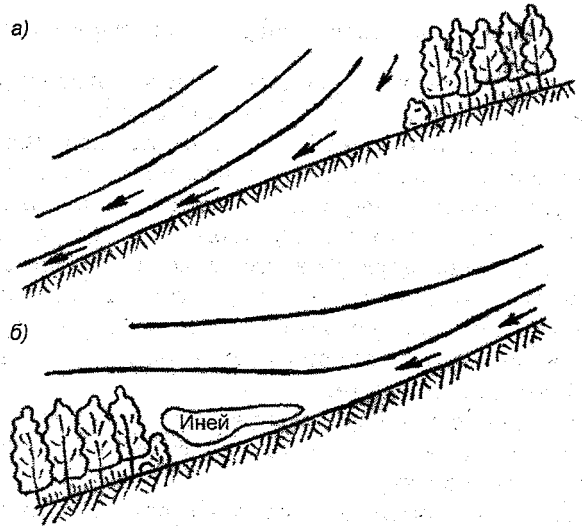


Рис. 5. Сток холодного воздуха по склону с лесом (по И. А. Гольцберг).

а — теплая опушка (холодные струи стекают); *б* — морозобойная опушка (холодные струи натекают).

Средние части склонов занимают промежуточное положение, здесь приток и сток воздуха уравновешиваются. Средние условия заморозкоопасности наблюдаются в местах без выраженного притока и стока охлажденного воздуха со стороны, например, на равнинах.

Для удобства расчетов в табл. 11 дается оценка (в баллах) заморозкоопасности различных форм холмистого рельефа, полученная в результате многочисленных исследований. Чем больше заморозкоопасность, тем выше балл. Для ровного места или середины склона принимается оценка 3 балла. Эта приближенная оценка заморозкоопасности холмистого рельефа умеренной зоны России предназначается для характеристики открытых, лишенных леса и высоких кустарников склонов и долин с относительными превышениями 10—150 м.

Ориентировочно можно принять, что в умеренной зоне в формах холмистого рельефа, оцениваемых 1 баллом, минимальная температура может быть на 3—5 °С выше, чем на открытых

Таблица 11

Степень заморозкоопасности отдельных форм рельефа в тихие ясные ночи (по И. А. Гольцберг)

Формы рельефа	Холодный воздух		Степень заморозкоопасности, балл	Диапазон изменения минимальной температуры за ночь весной и осенью, °С	
	Приток	Сток		от	до
Вершины, верхние и средние части крутых склонов ($\Delta h >$ > 50 м, уклон >10°)	Нет	Хороший	1	+3	+5
Вершины и верхние части пологих склонов ($\Delta h <$ 50 м, уклон 3—10°)	”	Есть	2	1	+3
Равнины, плоские вершины, дно широких (больше 1 км) открытых долин в средней части	”	Нет	3	0	
Средние части пологих склонов (уклон 3—10°)	”	Есть	3	0	
Дно и нижние части склонов узких долин с большим уклоном вдоль оси долины	Есть	Хороший	1	3	+5
То же с умеренным уклоном вдоль оси долины	”	Есть	2	+1	+3
Долины больших рек, берега водоемов	”	”	2	+2	+4
Дно и нижние части склонов нешироких, глубоких долин с большим уклоном вдоль оси долины	”	”	3	0	
То же со слабым уклоном вдоль оси долины	”	Слабый	4	−2	−3
Дно и нижние части склонов нешироких, извилистых, замкнутых долин	”	Почти нет	5	−3	−5
Котловины	”	Нет	5	−4	−6
Нижние части склонов и прилегающие части дна широких долин	”	Слабый	4	−3	−5

Окончание табл. 11

Формы рельефа	Холодный воздух		Степень заморозкоопасности, балл	Диапазон изменения минимальной температуры за ночь весной и осенью, °С	
	Приток	Сток		от	до
Замкнутые, широкие, плоские (корытообразные) долины	Есть	Почти нет	5	−4	−6
Сырые низины с минеральной почвой	Нет	Нет	4	3	≥ −6

Примечание. Знак „+" показывает повышение минимальной температуры за ночь весной и осенью по сравнению с ровным местом, знак „−" — усиление заморозков.

ровных местах, в формах рельефа, оцениваемых 2 баллами, — на 1—3 °С, причем в долинах больших рек и на побережье озер — на 2—4 °С. В местах, оцениваемых 4 баллами, температура на 2—5 °С ниже, чем на ровном месте, в формах рельефа, оцениваемых 5 баллами — на 4—6 °С.

Полученные на основании этих расчетов разности минимальной температуры позволяют количественно оценить различия заморозкоопасности отдельных участков в градусах. Разности наносят на план хозяйства и по ним определяется конфигурация отдельных площадей с данной температурой с учетом рельефа и растительности, путей стока и мест застоя холодного воздуха, отмеченных при глазомерной съемке. Изотермы проводить не надо. На карте заморозкоопасности с учетом рельефа оконтуриваются участки теплые, нормальные и холодные. К теплым относятся участки с оценкой 1—2 балла, к нормальным — с оценкой 3 балла, к холодным — с оценкой 4—5 баллов.

В условиях холмистого рельефа при тихой ясной погоде ночью под влиянием стока и накопления холодного воздуха в понижениях образуется выраженное инверсионное распределение температуры воздуха. Самые холодные слои располагаются над дном понижения. Здесь отмечаются самые большие перепады температуры порядка 3—5 °С в пределах нижних 10—20 м над дном понижения. Над этим слоем располагается теплая зона с малым изменением уровня температуры вдоль склона — около

0,5—1,0 °С в пределах высот 20—100 м над дном понижения. В более высоких слоях под влиянием лучшего перемешивания воздуха над бровкой долины может наблюдаться небольшое снижение температуры воздуха. Изменение температуры воздуха по склонам, полученное по наблюдениям в разных частях территории России, приводится на рис. 6.

Микроклиматические особенности распределения температуры воздуха перекрывают обычные высотные градиенты до относительного превышения около 100—150 м. Только при разностях высот между дном долины (понижения) и бровкой ее (вершиной холма), превышающих 200 м, начинает четко проявляться понижение температуры воздуха с высотой. В этом случае высотный градиент температуры начинает перекрывать влияние рельефа.

Также своеобразно и распределение температуры воздуха ночью при тихой ясной погоде по вертикали над поверхностью почвы. Самая низкая температура на ровных местах отмечается в припочвенном слое воздуха в пределах 1—10 см. Средние разности минимальной ночной температуры воздуха на ровных местах на высотах 2 и 150—200 см по европейской части России составляют около 2,5—3,5 °С, по азиатской части — до 4,0—4,5 °С. В отдельные ночи, особенно над лугами на осушенных торфяниках, эта разность может достигать 8—10 °С. При наличии приземного тумана скачок температуры отмечается на верхнем уровне тумана. В слое тумана температура обычно выравнена.

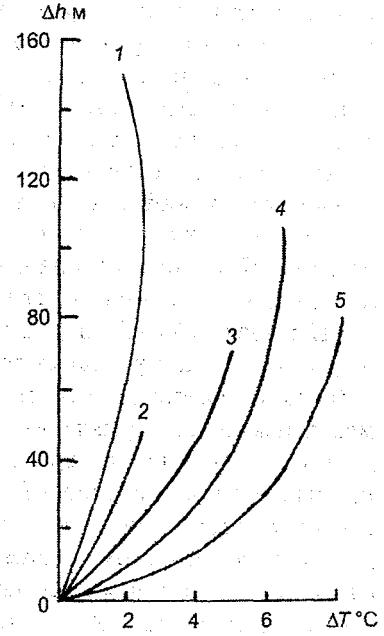


Рис. 6. Изменение разностей минимальной температуры ΔT по склону при подъеме на высоту Δh над нижней точкой рельефа (по И. А. Гольцберг).

1 — высокий открытый склон; *2* — невысокий склон хорошо продуваемой долины; *3* — склон долины со слабой инверсией температуры; *4* — склон замкнутой долины с выраженным озером холода; *5* — склон котловины с сильным застоем холодного воздуха.

3.3.2. Определение теплообеспеченности территории хозяйства по климатическим справочникам

В „Справочнике по климату СССР" [29] и в справочниках агроклиматических ресурсов той или иной области [1—3] для оценки теплообеспеченности сельскохозяйственных культур приводится ряд показателей, основными из которых для сельскохозяйственного производства являются суммы температур воздуха выше определенного уровня, средние месячные максимальные и минимальные значения температуры, средняя длительность безморозного периода и даты его начала и конца.

В климатическом справочнике эти сведения приводятся для отдельных станций, в областных агроклиматических справочниках — в виде средних по районам, выделенным в пределах области по теплообеспеченности ее отдельных частей.

По этим справочникам можно определить значения основных показателей теплообеспеченности сельскохозяйственных культур для ровного открытого места на территории хозяйства. По агроклиматическим справочникам они определяются путем интерполяции как средние по территории. Пользуясь климатическим справочником, в качестве репрезентативной подбирают ближайшую метеорологическую станцию, расположенную в сходных условиях рельефа и почвенного покрова.

По почвенной и гипсометрическим картам с учетом плана севооборотов хозяйства определяют особенности подстилающей поверхности его территории, влияющие на изменение микроклимата. На основании данных табл. 12 рассчитывают показатели теплообеспеченности отдельных полей хозяйства.

Изменения средней длительности безморозного периода для отдельных полей рассчитывают от длительности его, определенной по климатическому справочнику. Для ровного открытого места изменение суммы температур в разных условиях подстилающей поверхности определяется режимом заморозков. Приведенные в табл. 12 разности суммы температур характеризуют для европейской части России уменьшение или увеличение этой суммы под влиянием режима заморозков. Возможность их подсчета определяется малой разностью в длительности безморозного периода и периода с температурой выше 10 °С на этой

Таблица 12

Разность между значениями показателей теплообеспеченности на ровном месте и в других формах рельефа

Форма рельефа	Разность					
	$\tau_{б.п}$, дни		суммы температур воздуха за безморозный период, °С		минимальной температуры воздуха за июль, °С	
	от	до	от	до	от	до
Вершины, верхние и средние части крутых склонов ($\Delta h > 50$ м, уклон >10°)	+15	+25	+150	+200	+1,5	+2,0
Вершины и верхние части пологих склонов ($\Delta h < 50$ м, уклон 3—10°)	+5	+15	+50	+150	+1,0	+1,5
Равнины, плоские вершины, дно широких (больше 1 км) открытых долин в средней части	0		0		0	
Средние части пологих склонов (уклон 3—10°)	0		0		0	
Дно и нижние части склонов узких долин с большим уклоном вдоль оси долины	+15	+25	+150	+200	+1,0	+1,0
То же с умеренным уклоном вдоль оси долины	+5	+15	+50	+150	—	
Долины больших рек, берега водоемов	+10	+20	+100	+200	+0,5	+1,0
Дно и нижние части склонов нешироких, глубоких долин с большим уклоном вдоль оси долины	0		0		0	
То же со слабым уклоном вдоль оси долины	−10	−15	−100	−200	−0,5	−1,5
Дно и нижние части склонов нешироких, извилистых, замкнутых долин	−15	−25	−200	−300	−1,5	−2,0
Котловины	≥ −20	−30	≥ −250	−350	−2,0	−2,5
Нижние части склонов и прилегающие части дна широких долин	−15	−25	−200	−300	−1,0	−1,5

Окончание табл. 12

Форма рельефа	Разность					
	$\tau_{б.п}$, дни		суммы температур воздуха за безморозный период, °С		минимальной температуры воздуха за июль, °С	
	от	до	от	до	от	до
Замкнутые, широкие, плоские (корытообразные) долины	≥ −20	−30	≥ −250	−300	−2,0	−2,5
Сырые низины с минеральной почвой	−15	−30	−200	−350	−1,5	−2,0
Торфяные почвы: слабоосушенные, необработанные участки	−10	−15	−100	−200	−1,0	−1,5
Луга на осушенных болотах	−25	−30	≥ −250	−300	—	
Хорошо осушенные, окультуренные минерализованные участки	−5	−10	−50	−100	—	

территории на ровных открытых местах вне влияния больших водоемов.

При большом увеличении длительности безморозного периода на выпуклых формах рельефа сумма температур воздуха за этот период меньше отличается от ее величины на ровном месте, чем сама длительность периода. Это объясняется более низкими средними суточными значениями температуры в периоды прекращения и начала заморозков на вершинах по сравнению с ровным открытым местом. В понижениях рельефа, наоборот, сумма температур существенно уменьшается, так как начало и конец заморозков здесь проходят на фоне повышенных средних суточных значений температуры воздуха.

Разность сумм температур воздуха за безморозный период между вершинами и прилегающими долинами в европейской части России обычно бывает около 200—300 °С, она несколько увеличивается в условиях континентального климата. Это соответствует изменению теплообеспеченности сельскохозяйственных культур, которое наблюдается на ровных местах на расстоянии 150—200 км по широте.

Для картирования длительности безморозного периода и сумм температур воздуха за этот период на микроклиматических

картах могут быть использованы данные наблюдений по минимальным термометрам. Однако получить достаточно точную длительность безморозного периода в разных формах рельефа непосредственно по этим данным трудно, так как длительность безморозного периода значительно изменяется по отдельным годам. Поэтому можно использовать карты заморозкоопасности, составленные по данным наблюдений за минимумом температуры в тихие ясные ночи, считая, что в этих условиях изменение интенсивности заморозка на 1 °С соответствует изменению средней длительности безморозного периода на 5 дней. Это значение достаточно точное, так как получено на основании сравнения результатов большого числа микросъемок температуры воздуха со средней многолетней длительностью безморозного периода.

