

АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ УКРАИНЫ И УРОЖАЙ



Tempus

З.А. Мищенко
Н.В. Кирнасовская

АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ УКРАИНЫ И УРОЖАЙ



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ,
МОЛОДЕДИ И СПОРТА УКРАИНЫ

Одесский государственный экологический университет

**З.А. Мищенко,
Н.В. Кирнасовская**

Агроклиматические Ресурсы Украины и урожай

Монография

159173-TEMPUS-1-2009-1-DE-TEMPUS-JPCR

Одесса
“Экология”
2011

ББК 40.2
М 57
УДК 63:551.5

Рецензенты:

Г. В. Ляшенко, д-р геогр. наук, доц.

В.Н. Сытов, к. геогр. наук, доц.

В книге содержатся: агроклиматическая оценка и комплексное районирование радиационно-световых ресурсов на территории Украины с учетом микроклимата склонов; методы расчетов и комплексное районирование показателей тепловых ресурсов дня и ночи в разном масштабе с оценкой мезо и микроклиматической изменчивости их в сложном рельефе, методы расчетов и комплексное районирование показателей теплового режима деятельной поверхности и тепловых ресурсов в пахотном слое почвы с учетом микроклимата. Излагается агроклиматическая оценка и комплексное районирование показателей: ресурсов влаги и влагообеспеченности в биологически активном слое воздуха на территории Украины; ресурсы влаги в почве и влагообеспеченности подсолнечника и кукурузы. Рассмотрена региональная оценка и комплексное районирование показателей биоклиматического потенциала в пределах Украины при естественном и оптимальном увлажнении с учетом микроклимата. Особое внимание уделено агроклиматической оценке и районированию показателей морозоопасности для зимующих культур в разном масштабе с учетом микроклимата. Представлена агроклиматическая оценка и разномасштабное районирование расчетных урожаев винограда, подсолнечника, кукурузы разного вида и уровня на основе моделирования.

Издание подготовлено в рамках проекта 159173-TEMPUS-1-2009-1-DE-TEMPUS-JPCR "Курс по экспертизе и контролю качества пищевых продуктов с учетом европейского опыта".

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

Печатается по решению Ученого совета ОГЭКУ от 28.10.2010г., протокол № 8.

ISBN 978-966-8740-77-0

© Одесский государственный
экологический университет

© Мищенко З.А., Кирнасовская Н.В., 2011

ПРЕДИСЛОВИЕ

В реализации продовольственной программы стран СНГ, в том числе Украины, важное место занимает проблема рационального использования всех природных ресурсов этой или иной территории, среди которых ведущая роль принадлежит климату. Решение этой актуальной проблемы связано с разработкой эффективных методов детальной оценки агроклиматических ресурсов с использованием показателей климата, характеризующихся высокой биологизацией и чувствительных к микроклимату. Эти исследования должны быть направлены не только на обоснование рационального размещения видов и сортов сельскохозяйственных культур, но и на количественную оценку их урожаев, которые можно получить как в производственных условиях, так и расчетным путем в соответствии с биоклиматическим потенциалом той или иной территории.

В настоящее время созданы различные модели агроклиматического районирования территории СНГ или крупных ее частей в мелком масштабе, большинство из которых условно можно разделить на две группы. В первой - по распределению тех или иных агроклиматических показателей тепла и влаги определяются ареалы распределения видов и сортов сельскохозяйственных культур [1, 4, 25, 50, 93, 109, 110 и др.]. Во второй группе моделей агроклиматического районирования акцент делается на урожайность с учетом комплекса абиотических факторов, воздействующих на продуктивность культурных растений. При этом на карте выделяются макро или мезорайоны, различающиеся по величине урожая культуры или нескольких культур в абсолютных или относительных значениях [29, 44, 48, 53, 86, 103, 116 и др.].

Несмотря на несомненную ценность рассмотренных моделей агроклиматического районирования, они в настоящее время не удовлетворяют современные запросы сельскохозяйственной науки и практики. С их помощью затруднительно разработать научно-обоснованные рекомендации по развитию адаптивного растениеводства на ограниченных территориях (административная область, район, отдельное хозяйство).

Анализ динамики урожаев основных сельскохозяйственных культур, получаемых в производственных условиях за последние 20 - 30 лет на территории Украины, позволяет сделать вывод о том, что их уровень значительно ниже биологических возможностей современных сортов. Причина кроется в отсутствии детальной оценки агроклиматических ресурсов в пределах ограниченных территорий с учетом микроклимата, а также в хозяйственных недоработках (неправильное размещение сортов и не соблюдение технологии возделывания культур).

Поэтому для повышения эффективности обслуживания сельскохозяйственного производства необходимо ориентировать потребителей агроклиматической информации на другие уровни урожаев культурных растений, которые можно получить в соответствии с биоклиматическим потенциалом той или иной территории.