Исполнитель, хорошо знакомый с местностью, для которой составляется микроклиматическая карта, зная местоположение ближайшей метеорологической станции и имея ее данные о средней многолетней длительности безморозного периода и сумме температур воздуха за этот период или за период с температурой выше 10 °С, по табл. 12 рассчитывает соответствующие изменения этих величин для изучаемой территории. По этим расчетам на основании данных табл. 11 и 12 может быть составлена микроклиматическая карта средней многолетней теплообеспеченности территории хозяйства без проведения микросъемок минимальной температуры воздуха. Такие съемки нужны лишь для уточнения деталей, не предусмотренных в табл. 11 и 12.

3.4. Оценка микроклиматической изменчивости теплообеспеченности почв

Понятие „климат почвы" рассматривалось многими учеными, однако наиболее четко и подробно и в соответствии с современными знаниями о почве его приводит А. М. Шульгин [35]. Под климатом почвы Шульгин понимает „многолетний режим температуры и влажности почвы, почвенного воздуха и других элементов, зависящий от комплекса природных условий и производственной деятельности человека и регулируемый последним...".

По Шульгину, почва является особой средой, в которой в специфических условиях преломляется и проявляется климат атмосферы. Главная особенность климата почвы связана со средой его формирования. В то время как в атмосфере физические явления протекают в довольно однородной среде, почва по своему составу и свойствам неоднородна даже на сравнительно небольших территориях. Отсюда многообразие вариаций термического и водного режимов почвы.

Исследования Л. Э. Инта, В. Н. Адаменко и Н. Г. Горышиной [6, 16] показали, что даже при слабых различиях климата в приземном слое воздуха температурный режим разных видов почв может значительно отличаться в районах с весьма пестрыми по механическому составу почвами.

Вопросами климата почвы Северо-Западного региона занималась Н. Г. Горышина [6]. В ее работах приводится карта районирования Северо-Запада европейской части России по условиям теплообеспеченности почв. Горышиной опубликована также таблица „Изменение термического режима почвы под влиянием ее неоднородности" [7], где даны отклонения термических характеристик почв разного механического состава от аналогичных характеристик среднесуглинистой почвы (табл. 13).

Если рассматривать отклонения температуры разных видов почв по отношению к среднесуглинистой, то песчаные почвы в мае в среднем на 2 °С теплее среднесуглинистых, а тяжелосуглинистые — на 1 °С холоднее. Суммы температур почвы на глубине 20 см за период вегетации также существенно различаются для разных по механическому составу почв. Так, сумма температур почвы выше 10 °С у песчаных почв на 340 °С больше, чем среднесуглинистых. Наибольшие разности наблюдаются для песчаных почв и неосушенных торфяников (см. табл. 13).

Таким образом, разности температуры почвы на двух расположенных в одном районе станциях с разными по механическому составу почвами (легкими и тяжелыми) будут гораздо больше, чем разности температуры воздуха на тех же станциях.

К показателям, наиболее четко выявляющим микроклиматические различия термического режима почвы в условиях относительно ровной местности Северо-Запада европейской части

Таблица 13

Разность между значениями показателей термического режима среднесуглинистых почв и других видов почв

Виды почв	Разность											
	средней температуры почвы в мае, °С		даты перехода средней суточной температуры почвы (дни) через				суммы температур почвы выше 10 °С, °С		продолжительности периода (дни) с температурой почвы выше			
			5 °С		10 °С				15 °С		10 °С	
	от	до	от	до	от	до	от	до	от	до	от	до
Песчаные, супесчаные	+1,0	+2,0	−6	−10	−10	−15	+200	+350	+15	+25	+20	+25
Легкосуглинистые	+0,5	+1,0	−3	−5	−5	−10	+100	+150	+5	+10	+10	+15
Среднесуглинистые	0		0		0		0		0		0	
Тяжелосуглинистые, глинистые	−0,5	−1,5	+3	+5	+5	+10	−100	−200	−5	−10	−5	−10
Торфяные, осушенные	−1,0	−2,0	+8	+10	+5	+10	+50	+100	+5	+10	+5	−5
Торфяные, неосушенные	−2,5	−4,0	+10	+15	+15	+25	−200	−500	−25	−30	−10	−20

России относятся даты перехода температуры почвы через определенные пределы, суммы температур почвы и продолжительность соответствующих периодов. На рис. 7 для территории Северо-Запада представлены графики связи между датой перехода температуры почвы через 5 °С, с одной стороны, и датой перехода температуры почвы через 10 °С, суммой температур почвы выше 10 °С и продолжительностью периода с температурой выше 10 и 15 °С — с другой.

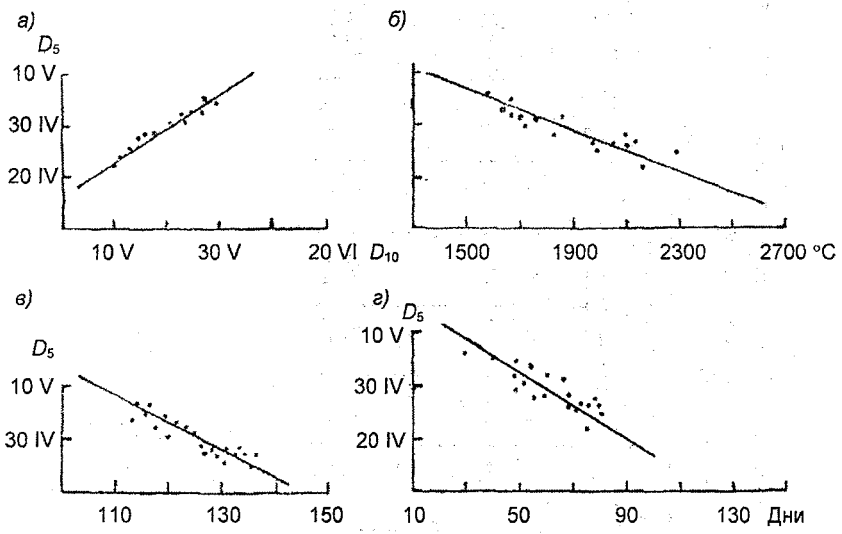


Рис. 7. Связь между датой перехода температуры почвы через 5 °С D_5 и датой перехода температуры почвы через 10 °С D_{10} (*а*), суммой (°С) температур почвы выше 10 °С (*б*), продолжительностью периода (дни) с температурой почвы выше 10 °С (*в*) и выше 15 °С (*г*).

Существование связи доказывает, что данные показатели, применяемые для характеристики теплообеспеченности почв, не являются случайными величинами.

В качестве примера приведено районирование Новгородской области по условиям теплообеспеченности почв. За основу оценки теплообеспеченности почв были приняты суммы температур почвы выше 10 °С на глубине 20 см.

В качестве основных станций использовались преобладающие на территории Новгородской области станции с супесчаными и песчаными почвами, к показателям термического режима которых были введены поправки, рассчитанные с помощью табл. 13 [7]. В результате были получены суммы температур почвы выше 10 °С, а также даты перехода средней суточной температуры почвы через 5 и 10 °С, продолжительность периодов с температурой почвы выше 10 °С для основных преобладающих в Новгородской области видов минеральных почв (песчаных, супесчаных, средне- и легкосуглинистых, тяжелосуглинистых), а также торфяно-болотных почв. Протяженность области с севера на юг более чем на 2° ш. позволяет разделить ее на северную, центральную и южную части. В результате с учетом четырех видов почв, характерных для области, можно выделить 12 районов (рис. 8).

Большая часть 1-го района — территории с песчаными и супесчаными почвами юга Мологской низменности, отличающиеся довольно большими суммами температур почвы (1900—2000 °С), а также наиболее ранними датами перехода температуры почвы через 5 и 10 °С весной (для северной части области). Так, переход средней температуры почвы на глубине 20 см через 5 °С происходит в этом районе 24—26 апреля, а средняя многолетняя температура почвы в мае составляет 10,0—10,4 °С. Продолжительность периода с температурой почвы выше 10 °С составляет 125—130 дней (табл. 14).

Для 2-го района — части Волхово-Ильменской низменности, а также участков западной окраины Валдайской гряды, сложенных среднесуглинистыми и легкосуглинистыми почвами, характерны несколько меньшие суммы температур почвы — около 1685—1785 °С. Средняя температура почвы в мае составляет примерно 9 °С. Переход средней суточной температуры почвы через 5 °С происходит 30 апреля—2 мая, через 10 °С — 22—24 мая, продолжительность периода с температурой почвы выше 10 °С составляет 109—114 дней. Расположенные вдоль р. Волхова участки аллювиальных почв относятся к этому же району, поскольку по своим значениям показателей термическо-

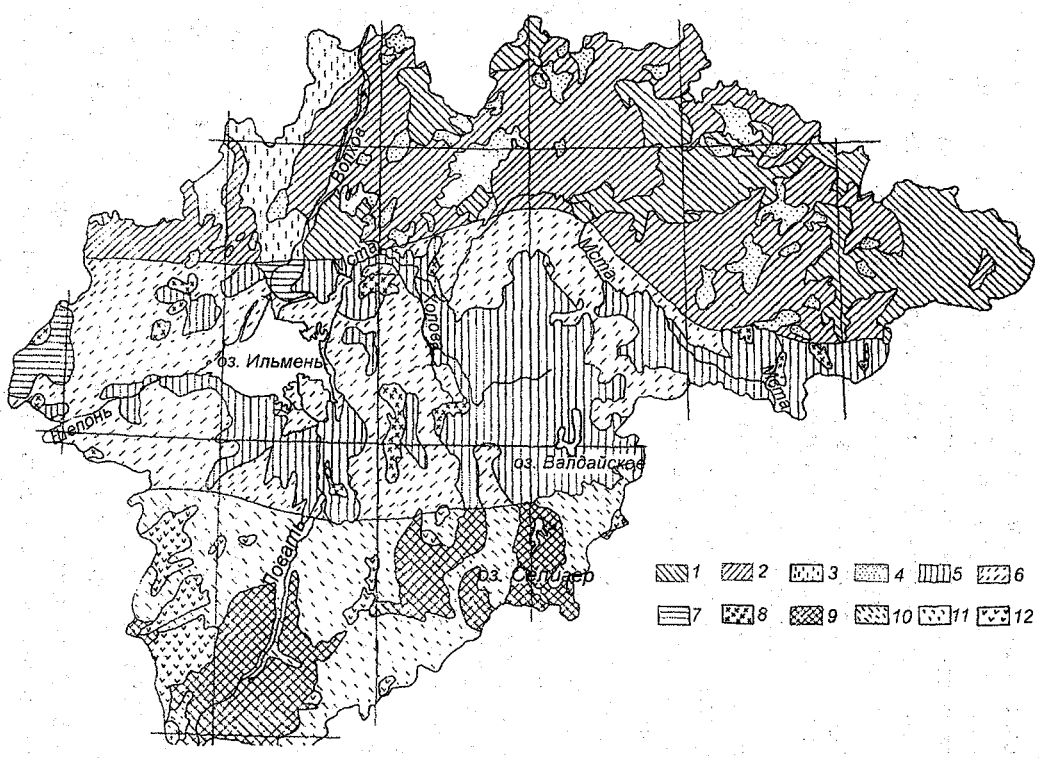


Рис. 8. Мезоклиматическое районирование Новгородской области по условиям теплообеспеченности почв.

1—12 — районы (см. табл. 14).

Таблица 14

Показатели термического режима почв Новгородской области

Номер района	Виды почв	Средняя температура почвы в мае, °С	Дата перехода средней суточной температуры почвы через		Сумма температур почвы выше 10 °С, °С	Продолжительность периода с температурой почвы выше 10 °С, °С
			5 °С	10 °С		
	Северная часть					
1	Песчаные, супесчаные	10,0—10,4	24—26 IV	14—16 V	1900—2000	125—130
2	Суглинистые, легкосуглинистые	8,9—9,3	30—2 V	22—24 V	1685—1785	109—114
3	Тяжелосуглинистые, глинистые	7,5—7,9	6—8 V	3—5 VI	1475—1575	95—100
4	Торфяно-болотные:					
	осушенные	7,0—7,4	11—13 V	3—5 VI	1700—1800	103—108
	неосушенные	5,3—5,7	14—16 V	15—17 VI	1275—1375	88—93
	Центральная часть					
5	Песчаные, супесчаные	10,4—10,8	22—24 IV	12—14 V	2000—2100	130—135
6	Суглинистые, легкосуглинистые	9,3—9,7	28—30 IV	20—22 V	1785—1885	114—119
7	Тяжелосуглинистые, глинистые	7,9—8,3	4—6 V	1—3 VI	1575—1675	100—105
8	Торфяно-болотные:					
	осушенные	7,4—7,8	9—11 V	1—3 VI	1800—1900	108—114
	неосушенные	5,7—6,1	12—14 V	13—15 VI	1375—1475	93—99
	Южная часть					
9	Песчаные, супесчаные	10,8—12,2	19—22 IV	8—12 V	2100—2300	136—142
10	Суглинистые, легкосуглинистые	9,7—11,1	25—28 IV	16—20 V	1885—2085	120—126
11	Тяжелосуглинистые, глинистые	8,3—9,7	1—4 V	28—1 VI	1675—1875	106—112
12	Торфяно-болотные:					
	осушенные	7,8—9,2	6—9 V	28—1 VI	1900—2100	115—120
	неосушенные	6,1—7,5	9—12 V	9—13 VI	1475—1675	100—105

го режима близки к легкосуглинистым и суглинистым почвам севера Новгородской области.

Западнее р. Волхова расположен 3-й район, который характеризуется преобладанием тяжелосуглинистых и глинистых почв и отличается наиболее коротким периодом, когда температура почвы на глубине 20 см превышает 10 °С, — 95—100 дней. Суммы температур почвы выше 10 °С здесь меньше, чем в 1-м районе, и составляют 1475—1575 °С. Переход средней суточной температуры почвы через 5 °С происходит 6—8 мая, а через 10 °С — 3—5 июня.

К 5-му району относится южная часть Приильменской низины, а также участки с Валдайской возвышенности супесчаными и песчаными почвами и участки с песчаными почвами, расположенные в долине р. Мсты. Переход средней суточной температуры почвы через 5 °С происходит 22—24 апреля, через 10 °С — 12—14 мая. Продолжительность периода с температурой почвы выше 10 °С составляет 130—135 дней, а суммы температур почвы выше 10 °С — 2000—2100 °С.

Участки со средне- и легкосуглинистыми почвами в центральной части области объединены в 6-й район, для которого характерны следующие термические характеристики: переход средней суточной температуры почвы через 5 °С происходит 28—30 апреля, через 10 °С — 20—22 мая; суммы температур почвы выше 10 °С составляют 1785—1885 °С, а продолжительность периода с температурой почвы выше 10 °С — 114—119 дней.

Небольшой участок на западе области с тяжелосуглинистыми почвами относится к 7-му району. Термические характеристики его почв приведены в табл. 14.

В южной части области выделяются также четыре района. Здесь расположен наиболее теплый 9-й район, где преобладают песчаные, супесчаные почвы, раньше других прогревающиеся весной. Переход температуры почвы через 5 °С происходит 19—22 апреля, через 10 °С — 8—12 мая. Этот район отличается также наиболее длительным периодом с температурой почвы выше 10 °С — 136—142 дня и наибольшими суммами температур почвы выше 10 °С — 2100—2300 °С.

Участки 10-го района, сложенные среднесуглинистыми и легкосуглинистыми почвами, характеризуются несколько меньшими суммами температур почвы выше 10 °С — 1885—2085 °С. Переход температуры почвы через 5 °С происходит 25—28 апреля, через 10 °С — 16—20 мая; продолжительность периода с температурой почвы выше 10 °С составляет 120—126 дней. К 11-му району относится небольшой участок тяжелосуглинистых почв, расположенный на крайнем юго-западе области. Термические характеристики этого района приведены в табл. 14.

Массивы торфяно-болотных почв занимают значительную часть Новгородской области. При этом участки осушенных болот по своему термическому режиму несколько отличаются от неосушенных. Среди массивов с торфяно-болотными почвами относящиеся к 4-му району осушенные территории являются довольно благоприятными по теплообеспеченности. Суммы температур почвы выше 10 °С здесь составляют 1700—1800 °С, период с температурой почвы выше 10 °С продолжается 103—108 дней.

Для неосушенных торфяников северной части области характерно очень медленное прогревание почвы весной. Переход средней температуры почвы через 5 и 10 °С происходит 14—16 мая и 15—17 июня соответственно. Суммы температур почвы выше 10 °С составляют всего лишь 1275—1375 °С. В центральной части области участки с торфяно-болотными почвами относятся к 8-му району. Здесь также осушенные территории отличаются большими суммами температур почвы выше 10 °С — около 1800—1900 °С, более ранним переходом средней суточной температуры почвы через 5 и 10 °С и соответственно более продолжительным периодом с температурой выше 10 °С (для осушенных участков — 108—113 дней, для неосушенных — 93—98 дней).

Торфяно-болотные массивы в южной части области (12-й район) — это в основном неосушенные болота (Рдейские болота), для которых характерны небольшие суммы температур почвы выше 10 °С (1475—1675 °С), а также поздний переход температуры почвы через 10 °С — 9—13 июня.

3.5. Оценка микроклиматической изменчивости режима увлажнения почвы

В условиях выровненного рельефа влагозапасы почвы на сельскохозяйственных полях при использовании одинаковых агротехнических приемов определяются климатическими факторами, видами почв и особенностями растительности. На пересеченной местности, помимо перечисленных факторов, влагозапасы почвы в очень сильной степени зависят от местоположения участков. Влажность почвы в различных формах рельефа изменяется часто больше, чем при переходе из одной климатической зоны в другую: влажность почвы на вершине холма и в верхней части склонов во влажной зоне может быть меньше, чем у подножия холма в более сухой зоне.

Существенно изменяются в зависимости от местоположения такие показатели увлажнения, как испаряемость E_0, испарение E, отношение E/E_0.

Испаряемость, характеризующая теплоэнергетические ресурсы испарения, сильно зависит от экспозиции и крутизны склона (рис. 9). Отношение испаряемости на склонах E_{0c} к испаряемости на ровном участке E_{0p} существенно зависит от экспозиции и крутизны склона (рис. 10). Согласно расчетам, эта величина почти не изменяется по территории нашей страны. В связи с этим отношение E_{0c}/E_{0p} можно определять по рис. 10 для всех местоположений в различных зонах увлажнения.

Такой показатель увлажнения, как отношение E/E_0, зависит не только от теплоэнергетических ресурсов, но и от запасов влаги в почве. В табл. 15 приводятся значения этого показателя для ровных участков за теплый период, а также для весны, лета и осени в разных зонах увлажнения. Изменение этого показателя в зависимости от местоположения участка и зоны увлажнения представлено на рис. 11.

Располагая значениями испаряемости E_0 (см. рис. 9) и отношения E/E_0 (рис. 11), можно легко рассчитать значения испарения E для различных форм рельефа на территории нашей страны.

Данные о влажности почвы в различных формах рельефа в пределах конкретного хозяйства, как правило, отличаются большой пестротой. Методика определения влажности почвы изложена в [20, 25].

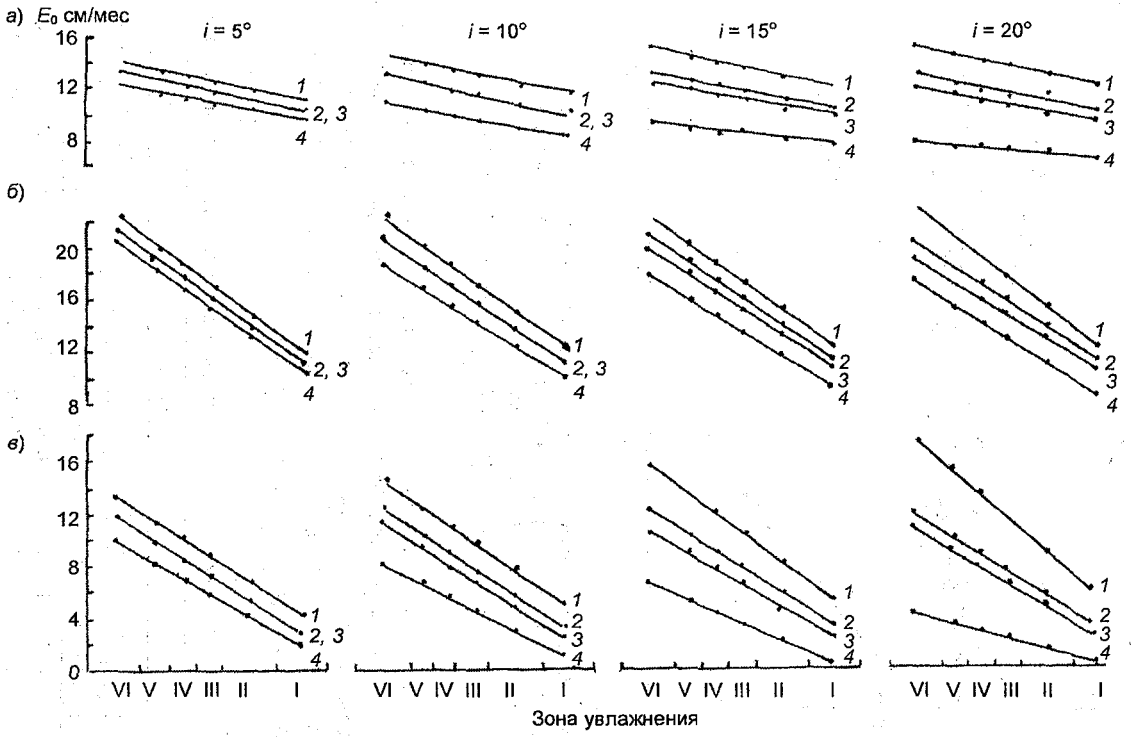


Рис. 9. Испаряемость E_0 на склонах с разной крутизной i в разных зонах увлажнения по сезонам.

а — весна; *б* — лето; *в* — осень; склоны: *1* — южный, *2* — восточный, *3* — западный, *4* — северный.

Зоны увлажнения: I — избыточно влажная, II — достаточно влажная, III — слабо засушливая, IV — засушливая, V — очень засушливая, VI — сухая.

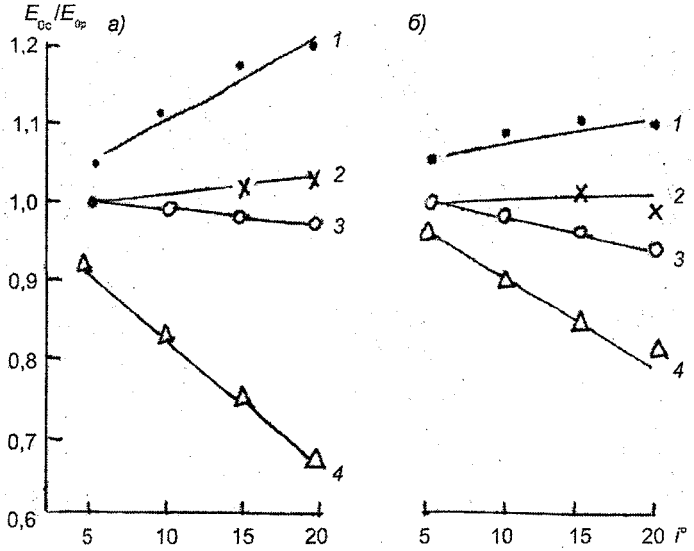


Рис. 10. Номограмма для определения отношения E_{0c}/E_{0p} испаряемости на склонах различной ориентации и крутизны i к испаряемости на ровном месте.

а — весна; *б* — лето; склоны: *1* — южный, *2* — восточный, *3* — западный, *4* — северный.

Неравномерное увлажнение различных участков в условиях холмистого рельефа создается вследствие перераспределения по элементам рельефа выпавших осадков, т. е. из-за неодинакового прихода влаги, и неодинакового расхода ее на испарение со склонов разной крутизны и экспозиции.

Таблица 15

Отношение E/E_0 для ровных участков в разных зонах увлажнения

Период, сезон	Зона увлажнения					
	избыточно влажная (I)	достаточно влажная (II)	слабо засушливая (III)	засушливая (IV)	очень засушливая (V)	сухая (VI)
Теплый	0,9	0,6—0,8	0,5—0,6	0,3—0,5	0,1—0,3	<0,1
Весна	1,0	0,9—1,0	0,7—0,9	0,6—0,7	0,5—0,6	0,3—0,5
Лето	0,7—0,9	0,5—0,6	0,3—0,5	0,1—0,3	<0,1	<0,1
Осень	0,9—1,0	0,6—0,7	0,3—0,5	0,1—0,3	<0,1	<0,1

Исходя из уравнения водного баланса для летнего времени, можно определить влагосодержание почвы в разных формах рельефа:

$$W = (r - f) - E, \qquad (5)$$

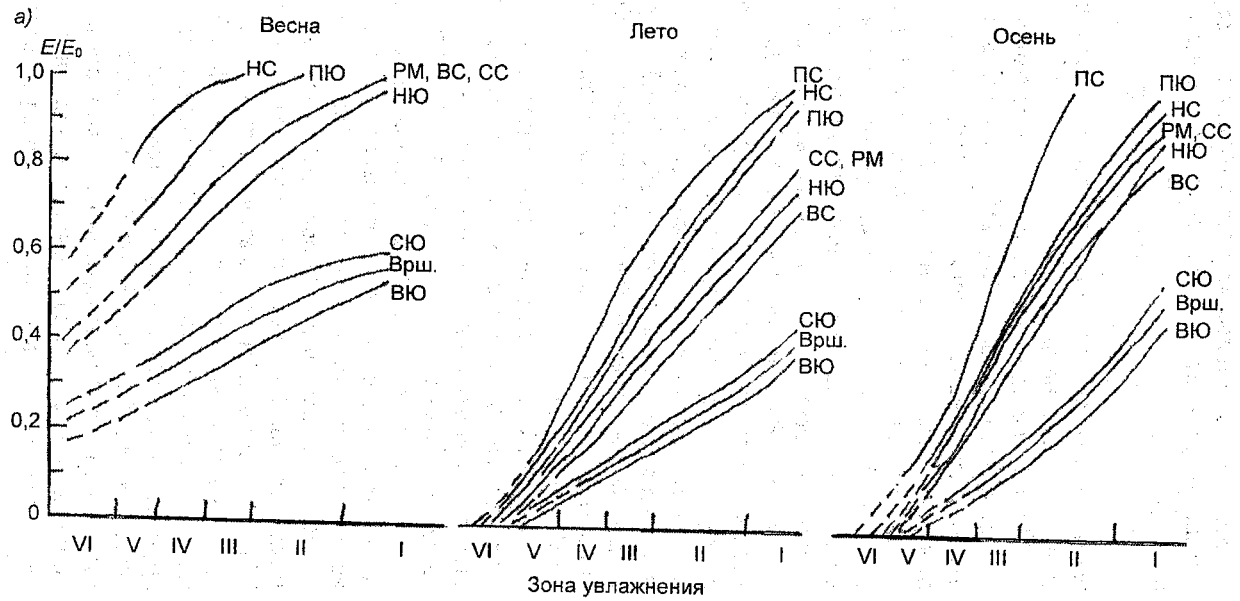
где W — влагосодержание почвы; r — количество осадков; f — сток; E — испарение.