Оптимальное решение задачи возможно при осуществлении системного подхода, содержащего все необходимые компоненты для получения исчерпывающей агроклиматической и микроклиматической информации с применением картографических основ, максимально приближенных к среднему (1:500000 до 1:1000000) и даже крупному масштабу (1:10000 до 1:25000). На карте агроклиматического районирования и в легенде к ней должны быть выделены таксономические единицы, различающиеся по: показателям климата; набору видов или сортов сельскохозяйственных культур; урожайности разного уровня. Для оценки урожаев, получаемых не только в производственных условиях, но и в соответствии с биоклиматическим потенциалом территории применяются физико-статистические модели "климат - урожай" различной сложности.

В предлагаемой книге рассматривается именно такой подход к комплексному решению проблемы – региональной оценке агроклиматических ресурсов и их районированию на территории Украины с учетом микроклимата в связи с продуктивностью сельскохозяйственных культур. В ней содержатся результаты научных исследований в этом направлении за последние 15 лет.

Предисловие, введение, главы 1, 2, 4, 7, параграфы 3.1, 3.4, 5.4, 6.5, 8.2, 8.4 составлены З.А. Мищенко; главы 3, 5, 6, параграфы 2.5, 4.3, 7.4, 8.1, 8.3 – Н.В. Кирнасовской.

Появлению книги способствовало доброжелательное отношение и одобрение со стороны сотрудников кафедры агрометеорологии и агрометеорологических прогнозов Одесского государственного экологического университета, прежде всего, проф., А.Н. Полевого, а также Е.Д. Соколенко за помощь при редактировании рукописи. Всех их авторы искренне благодарят.

Глубокую признательность авторы выражают рецензентам: доктору географических наук, доценту Г.В. Ляшенко и кандидату географических наук, доценту В.Н. Сытову за просмотр рукописи и ряд полезных критических замечаний, способствующих ее улучшению.

ВВЕДЕНИЕ

Агроклиматические ресурсы, под которыми понимаются совокупность агроклиматических условий, определяющих продуктивность сельскохозяйственных культур, характеризуются определёнными свойствами. Они относятся к числу тех немногих видов природных ресурсов, которые постоянно возобновляются, доступны человеку для использования и не приводят к ухудшению природной среды. Поэтому в условиях обострения экологического кризиса, когда многие достижения научно-технического прогресса ухудшают среду обитания растений и человека, изучение и рациональное использование агроклиматических ресурсов для повышения продуктивности сельского хозяйства становится более актуальным, чем когда-либо. Признётся вполне вероятным, что в ближайшем будущем научно-технический «взрыв» в сельском хозяйстве произойдёт не в области биологии и техники, а в области совершенствования способов получения информации о климате и её эффективного использования в сельскохозяйственном производстве.

Жизнедеятельность растений определяется действием двух механизмов – фотопериодизмом и термопериодизмом. В природе эти механизмы связаны друг с другом, и именно они определяют скорость развития, урожайность и химический состав растений. Интенсивность многих процессов, которые происходят в органической природе определяются, прежде всего энергетическими факторами и поэтому радиационно-световые и тепловые показатели дня и ночи могут рассматриваться как основные.

Их преимущество перед традиционными показателями термических ресурсов и теплообеспеченности растений в виде сумм средних суточных температур воздуха заключается в том, что они отличаются высокой чувствительностью к микроклимату, т.е. к неоднородностям деятельной поверхности (форма рельефа, экспозиция и крутизна склонов, близость морей и водоемов и др.). Поэтому эти показатели перспективны для региональной оценки и районирования радиационно-тепловых ресурсов не только в зональном разрезе, но и на ограниченных территориях.

Первая глава книги посвящена агроклиматической и микроклиматической оценке радиационно-световых ресурсов на территории Украины. В ней рассматриваются методы расчетов и оценка характеристик солнечной радиации для горизонтальной поверхности и склонов различной экспозиции и крутизны. На основе методики уплотнения климатической информации представлено комплексное районирование показателей радиационно-световых и тепловых ресурсов на территории Украины в среднем масштабе (1:750 000). Дана количественная оценка мезо- и микроклиматической изменчивости суммарной радиации и ФАР на различных склонах.

Во второй главе содержится агроклиматическая оценка термического режима и тепловых ресурсов дня и ночи с учетом микроклимата. В ней рассматриваются методы расчетов показателей термического режима и тепловых ресурсов дня и ночи. Дана оценка мезо и микроклиматической изменчивости тепловых ресурсов дня и ночи в сложном рельефе на территории СНГ и в Украине. Представлено районирование показателей тепловых ресурсов дня и ночи в мелком масштабе, а также комплексное районирование их в среднем масштабе с учетом микроклимата.