Учет баланса влаги на склонах позволил построить универсальные номограммы [20, 25], по которым можно определить влагообеспеченность почвы (в % ПВ) в различных местоположениях по зонам увлажнения (рис. 12).

В течение теплого периода (см. рис. 12) в избыточно влажной зоне на склонах прямого и вогнутого профилей влажность почвы в зависимости от местоположения изменяется от 50—55 % ПВ в верхних частях южных и западных склонов до 90—95 % ПВ у подножий. Ровные участки увлажнены до 80 % ПВ. Такая же влажность почвы отмечается в верхних и средних частях северных склонов, средних частях восточных, нижних частях южных и западных склонов. Нижние части северных и восточных склонов несколько более влажные (85 % ПВ), верхние части восточных — более сухие (70 %), чем ровные участки. В средних частях южных и западных склонов влажность почвы составляет 60—65 % ПВ.

В достаточно влажной зоне влажность почвы в разных элементах рельефа меняется от 35 до 85 % ПВ, т. е. диапазон изменения влажности почвы в этой зоне несколько больше, чем в избыточно влажной зоне (на 10 % ПВ). Ровные участки характеризуются влажностью почвы, равной 60 % ПВ, так же как верхние и средние части северных склонов, средние части восточных склонов и нижние части южных и западных склонов.

В слабо засушливой зоне диапазон изменения влажности почвы составляет, так же как в достаточно влажной зоне, 50 % ПВ — влажность почвы изменяется от 25 % ПВ в верхних частях южных и западных склонов до 75 % ПВ у подножий северных и восточных склонов. Влажность почвы ровных мест и группы местоположений, представленных этой же кривой, составляет 45 % ПВ. В слабо засушливой зоне наблюдается уменьшение дифференциации по элементам рельефа: влажность почвы в верхних частях южных и западных склонов в этой зоне одинакова — кривые сливаются в одну линию.


а)
E/E0
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
Весна
НС
ПЮ
РМ, ВС, СС
НЮ
СЮ
Врш.
ВЮ
Лето
ПС
НС
ПЮ
СС, РМ
НЮ
ВС
СЮ
Врш.
ВЮ
Осень
ПС
ПЮ
НС
РМ, СС
НЮ
ВС
СЮ
Врш.
ВЮ
VI V IV III II I
Зона увлажнения

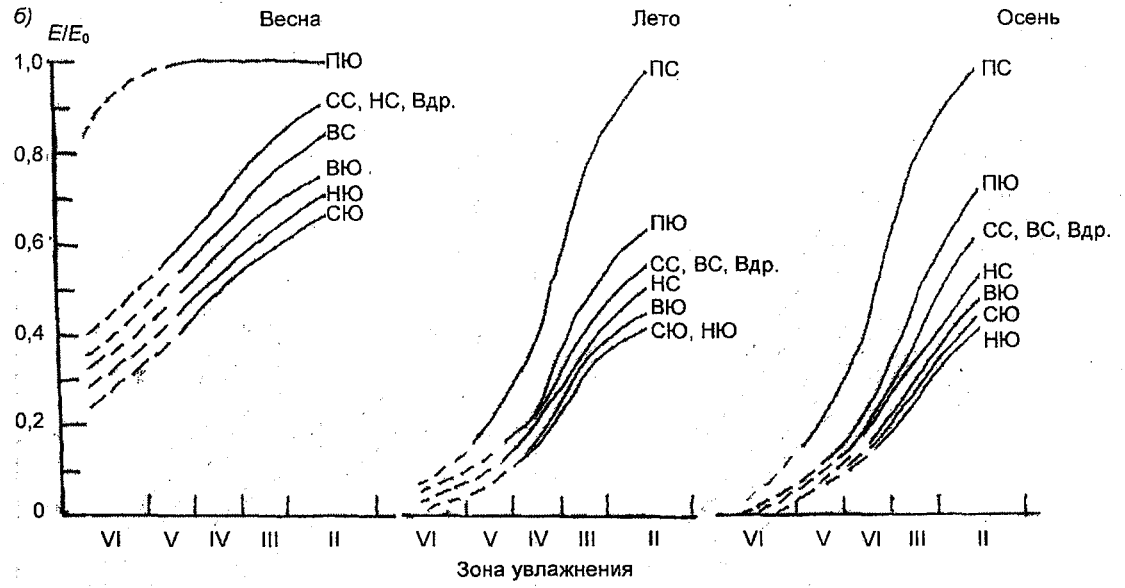
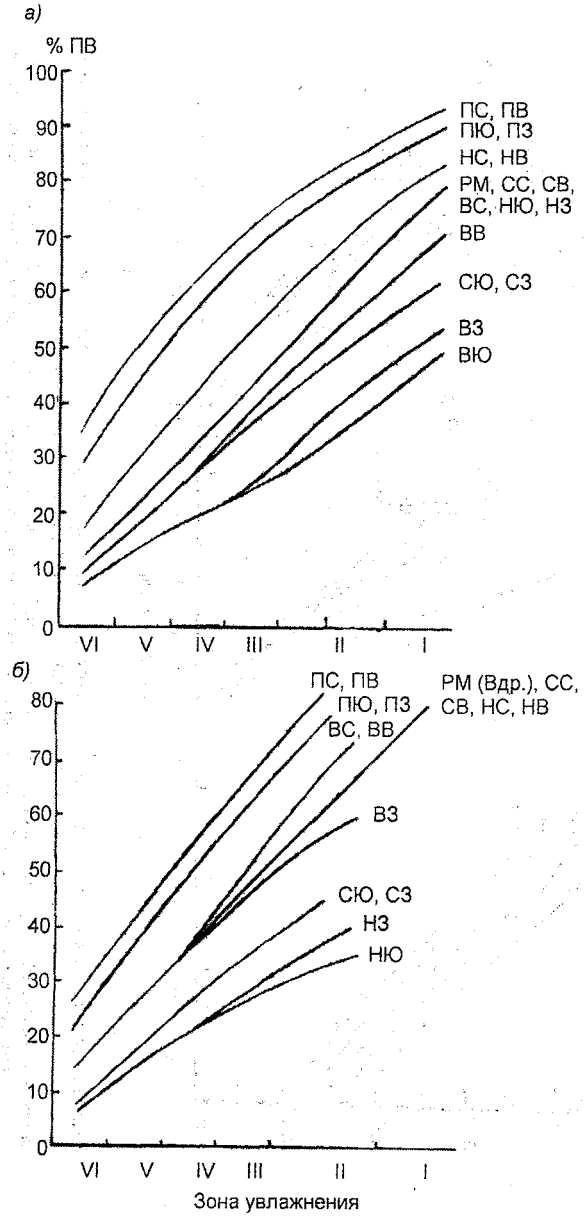


Рис. 11. Отношение E/E_0 для склонов прямого и вогнутого профилей (*а*) и выпуклого профиля (*б*) в различных местоположениях по зонам увлажнения и по сезонам.

Местоположение: РМ — ровное место; ВЮ, СЮ, НЮ и ПЮ — верхняя, средняя, нижняя части и подножие южного склона соответственно; ВС, СС, НС и ПС — верхняя, средняя, нижняя части и подножие северного склона соответственно; Врш. — вершина; Вдр. — водораздел.


а)
% ПВ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
ПС, ПВ
ПЮ, ПЗ
НС, НВ
РМ, СС, СВ,
ВС, НЮ, НЗ
ВВ
СЮ, СЗ
ВЗ
ВЮ
VI
V
IV
III
II
I
б)
80
70
60
50
40
30
20
10
0
ПС, ПВ
ПЮ, ПЗ
ВС, ВВ
РМ (Вдр.), СС,
СВ, НС, НВ
ВЗ
СЮ, СЗ
НЗ
НЮ
VI
V
IV
III
II
I
Зона увлажнения

В засушливой зоне дифференциация по местоположениям еще меньше. Кривая, характеризующая влажность почвы в верхних частях восточных склонов, сливается с кривой увлажнения средних частей южных и западных склонов. Таким образом, на рис. 12 начиная с засушливой зоны имеется пять кривых увлажнения почвы в зависимости от местоположения, вместо восьми в избыточно влажной зоне.

Изменение влажности почвы в пределах одной зоны уменьшается по мере нарастания сухости климата: в засушливой зоне оно составляет 45 % ПВ, в очень засушливой — 35 % ПВ, в сухой — 30 % ПВ. В засушливой зоне увлажнение почвы в верхних частях склонов южной и западной экспозиций равно влажности завядания (ВЗ). Для очень засушливой зоны такая влажность характерна для верхних частей восточных склонов и средних частей южных и западных склонов. В сухой зоне только у подножий склонов влажность почвы выше ВЗ.

Изменения увлажнения на сухих участках (южные, западные склоны) при переходе от зоны к зоне больше во влажных районах (10—15 % ПВ), чем в засушливых и сухих (5 % ПВ). На участках со средними условиями увлажнения (ровные, верхние и средние части северных склонов, средние части восточных склонов и нижние части южных и западных склонов) наблюдается такая же закономерность. На влажных участках (подножия склонов) изменения от зоны к зоне составляют 10 % ПВ и только при переходе от засушливой к очень засушливой зоне — 15 % ПВ.

На склонах выпуклого профиля изменение влажности почвы по местоположениям несколько меньше. Это объясняется тем, что на этих склонах наиболее сухие участки находятся в их нижних частях, более влажные — в верхних. Однако глубокое залегание грунтовых вод по отношению к возвышенным участкам, особенности перераспределения осадков на склонах обу-

---

Рис. 12. Влажность почв (% ПВ) для склонов прямого и вогнутого профилей (*а*) и выпуклого профиля (*б*) в различных местоположениях по зонам увлажнения.

Местоположение: РМ — ровное место; ВЮ, СЮ, НЮ и ПЮ — верхняя, средняя, нижняя части и подножие южного склона; ВС, СС, НС и ПС — верхняя, средняя, нижняя части и подножие северного склона; ВЗ, СЗ, НЗ и ПЗ — верхняя, средняя, нижняя части и подножие западного склона; ВВ, СВ, НВ и ПВ — верхняя, средняя, нижняя части и подножие восточного склона; Вдр. — водораздел.

словливают уменьшение различий во влажности почвы верхних и нижних частей склонов. Межзональные изменения аналогичны изменениям на прямых и вогнутых склонах.

В течение теплого периода влажность почвы существенно меняется во всех зонах увлажнения. Например, для ровных участков достаточно влажной зоны весной характерен некоторый избыток влаги в почве, летом — недостаток; в слабо засушливой зоне отмечается достаточное увлажнение весной, засушливость летом и осенью.

3.6. Оценка изменения микроклиматических ресурсов под влиянием мелиорации

Основной целью мелиоративных мероприятий является оптимизация естественных условий тепло- и влагообеспеченности. В северных и отчасти центральных районах нашей страны стратегия мелиорации направлена на повышение теплообеспеченности сельскохозяйственных полей и сброс избытка воды; в южных регионах, где тепла достаточно для роста и развития растений, мелиоративные системы должны обеспечивать водоснабжение различных агроценозов. На мелиорированных землях существенно изменяется микроклимат, что также необходимо учитывать при оценке микроклиматических ресурсов. Известно, что мелиорация переувлажненных минеральных почв и заболоченных земель вызывает значительные изменения водно-физических и биологических свойств почвы. Такое увлажнение наблюдается в диапазоне от ПВ до 80 % ПВ (капиллярной влагоемкости (КВ)). Наиболее благоприятное сочетание водоснабжения и аэрации корневой системы растений наблюдается при влажности почвы, равной наименьшей влагоемкости (НВ), которая соответствует 70 % ПВ. Эти условия сохраняются в диапазоне 60—80 % ПВ, который и принят за оптимальные условия увлажнения растений. Уменьшение влажности почвы до 40 % ПВ, т. е. до влажности разрыва капилляров (ВРК), в слое 0—50 см не опасно для жизни растений. Однако при этом влажность почвы в слое 0—20 см может быть существенно меньше средней влажности почвы в слое 0—50 см. Для роста растений очень важно, чтобы запасы влаги в пахотном слое были достаточными, особенно весной, поскольку именно здесь находятся прорастающие семена

и сосредоточена корневая система молодых растений. В связи с изложенным при влажности почвы 40—60 % ПВ в критические периоды развития растений необходимы отдельные поливы.

При влажности почвы 20—40 % ПВ, т. е. от ВРК до ВЗ, растения постоянно испытывают недостаток влаги, и для создания оптимальных условий увлажнения необходимо периодическое орошение.

Если влажность почвы становится равной или ниже ВЗ, т. е. 20 % ПВ и менее, то требуется постоянное систематическое орошение.

При избыточном увлажнении, т. е. при влажности почвы более 80—90 % ПВ (выше КВ), необходим сброс избытка воды, поскольку вода вытесняет воздух из пор почвы, и растения страдают от недостатка аэрации.

Характеристика видов водных мелиораций в зависимости от условий увлажнения представлена в табл. 16.

Помимо учета климатических особенностей, при проведении водных мелиораций необходимо принимать во внимание особенности водного режима почв в различных формах рельефа. Разработан метод микроклиматической оценки мероприятий по мелиорации водного режима почв, по которому мелиоративные мероприятия дифференцируются в зависимости от местоположения участка для обеспечения оптимальных условий увлажнения.

Таблица 16

Виды водной мелиорации в зависимости от увлажнения почвы

	Влажность почвы, % от ПВ									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Запасы продуктивной влаги, мм	0	0	25	50	70	95	120	140	165	190
Категория влажности почвы	МГ	ВЗ		ВРК		НВ		КВ	ПВ	
Вид мелиорации	Систематическое орошение	Периодическое орошение		Поливы в критические периоды развития растений		Оптимальное увлажнение			Сброс избытка воды	

Осушенные торфяные и минеральные почвы при пересыхании разрушаются ветром даже при сравнительно небольшой его скорости. Для значительной территории России характерны засушливые периоды в мае—июне. В эти периоды ветровая эрозия особенно опасна. Например, в Ставропольском крае ветровая эрозия — обычное явление, и здесь очевидна необходимость ввода двухсторонней системы регулирования водного режима. Кроме того, мелиоративная система осушение—орошение должна быть гибкой, реагирующей на изменения погодных условий того или иного года.

Разработка гибкой системы водных мелиораций, дифференцированной в зависимости от особенностей климата, вариаций погоды и микроклимата, позволит повсеместно создавать оптимальные условия увлажнения сельскохозяйственных полей и тем самым повышать продуктивность сельскохозяйственного производства.

Мелиорируемые земли имеют свой микроклимат, отличающийся от микроклимата естественных угодий целым рядом особенностей. Количественные показатели изменения микроклимата под влиянием мелиорации представлены в ряде работ [16, 20, 23 и др.]. Организация микроклиматических наблюдений на мелиорируемых землях, выбор характерных точек для наблюдений, комплекс метеорологических величин, объем и способы обработки результатов наблюдений изложены в работе [25].

Как показали экспедиционные исследования ГГО в Полесье, на осушенных болотах по сравнению с неосушенными наблюдается изменение составляющих теплового баланса (табл. 17).

Таблица 17

Составляющие теплового баланса в Полесье (средние за ясный день июня)

Место наблюдений	*R*	*LE*	*P*	*B*	*LE*	*P*	*B*
	МДж/м^2				% от *R*		
Суходол	17,3	10,8	3,8	2,7	62	22	16
Осушенное болото с сеяными травами	19,3	15,4	2,2	1,7	79	11	10
Осушенное болото с естественным травостоем	19,4	12,4	3,9	3,1	64	20	16

В период с хорошо развитым травостоем радиационный баланс R на осушенном окультуренном болоте на 10—12 % больше, чем на суходоле, за счет уменьшения излучения деятельной поверхности вследствие понижения ее температуры под влиянием интенсивной транспирации.

Затраты тепла на испарение LE наибольшие на осушенном окультуренном болоте и составляют 79 % от R. На суходоле и осушенном неосвоенном болоте затраты тепла на испарение составляют соответственно 62 и 64 % от R. Турбулентный поток тепла в воздух P на осушенном окультуренном болоте наименьший (11 % от R), так же как и поток тепла в почву B (10 % от R). Осушенное, но неосвоенное болото отличается от суходола лишь увеличением радиационного баланса на 11 %, затраты тепла на испарение и поток тепла в почву остаются практически такими же.

Полученные закономерности изменения составляющих теплового баланса и метеорологических величин на осушенных и окультуренных болотах нашли подтверждение в работах В. В. Романова [24] и В. В. Шебеко [34].

По термическим характеристикам освоенные осушенные болота отличаются от соседних суходолов понижением минимальной температуры воздуха на 2—3 °С, повышением максимальной температуры на поверхности почвы, которое может достигать 15 °С, уменьшением суммы температур воздуха за безморозный период на 100—200 °С, сокращением безморозного периода на 5—10 дней. Термический режим неосвоенных болот из-за меньшей теплопроводности их почв отличается от термического режима суходолов несколько иначе: понижение минимальной температуры воздуха по сравнению с суходолом больше на 3—5 °С, максимальная температура воздуха выше на 3—4 °С, суммы температур воздуха за безморозный период меньше также на 100—200 °С, а безморозный период короче на 10—15 дней.

Микроклиматические ресурсы мелиорируемых земель могут быть оценены и по данным наблюдений сети метеорологических станций.

4. ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МЕЗО- И МИКРОКЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ В ЭКОНОМИКЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

4.1. Требования сельскохозяйственных культур к климату

Агроклиматологами нашей страны определены требования различных сельскохозяйственных культур к климатическим условиям [10, 26, 27, 32]. На основании этих данных и климатических показателей по районам Новгородской области были разработаны шкалы оптимального и рационального размещения районированных сельскохозяйственных культур в области, выделены оптимальные, пригодные, критические и непригодные условия по тепло- и влагообеспеченности путем определения степени соответствия практически наблюдаемых ресурсов тепло- и влагообеспеченности потребностям различных сельскохозяйственных культур. Для этой цели разработана программа для ПЭВМ, позволяющая оценить степень благоприятности условий онтогенеза сельскохозяйственных культур по четырем градациям:

1. Условия тепло- и влагообеспеченности полностью удовлетворяют потребности той или иной культуры и тем самым создаются предпосылки получения полного (100—80 %) климатически обеспеченного урожая (КОУ). Такие условия являются оптимальными для выращивания сельскохозяйственной культуры.

2. Условия не полностью, но достаточно хорошо удовлетворяют потребности сельскохозяйственных культур, что приводит к некоторому снижению КОУ (80—60 %). Такие условия следует рассматривать как пригодные.

3. Климатические условия, соответствующие получению 60—30 % КОУ, определяются как критические.

4. Агроклиматические условия не удовлетворяют потребностям сельскохозяйственных культур, и снижение урожая весьма существенно (КОУ менее 30 %). Считаем, что выращивание

сельскохозяйственных культур в таких (непригодных) условиях экономически не выгодно.

По температурному режиму рост и развитие растений, районированных в средней полосе России, идут наиболее активно при средней суточной температуре воздуха в пределах 15—20 °С [10]. Оптимальные условия увлажнения сельскохозяйственных культур наблюдаются при влажности почвы, близкой к НВ полевой влагоемкости, поскольку при этих условиях имеют место наиболее благоприятные сочетания водоснабжения и аэрации корневой системы растений. Оптимальные условия сохраняются в некотором диапазоне влажности почвы, а именно — 60—80 % ПВ.

В случае, когда условия тепло- и влагообеспеченности не полностью удовлетворяют потребностям сельскохозяйственных культур (пригодные условия), происходит снижение урожайности до 60—80 % КОУ. Пригодные условия наблюдаются, когда по температурной шкале растения находятся в зоне активной вегетации, но на фоне более низких или более высоких, чем оптимальные, значений температуры воздуха (ближе к краевым значениям зоны активной вегетации); средние суточные значения температуры воздуха выше 25 °С или ниже 15 °С.

Влажность почвы в зоне пригодных условий выращивания сельскохозяйственных культур уменьшается от значений, близких к НВ, до ВРК (40—60 % ПВ), с одной стороны шкалы увлажнения, а с другой — увеличивается примерно до 95 % ПВ и более.

Критические условия (урожайность составляет менее 60—30 % КОУ) отмечаются в случае, когда по температурному режиму возможны переходы растений в зону адаптации и как следствие их рост резко тормозится, наступают уловимые отклонения в физиологических процессах, в результате которых, с одной стороны, растения становятся более устойчивыми к воздействию неблагоприятной температуры, с другой стороны, замедление процесса развития растений ведет к заметному уменьшению урожайности (при средней суточной температуре 8—10 °С или около 30 °С и более). Увлажнение почвы в зоне критических условий составляет 25—40 % ПВ (т. е. нижний предел увлажнения близок к ВЗ) при засухе или не менее 100 % ПВ при переувлажнении.

Непригодными считаются конкретные агроклиматические условия, когда они не удовлетворяют потребностям сельскохозяйственных культур по тепло- и влагообеспеченности, а следовательно, снижение урожая будет весьма существенным (урожайность менее 30 % КОУ). Выращивание сельскохозяйственных культур при таких условиях практически нерентабельно. Непригодные условия соответствуют по температуре переходу из зоны адаптации в зону повреждения растений от недостатка (или избытка) фактора жизни. В пределах зон повреждения происходят необратимые изменения. При возвращении в зону активной вегетации в результате регенерации растения могут залечить повреждения и продолжить вегетацию, но такие условия оставляют значительный негативный след, прежде всего в виде резкого снижения продуктивности сельскохозяйственных культур. Средняя суточная температура при этом ниже 8 °С или выше 30 °С.

По увлажнению непригодные условия развития растений наблюдаются либо при очень высоких значениях влажности (почва полностью насыщена влагой, ее избыток может покрыть поверхность почвы), либо при очень низких ее значениях (менее 25 % ПВ), т. е. близких к ВЗ (ВЗ $\leq$ 20 % ПВ).

Принципиальные возможности повышения продуктивности посевов лежат в основе селекции отдельных культур и сортов в более широком соответствии с особенностями климатических условий. Поэтому в настоящее время весьма актуальным является исследование динамики урожайности растений на основе учета метеорологических факторов роста и развития растений. Для этого необходимо использовать районированные сорта — наиболее соответствующие условиям окружающей среды в данном районе и проводить оптимальное размещение определенных культур в соответствии с мезо- и микроклиматическими условиями тепло- и влагообеспеченности того или иного рассматриваемого мезорайона. Согласно вышеизложенному, при разработке программы на ПЭВМ для формирования эколого-климатических областных или микроклиматических паспортов были учтены требования сельскохозяйственных культур к климатическим параметрам и ресурсам [3, 26, 27], а также степень соответствия этих требований фактическим климатическим ресурсам конкретных мезорайонов территории области или микроклиматических местоположений. Данная программа позволила оценить

степень благоприятности условий произрастания сельскохозяйственных культур для областей и административных районов на мезо- и микроклиматическом уровне, представить методику и разработать рекомендации по оптимальному размещению сельскохозяйственных культур в мезорайонах и на сельскохозяйственных полях. Ниже приводятся результаты этих разработок для Новгородской области в виде эколого-климатических паспортов.

Эколого-климатические паспорта составляются для средних климатических условий. Поскольку различные экстремальные условия повторяются довольно часто, ниже приводятся паспорта и для таких условий.

4.2. Оценка мезоклиматических районов Новгородской области по степени оптимальности условий произрастания основных сельскохозяйственных культур

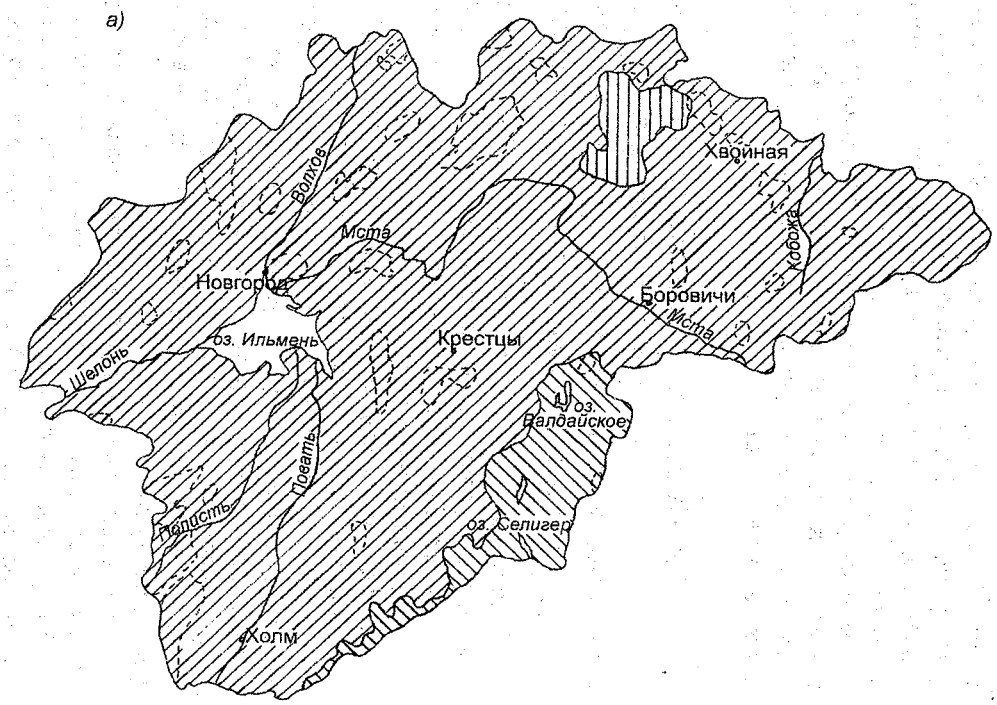
Рассмотрим средние климатические и экстремальные условия, характерные для Новгородской области. Агроклиматические показатели, соответствующие средним климатическим условиям, приведены в табл. 3 (гл. 2).

Прежде всего следует отметить, что при средних климатических условиях, повторяющихся примерно один раз в два года, почти во всех мезоклиматических районах Новгородской области условия произрастания основных районированных сельскохозяйственных культур оптимальные. Картирование проведено для четырех основных культур — картофеля, льна, гороха, капусты (рис. 13). В табл. 18 приводятся данные для всех районированных культур.

Рассмотрим экстремальные климатические условия, при которых имеет место заметное снижение урожайности.

Например, для льна при 95 %-й обеспеченности сумм температур воздуха выше 10 °С и также сильно пониженной влажности почвы (95 % ПВ) условия произрастания будут непригодными во всех мезоклиматических районах области, кроме 7-го, а условия в 7-м районе — критическими (рис. 14 *а*).

а)


Волхов
Мста
Новгород
Шелонь
оз. Ильмень
Крестцы
Хвойная
Кобожа
Боровичи
Мста
оз. Валдайское
Полисть
Повать
оз. Селигер
Холм

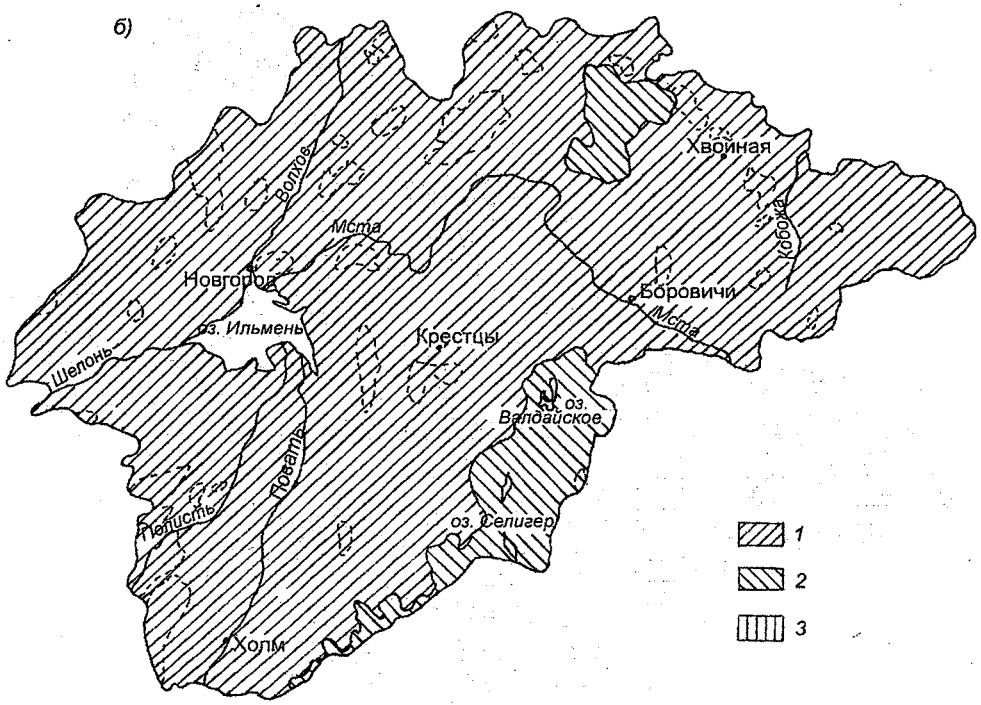
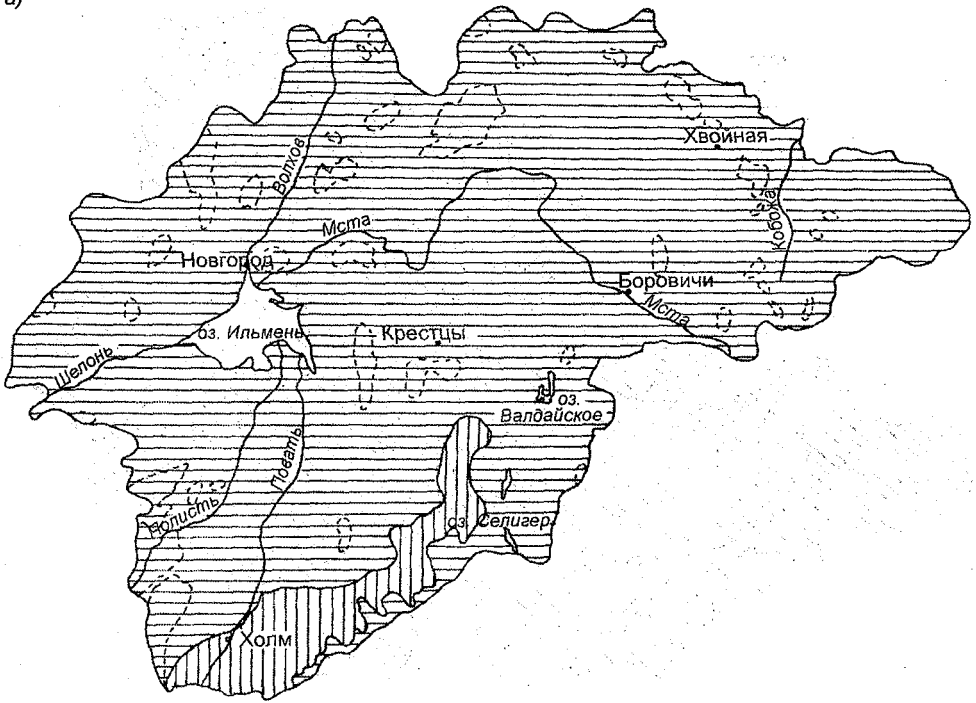


Рис. 13. Районирование по условиям произрастания картофеля, льна, гороха (*а*) и среднеспелой капусты (*б*) в мезоклиматических районах Новгородской области при средних многолетних климатических условиях.

Условия: *1* — оптимальные; *2* — пригодные; *3* — критические.

а)


Хвойная
Волхов
Мста
Новгород
Коростынь
Боровичи
Мста
оз. Ильмень
Крестцы
Шелонь
оз. Валдайское
Полисть
Волисть
оз. Селигер
Холм

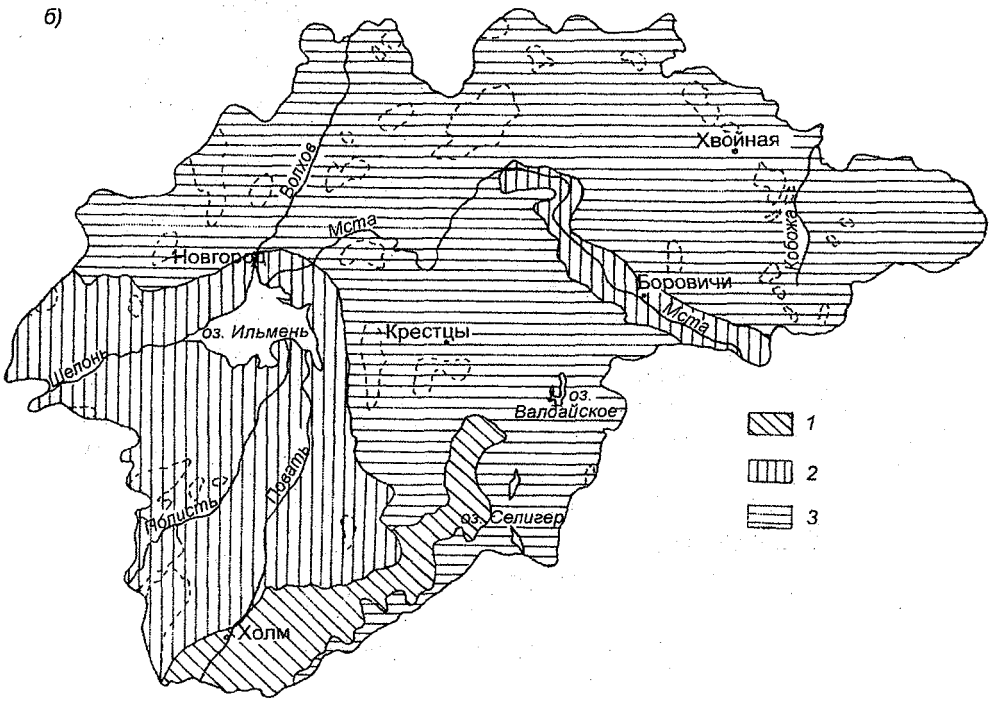
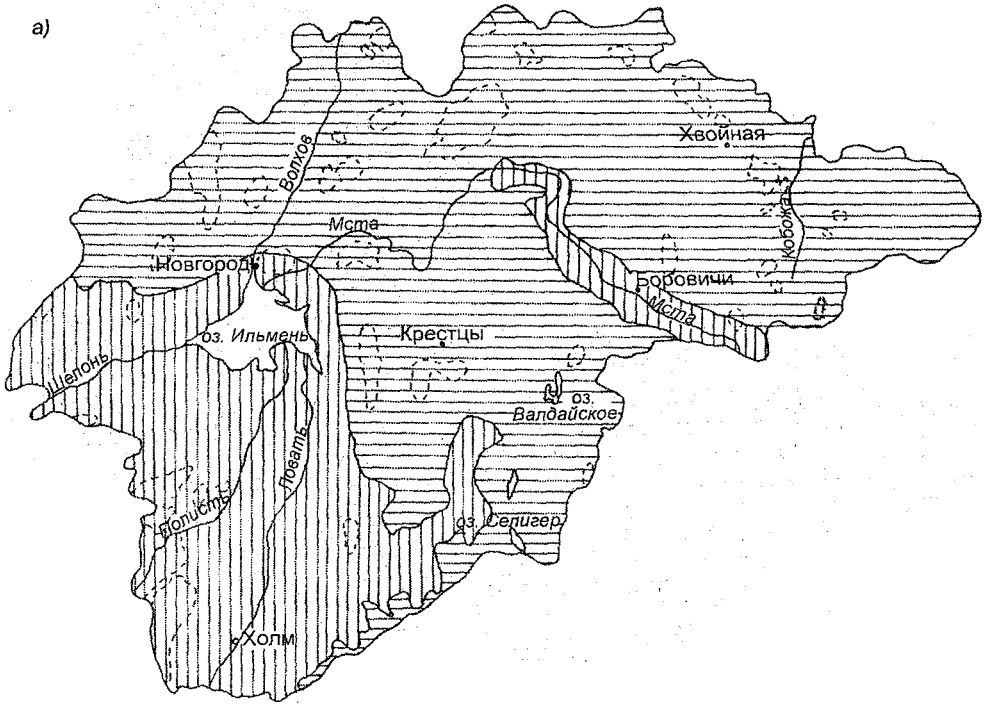


Рис. 14. Районирование по условиям произрастания льна-долгунца (*а*) и среднеспелого картофеля (*б*) в мезоклиматических районах Новгородской области при наименее благоприятных климатических условиях (пониженный термический и пониженный влажностный фон).

Условия: *1* — пригодные; *2* — критические; *3* — непригодные.

а)


Волхов
Мста
Новгород
оз. Ильмень
Шелонь
Лопасть
Ловать
Холм
Крестцы
Хвойная
Боровичи
Мста
Кобожа
оз. Валдайское
оз. Селигер

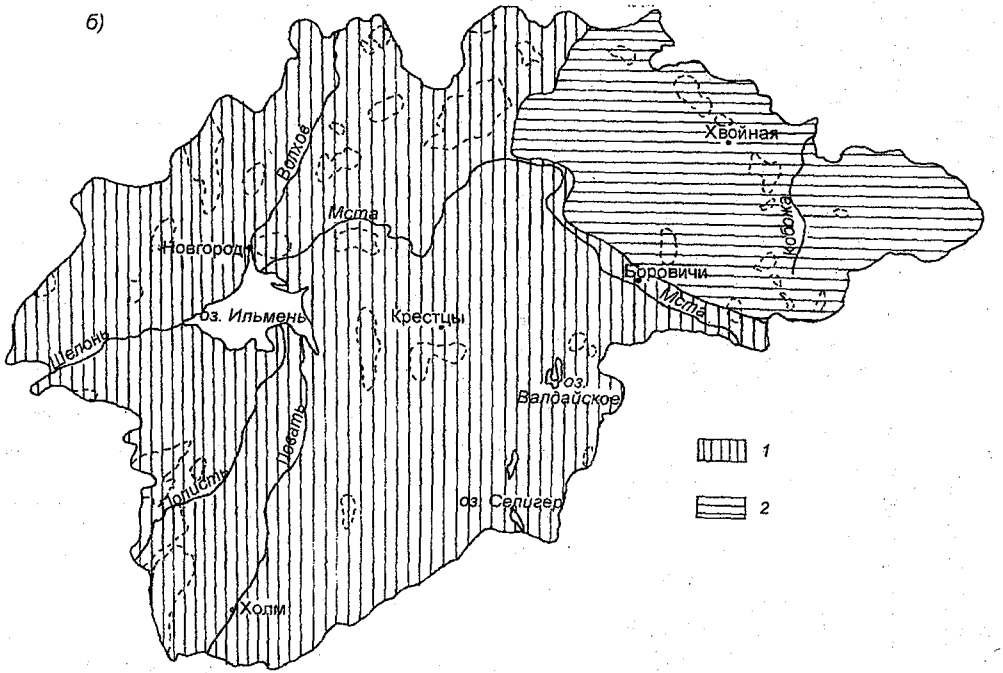


Рис. 15. Районирование по условиям произрастания среднеспелого картофеля (*а*) и среднеспелого гороха (*б*) в мезоклиматических районах Новгородской области при наименее благоприятных климатических условиях (пониженный термический и повышенный влажностный фон). Условия: *1* — критические, *2* — непригодные.

При аналогичных климатических условиях для среднеспелого картофеля лишь в 7-м районе условия произрастания остаются пригодными и во 2, 3 и 4-м — критическими, а остальная часть территории области дает очень сильное снижение урожайности до ≤ 30 % КОУ и относится к непригодным условиям (рис. 14 *б*).

Неблагоприятным сочетанием климатических условий для картофеля, а также гороха является сочетание сильно пониженного термического фона (95 %-я обеспеченность суммы температур воздуха выше 10 °С) с повышенной до ПВ влажностью почвы. При этом для среднеспелого картофеля условия произрастания в 2, 3, 4 и 7-м районах будут критическими, а в остальных районах — непригодными (рис. 15). Для гороха в большинстве районов, кроме 5-го и 8-го, условия произрастания становятся критическими.

Таблица 18

Мезоклиматические районы для рационального размещения сельскохозяйственных культур при средних климатических условиях

Культура	Условия произрастания			
	оптимальные	пригодные	критические	непригодные
Лен-долгунец:				
волокно	1—7	9	8	—
полная зрелость	1—7	9	8	—
Картофель:				
ранний	1—7	9	8	—
средний	1—7	9	8	—
поздний	2, 3, 4, 7	—	—	1, 5, 6, 8, 9
Горох:				
ранний	1—7	9	8	—
средний	1—7	9	8	—
поздний	1—7	9	—	8
Кормовые бобы средние	1—7	9	8	—
Морковь средняя	1—7	9	8	—
Свекла средняя	1—7	9	8	—
Капуста:				
ранняя	1—7	8, 9	—	—
средняя	1—7	8, 9	—	—
поздняя	1—7	8, 9	—	—

При увеличении температуры воздуха и сохранении средних условий увлажнения почвы условия для ведения сельского хозяйства наиболее благоприятны. При средних условиях по температуре воздуха и уменьшении увлажнения почвы условия произрастания сельскохозяйственных культур несколько ухудшаются.

Оптимальные условия для ведения сельского хозяйства в Новгородской области создаются при средних климатических условиях или при повышенном термическом фоне и средней климатической влажности почвы в 1—7-м районах. При повышенной обеспеченности термическими ресурсами условия в 8-м и 9-м районах относятся к критическим. Понижение влажности почвы (при среднем или завышенном фоне значений температуры воздуха) тоже снижает степень оптимальности выращивания сельскохозяйственных культур, хотя в целом условия произрастания остаются достаточно благоприятными.

Резкое ухудшение условий сельскохозяйственного производства наблюдается при пониженном термическом фоне во всех мезоклиматических районах области, приемлемые условия выращивания сохраняются только для овощных культур.

4.3. Оценка микроклиматических местоположений в мезоклиматических районах по агроклиматическим ресурсам и степени оптимальности условий произрастания сельскохозяйственных культур

В пределах мезоклиматических районов существует еще микроклиматическая изменчивость агроклиматических ресурсов в различных местоположениях.

В гл. 3, посвященной вопросам микроклиматологии, приводятся таблицы микроклиматических поправок по различным показателям для разных типов местоположений. Чтобы автоматизировать процесс расчета значений микроклиматических величин, необходимо привести в единую систему микроклиматические поправки по отдельным величинам. Для этого были

определены основные типы микроклиматических местоположений:

1. Равнины.
2. Вершины.
3. Верхние части южных склонов.
4. Верхние части северных склонов.
5. Верхние части западных склонов.
6. Верхние части восточных склонов.
7. Средние части южных склонов.
8. Средние части северных склонов.
9. Средние части западных склонов.
10. Средние части восточных склонов.
11. Нижние части южных склонов.
12. Нижние части северных склонов.
13. Нижние части западных склонов.
14. Нижние части восточных склонов.
15. Подножия.
16. Впадины, котловины.
17. Долины больших рек, поймы, побережье водоемов.
18. Сырые низины с минеральной почвой.
19. Низины с торфяной почвой.
20. Луга на осушенных болотах.
21. Участки с хорошо осушенными окультуренными минерализованными почвами.

В зависимости от типа микроклиматического местоположения изменяются значения агроклиматических показателей (табл. 19).

Изменчивость агроклиматических ресурсов в различных типах местоположений для трех существенно разных по геотопологическим признакам мезоклиматических районов Новгородской области можно оценить по данным табл. 20.

Выше уже говорилось, что значения метеорологических величин существенно меняются в зависимости от широты места и других крупномасштабных параметров, но они могут также значительно отличаться и внутри одного мезоклиматического района. Так, для района Волхово-Ильменской низины (север и центральная части) суммы ФАР за безморозный период на верхних частях южных склонов на 200 МДж/м^2 и более превышают их значения у подножий холмов (см. табл. 20). Продолжительность безморозного периода также изменяется от 90 дней во впадинах и котловинах до 130 дней в теплых местоположениях

Таблица 19

Разность между значениями агроклиматических показателей на равнине и в других типах местоположений

Типы местоположений	Разность				Заморозкоопасность, балл
	суммы ФАР, МДж/м^2	$\Sigma(T > 10°C)$ °C	$\tau_{б.п}$ дни	влажности, % ПВ	
1. Равнины	0	0	0	0	3
2. Вершины	+50	+150	+15	−40	1
3. Верхние части южных склонов	+100	+150	+15	−20	2
4. Верхние части северных склонов	+10	+50	+5	0	2
5. Верхние части западных склонов	+50	+100	+10	−25	2
6. Верхние части восточных склонов	+50	+100	+10	−10	2
7. Средние части южных склонов	+30	+50	+5	−15	3
8. Средние части северных склонов	−40	−50	−5	0	3
9. Средние части западных склонов	0	0	0	−10	3
10. Средние части восточных склонов	0	0	0	−5	3
11. Нижние части южных склонов	−60	−100	−10	0	4
12. Нижние части северных склонов	−100	−200	−20	+6	5
13. Нижние части западных склонов	−75	−150	−15	0	4
14. Нижние части восточных склонов	−75	−150	−15	+6	5
15. Подножия	−125	−200	−20	+15	5
16. Впадины, котловины	−130	−300	−25	+20	5
17. Долины больших рек, поймы, побережье водоемов	+75	+150	+15	+20	1
18. Сырые низины с минеральной почвой	−135	−300	−25	+20	5
19. Низины с торфяной почвой	−100	−150	−15	+20	5
20. Луга на осушенных болотах	−135	−275	−30	+15	5
21. Участки с хорошо осушенными окультуренными минерализованными почвами	−35	−100	−10	+10	4

Таблица 20

Агроклиматические показатели по типам местоположений

Типы местоположений	Сумма ФАР за безморозный период, МДж/м^2	$\sum(T > 10\ °C)$ °C	$\tau_{б.п}$ дни	Влажность, % ПВ	Заморозкоопасность, балл
Волхово-Ильменская низина, северная и центральная части					
Равнины	900	1775	115	80	3
Вершины	950	1875	125	42	1
Верхние части склонов:					
южных	1000	1925	125	58	2
северных	910	1825	125	80	2
западных	950	1875	125	56	2
восточных	950	1875	125	72	2
Средние части склонов:					
южных	930	1825	115	65	3
северных	860	1725	115	80	3
западных	900	1775	115	65	3
восточных	900	1775	115	80	3
Нижние части склонов:					
южных	840	1675	115	80	4
северных	800	1575	115	86	4
западных	830	1625	115	80	4
восточных	830	1625	115	86	4
Подножия	780	1575	95	95	5
Впадины, котловины	770	1525	90	100	5
Долины больших рек, поймы, побережье водоемов	980	1925	130	100	2
Сырые низины с минеральной почвой	770	1500	95	100	5
Низины с торфяной почвой	800	1625	95	100	5
Луга на осушенных болотах	760	1500	90	95	5
Участки с хорошо осушенными, окультуренными минерализованными почвами	860	1700	110	90	4

Продолжение табл. 20

Типы местоположений	Сумма ФАР за безморозный период, МДж/м^2	$\Sigma(T > 10\ °C)$ °С	$\tau_{б.п}$ дни	Влажность, % ПВ	Заморозкоопасность, балл
Волхово-Ильменская низина, юго-западная часть					
Равнины	1100	1975	135	67	3
Вершины	1150	2075	145	29	1
Верхние части склонов:					
южных	1200	2125	145	45	2
северных	1110	2025	145	67	2
западных	1150	2075	145	43	2
восточных	1150	2075	145	59	2
Средние части склонов:					
южных	1130	2025	135	52	3
северных	1060	1925	135	67	3
западных	1100	1975	135	52	3
восточных	1100	1975	135	67	3
Нижние части склонов:					
южных	1040	1875	135	67	4
северных	1000	1775	135	73	4
западных	1030	1825	135	67	4
восточных	1030	1825	135	73	4
Подножия	980	1775	115	82	5
Впадины, котловины	970	1725	110	87	5
Долины больших рек, поймы, побережье водоемов	1180	2125	150	87	2
Сырые низины с минеральной почвой	970	1700	115	87	5
Низины с торфяной почвой	1000	1825	115	87	5
Луга на осушенных болотах	960	1700	110	82	5
Участки с хорошо осушенными, окультуренными минерализованными почвами	1060	1900	130	77	4

Окончание табл. 20

Типы местоположений	Сумма ФАР за безморозный период, МДж/м^2	$\Sigma(T > 10\ °C)$ °С	$\tau_{б.п}$ дни	Влажность, % ПВ	Заморозкоопасность, балл
Валдайская возвышенность (абсолютные высоты до 200 м), центральная часть					
Равнины	1000	1775	130	72	3
Вершины	1050	1875	140	34	1
Верхние части склонов:					
южных	1100	1925	140	50	2
северных	1010	1825	140	72	2
западных	1050	1875	140	48	2
восточных	1050	1875	140	64	2
Средние части склонов:					
южных	1030	1825	130	57	3
северных	960	1725	130	72	3
западных	1000	1775	130	57	3
восточных	1000	1775	130	72	3
Нижние части склонов:					
южных	940	1675	130	72	4
северных	900	1575	130	78	4
западных	930	1625	130	72	4
восточных	930	1625	130	78	4
Подножия	880	1575	110	87	5
Впадины, котловины	870	1525	105	92	5
Долины больших рек, поймы, побережье водоемов	1080	1925	145	92	2
Сырые низины с минеральной почвой	870	1500	110	92	5
Низины с торфяной почвой	900	1625	110	92	5
Луга на осушенных болотах	860	1500	105	87	5
Участки с хорошо осушенными, окультуренными минерализованными почвами	960	1700	125	82	4

на побережье озер. В одном из наиболее обеспеченных агроклиматическими ресурсами 2-м районе продолжительность безморозного периода на верхних частях склонов и у побережья водоемов составляет 145—150 дней, а в понижениях и котловинах — 110 дней (см. табл. 20).

Внутри мезоклиматических районов существенно изменяется и такой важный для сельскохозяйственного производства показатель, как влажность почвы. Если на равнине влажность почвы составляет 80 % ПВ, то на возвышениях и верхних частях склонов — лишь 55—60 % ПВ (см. табл. 20), и это в одном из хорошо обеспеченных влагой мезоклиматических районов (Волхово-Ильменская низина, северная и центральная части), находящемся в зоне избыточного увлажнения Новгородской области.

Все вышеприведенные примеры еще раз доказывают необходимость правильного, учитывающего особенности различных типов местоположений, размещения сельскохозяйственных культур внутри районов.

Систематизация микроклиматической информации позволяет осуществлять автоматизированный расчет микроклиматических ресурсов территорий с выраженной неоднородностью подстилающей поверхности.

Данные об изменчивости урожайности и пригодности различных типов местоположений на примере 1, 2 и 6-го мезоклиматических районов представлены в табл. 21.

Условия произрастания для льна в 1-м районе являются оптимальными при средних климатических условиях (см. табл. 18). Однако при тех же климатических условиях, но с учетом микроклиматических особенностей в 1-м районе оптимальное размещение посевов льна изменяется весьма существенно (см. табл. 21).

Для льна, картофеля, гороха и некоторых других культур в Волхово-Ильменской низине оптимальным местоположением будет равнина. По условиям произрастания этих культур сырые низины и осушенные луга являются критическими местоположениями, где будет наблюдаться заметное снижение КОУ, а для позднего картофеля — непригодными (см. табл. 21). Во 2-м районе наблюдается похожая картина (см. табл. 21). В мезоклиматических районах Валдайской возвышенности имеется значительно больше вариантов местоположений. Типы местоположений для

Таблица 21

Микроклиматические типы местоположений для оптимального размещения сельскохозяйственных культур при средних климатических условиях

Культура	Условия произрастания			
	оптимальные (100—80 % КОУ)	пригодные (80—60 % КОУ)	критические (60—30 % КОУ)	непригодные (<30 % КОУ)
Волхово-Ильменская низина, северная и центральная части				
Лен-долгунец:				
волокно	1	—	18, 20	—
полная зрелость	1	—	18, 20	—
Картофель:				
ранний	1	—	18, 20	—
средний	1	—	18, 20	—
поздний		—	18	1, 20
Горох:				
ранний	1	—	18, 20	—
средний	1	—	18, 20	—
поздний	1	—	18	20
Кормовые бобы средние	1	—	18, 20	—
Морковь средняя	1	—	18, 20	—
Свекла средняя	1	—	18, 20	—
Капуста:				
ранняя	1	20	18	—
средняя	1	21	18	—
поздняя	1	20	18	—
Волхово-Ильменская низина, юго-западная часть				
Лен-долгунец:				
волокно	1	18, 21	—	—
полная зрелость	1	18, 21	—	—
Картофель:				
ранний	1	18, 21	—	—
средний	1	18, 21	—	—
поздний	1	18	—	21
Горох:				
ранний	1	18, 21	—	—
средний	1	18, 21	—	—
поздний	1	18, 21	—	—
Кормовые бобы средние	1	18, 21	—	—

Окончание табл. 21

Культура	Условия произрастания			
	оптимальные (100—80 % КОУ)	пригодные (80—60 % КОУ)	критические (60—30 % КОУ)	непригодные (<30 % КОУ)
Морковь средняя	1	18, 21	—	—
Свекла средняя	1	18, 21	—	—
Капуста:				
ранняя	1	18, 21	—	—
средняя	1	18, 21	—	—
поздняя	1	18, 21	—	—
Валдайская возвышенность (абсолютные высоты до 200 м), центральная часть				
Лен-долгунец:				
волокно	5, 9, 11—15	2, 7, 16	4, 8, 10	3, 6
полная зрелость	5, 9, 11—15	2, 7, 16	4, 8, 10	3, 6
Картофель:				
ранний	2, 5, 7, 9, 11—15	4, 8, 10, 16	3, 6	—
средний	2, 5, 7, 9, 11—15	4, 8, 10, 16	3, 6	—
поздний	2, 5, 7	4, 8	3, 6	9, 10, 11—16
Горох:				
ранний	2, 5, 7, 9, 11—15	8, 10, 16	3, 4, 6	—
средний	2, 5, 7, 9, 11—15	8, 10, 16	3, 4, 6	—
поздний	2, 5, 7, 9, 11, 12, 14, 15	8, 10	3, 4, 6	13, 16
Кормовые бобы средние	2, 5, 7, 9, 11—15	4, 6, 8, 10, 16	3	—
Морковь средняя	2, 5, 7, 9, 11—15	4, 8, 10, 16	3, 6	—
Свекла средняя	2, 5, 7, 9, 11—15	4, 6, 8, 10, 16	3	—
Капуста:				
ранняя	5, 9, 11—15	2, 7, 16	4, 8, 10	3, 6
средняя	5, 9, 11—15	2, 7, 16	4, 8, 10	3, 6
поздняя	5, 9, 11—15	2, 7, 16	4, 8, 10	3, 6

оптимального размещения сельскохозяйственных культур в одном из районов на Валдайской возвышенности даны в табл. 21.

Таким образом, оптимальный урожай при средних климатических условиях можно ожидать только на части территории области, в основном на равнинах, на средних частях склонов и частях склонов южной и западной экспозиции.

Все эти особенности районов должны быть учтены при размещении сельскохозяйственных культур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для развития технологий мезо- и микроклиматического районирования была проведена систематизация мезо- и микроклиматической информации.

Для усовершенствования методов мезоклиматического районирования использован метод геотопологического анализа, разработанный А. А. Ласточкиным и А. И. Жировым [11, 12]. Этот метод позволяет схематизировать процесс мезоклиматического районирования. В данной работе районирование выполнено на примере Новгородской области.

Усовершенствование методов микроклиматического районирования сводилось к обобщению и систематизации данных о микроклиматической изменчивости метеорологических величин (гл. 3) и применению новых технологий автоматизированного расчета ресурсов микроклимата. Рассмотрена микроклиматическая изменчивость основных показателей климата в ряде мезоклиматических районов Новгородской области.

Мезоклиматическое районирование на геотопологической основе с учетом микроклимата позволяет осуществить оптимальное по климатическим условиям размещение сельскохозяйственных культур в пределах той или иной области.

В соответствии с мезоклиматическим районированием при средних климатических условиях по тепло- и влагообеспеченности в течение вегетационного периода в большинстве мезоклиматических районов создаются агроклиматические условия, близкие к оптимальным для наиболее распространенных в Новгородской области сельскохозяйственных культур. Поэтому оптимизация размещения сельскохозяйственных культур при этих условиях не представляет особых сложностей. Однако погодные условия существенно меняются от года к году. Средние климатические условия повторяются примерно 1 раз в 2 года, другие типы погод встречаются реже, а сочетания тепло- и влагообеспеченности при этом могут быть весьма разнообразными.

Созданная для ПЭВМ программа по выработке рекомендаций размещения сельскохозяйственных культур в области позволяет получить ответы на вопросы о степени оптимальности климатических условий в мезоклиматических районах для конкретных культур.

На практике для правильного ежегодного размещения сельскохозяйственных культур в разных мезоклиматических районах и микроклиматических местоположениях требуется использовать данные долгосрочного прогноза. Система сельскохозяйственного растениеводства по оптимальному (по агроклиматическим условиям) размещению сельскохозяйственных культур должна быть гибкой, четко реагирующей на изменения погодных условий от года к году, что обеспечит максимально возможный урожай возделываемых культур в пределах той или иной области.

В настоящее время, кроме рационального размещения сельскохозяйственных культур в пределах области с учетом мезо- и микроклимата, весьма актуальна дифференцированная оценка стоимости земли.

Вариации стоимости земли при сельскохозяйственном природопользовании определяются прежде всего ее плодородием, при оценках которого следует различать почвенное и климатическое плодородие. Почвенное плодородие учитывается при земельно-оценочных работах достаточно полно, кроме того, оно в очень большой степени корректируется проведением агротехнических мероприятий, внесением удобрений, т. е. регулируется человеком в широком диапазоне. Климатическое плодородие, напротив, практически не подлежит управлению, к нему, особенно в климатических зонах с дефицитом тепла или влаги, нужно приспосабливаться, использовать его агроклиматический потенциал во всех существующих вариациях (в мезо- и микроклиматическом плане), а не довольствоваться среднеобластными или зональными характеристиками.

По примерным оценкам, в Ленинградской области стоимость земли с учетом суммарного эффекта мезо- и микроклимата различается в 3—4 раза.

Таким образом, использование усовершенствованных методов мезо- и микроклиматического районирования с применением технологий автоматизированных расчетов позволяет давать рекомендации по оптимальному размещению сельскохозяйственных культур в пределах области, и по оценке стоимости земли с учетом мезо- и микроклимата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматические ресурсы Калининской области. — Л.: Гидрометеоиздат, 1974. — 132 с.

2. Агроклиматические ресурсы Ленинградской области. — Л.: Гидрометеоиздат, 1971. — 120 с.

3. Агроклиматические ресурсы Новгородской области. — Л.: Гидрометеоиздат, 1972. — 128 с.

4. Алисов Б. П., Дроздов О. А., Рубинштейн Е. С. Курс климатологии. Ч. I, II. — Л.: Гидрометеоиздат, 1952. — 487 с.

5. Будыко М. И. Тепловой баланс земной поверхности. — Л.: Гидрометеоиздат, 1956. — 253 с.

6. Горышина Н. Г. Теплообеспеченность почв на Северо-Западе ЕТС // Тр. ГГО. — 1970. — Вып. 264. — С. 73—81.

7. Горышина Н. Г. Учет теплообеспеченности почвы при микроклиматической характеристике территории // Тр. ГГО. — 1980. — Вып. 426. — С. 84—89.

8. Дроздов О. А. Основы климатологической обработки метеорологических наблюдений. — Л.: ЛГУ, 1956. — 302 с.

9. Жиров А. И., Ласточкин А. Н. Геоэкология. Ч. 4. Методика геоэкологических исследований. СПб.: Изд. РГПУ, 2002. — 135 с.

10. Коровин А. И. Растения и экстремальные температуры. — Л.: Гидрометеоиздат, 1984. — 271 с.

11. Ласточкин А. И. Ландшафтно-геоэкологические исследования на геотопологической основе. 2. Теоретический и методический аппарат // Вестник СпбГУ. — 1992. — Сер. 7, вып. 3. — С. 37—51.

12. Ласточкин А. И. Ландшафтно-геоэкологические исследования на геотопологической основе // Основы геоэкологии. — СПб., 1994. — С. 171—222.

13. Мезо- и микроклиматология. — Л.: Гидрометеоиздат, 1985. — (Труды ГГО. Вып. 502).

14. Методические указания по обобщению результатов микроклиматических исследований для целей сельскохозяйственного производства. — Л.: Гидрометеоиздат, 1985. — 87 с.

15. Методические указания по применению кода характеристик местоположения метеостанций. — Л.: Гидрометеоиздат, 1982. — 60 с.

16. Микроклимат СССР / Под ред. И. А. Гольцберг. — Л.: Гидрометеоиздат, 1967. — 285 с.

17. Мищенко З. А. Биоклимат дня и ночи. — Л.: Гидрометеоиздат, 1978. — 280 с.

18. Пигольцина Г. Б., Романова Е. Н. Некоторые аспекты радиационного режима склонов южных ориентаций // Тр. ГГО. — 1987. — Вып. 515. — С. 157—161.

19. Рекомендации по оценке микроклиматических ресурсов Нечерноземной зоны РСФСР. — М.: Гидрометеоиздат, 1981. — 80 с.

20. Романова Е. Н. Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. — 278 с.

21. Романова Е. Н. Учет мезо- и микроклимата при оптимизации размещения сельскохозяйственных культур в пределах АПК. — Л.: Гидрометеоиздат, 1989. — 48 с.

22. Романова Е. Н., Гобарова Е. О., Жильцова Е. Л. Методы использования систематизированной климатической и микроклиматической информации при развитии и совершенствовании градостроительных концепций. — СПб.: Гидрометеоиздат, 2000. — 160 с.

23. Романова Е. Н., Мосолова Г. И., Береснева И. А. Микроклиматология и ее значение для сельского хозяйства. — Л.: Гидрометеоиздат, 1983. — 244 с.

24. Романов В. В. Испарение с болот Европейской территории СССР. — Л.: Гидрометеоиздат, 1962. — 228 с.

25. Руководство по изучению микроклимата для целей сельскохозяйственного производства. — Л.: Гидрометеоиздат, 1979. — 152 с.

26. Синицина Н. И., Гольцберг И. А., Струнников Э. А. Агроклиматология. — Л.: Гидрометеоиздат, 1973. — 344 с.

27. Справочник агронома по сельскохозяйственной метеорологии. — Л.: Гидрометеоиздат, 1986. — 527 с.

28. Справочник по климату СССР. Вып. 3, ч. 1. — Л.: Гидрометеоиздат, 1966. — 81 с.

29. Справочник по климату СССР. Вып. 3, ч. 2. — Л.: Гидрометеоиздат, 1965. — 342 с.

30. Справочник по климату СССР. Вып. 3, ч. 3. — Л.: Гидрометеоиздат, 1965. — 267 с.

31. Справочник по климату СССР. Вып. 3, ч. 4. — Л.: Гидрометеоиздат, 1968. — 326 с.

32. Тооминг Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая. — Л.: Гидрометеоиздат, 1977. — 199 с.

33. Шашко Д. И. Агроклиматические ресурсы СССР. — Л.: Гидрометеоиздат, 1985. — 248 с.

34. Шебеко В. Ф. Изменение климата под влиянием мелиорации. — Минск: Наука и техника, 1977. — 286 с.

35. Шульгин А. М. Климат почвы и его регулирование. — Л.: Гидрометеоиздат, 1972. — 342 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Введение 5

1. Систематизация агроклиматической информации 7

1.1. Систематизация агроклиматической информации по уровням ее детализации 8

1.2. Методические основы геотопологического анализа применительно к задачам мезо- и микроклиматологии 13

2. Мезоклиматическое районирование на примере Новгородской области 19

2.1. Геотопологический анализ 19

2.2. Описание мезоклиматических районов 21

3. Систематизация данных по микроклиматической изменчивости метеорологических величин 30

3.1. Расчет микроклиматической изменчивости радиационных характеристик 30

3.2. Оценка микроклиматической изменчивости режима ветра .. 40

3.2.1. Изменение режима ветра под влиянием рельефа и древесной растительности 43

3.2.2. Оценка изменения режима ветра по климатическим справочникам 46

3.3. Оценка микроклиматической изменчивости теплообеспеченности вегетационного периода 48

3.3.1. Оценка заморозкоопасности территории хозяйства 49

3.3.2. Определение теплообеспеченности территории хозяйства по климатическим справочникам 54

3.4. Оценка микроклиматической изменчивости теплообеспеченности почв 57

3.5. Оценка микроклиматической изменчивости режима увлажнения почвы 66

3.6. Оценка изменения микроклиматических ресурсов под влиянием мелиорации 74

4. Применение результатов мезо- и микроклиматического районирования в экономике сельского хозяйства 78
4.1. Требования сельскохозяйственных культур к климату 78
4.2. Оценка мезоклиматических районов Новгородской области по степени оптимальности условий произрастания основных сельскохозяйственных культур 81
4.3. Оценка микроклиматических местоположений в мезоклиматических районах по агроклиматическим ресурсам и степени оптимальности условий произрастания сельскохозяйственных культур 89

Заключение 99

Список литературы 101