Третья глава посвящена обобщению весьма актуальных исследований по агроклиматической оценке теплового режима деятельной поверхности и почвы с учетом микроклимата. В ней рассматривается сравнительная оценка показателей ресурсов тепла в воздухе и пахотном слое почвы, а также методы их расчетов. Представлено комплексное районирование тепловых ресурсов в биологически активном слое воздуха и почвы на территории Украины с оценкой микроклиматической изменчивости ΣT_n под влиянием механического состава. Здесь же дана оценка мезо и микроклиматической изменчивости теплового режима деятельной поверхности на различных склонах..

Главы четвертая и пятая посвящены агроклиматической оценке ресурсов влаги и влагообеспеченности культурных растений в биологически активном слое воздуха и почвы. В них рассмотрены методы расчетов показателей ресурсов влаги. Дана сравнительная оценка влагообеспеченности по дефициту испарения и относительному испарению в пределах СНГ с последующим комплексным районированием этих показателей на территории Украины. Особое внимание уделено агроклиматической оценке влагообеспеченности по влагозапасам в почве. Дана количественная оценка взаимосвязи между влагозапасами в почве и неполной полевой влагоемкостью, представлено комплексное районирование ресурсов влаги в почве и влагообеспеченности подсолнечника и кукурузы на территории Украины.

В шестой главе излагаются результаты научных разработок по биоклиматическому потенциалу земли, рассмотрены методы расчетов БКП и B_k с региональным подходом. Представлено комплексное районирование биоклиматического потенциала и его показателей на территории Украины при естественном и оптимальном увлажнении с учетом микроклимата. Дана сравнительная оценка использования биоклиматического потенциала подсолнечником, виноградом и кукурузой.

Седьмая глава посвящена агроклиматической оценке показателей морозоопасности для зимующих культур в Украине. Рассмотрены методы расчетов показателей морозоопасности зимой с последующим комплексным районированием их на территории Украины. Дана вероятностная оценка с номограммами обеспеченности опасных морозов

для перезимовки культурных растений; предложены рекомендации по рациональному размещению и укрывке виноградников. Излагается метод региональной оценки и районирования условий морозоопасности в среднем масштабе с учетом микроклимата.

В заключительной восьмой главе реализуется концепция максимальной продуктивности культурных растений, основывающаяся на учете фотосинтетически-активной радиации (ФАР) и лимитирующих факторов климата. В ней представлена агроклиматическая оценка и районирование расчетных урожаев сельскохозяйственных культур на территории Украины на основе физико-статистической модели "Климат - урожай". Дана агроклиматическая оценка расчетных урожаев винограда и подсолнечника разного вида и уровня в пределах страны. Рассмотрена региональная оценка и районирование расчетных урожаев винограда, подсолнечника, кукурузы в среднем масштабе с учетом микроклимата.

1. АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ И МИКРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАДИАЦИОННО-СВЕТОВЫХ РЕСУРСОВ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ

1.1. Теоретические сведения

Солнечная радиация является источником энергии для живых организмов на Земле. Она обеспечивает растения энергией, которую они используют в процессе фотосинтеза для создания органического вещества, влияет на процессы роста и развития, расположения и строения листьев, химический состав и качество продукции, образование урожая, а также на ряд их свойств – продолжительность вегетации, засухоустойчивость, морозоустойчивость.

В связи с тем, что Земля окружена сплошной оболочкой атмосферы, солнечные лучи, прежде чем достичь поверхности Земли, проходят всю толщу атмосферы, которая частично отражает их, частично рассеивает. В результате изменяется количество солнечной радиации и качество света, поступающих к деятельной поверхности Земли. Характер подстилающей поверхности меняется в течении года, поэтому альбедо (величина, характеризующая отражательную способность поверхности) имеет годовой ход. Таким образом, на деятельной поверхности непрерывно наблюдается приход–расход лучистой энергии Солнца.

Приход состоит из прямой радиации (S), рассеянной радиации (D) и из излучения атмосферы (E_a). Расход складывается из отраженной радиации (R_k), собственного излучения подстилающей поверхности (E_s), относительного коэффициента поглощения длинноволновой радиации подстилающей поверхности (δ), эффективного излучения атмосферы (E_e). Разность между приходом и расходом радиации называется радиационным балансом подстилающей поверхности. Уравнение радиационного баланса (R) имеет вид:

$$R = (S + D + R_k) - (E_s + \delta E_a) = Q(1 - A) - E_e, \quad (1.1)$$

где Q – суммарная радиация; A – альбедо подстилающей поверхности; $Q(1 - A)$ – поглощение коротковолновой радиации; E_e – эффективное излучение атмосферы.

В настоящее время данные по режиму солнечной радиации широко применяются при решении многих проблем биологии, особенно в области экологии и физиологии растений, а также в агроклиматических исследованиях, связанных с продуктивностью сельскохозяйственных культур. Радиационный баланс деятельной поверхности – это

энергетическая база формирования тепловых ресурсов и транспирации растительного покрова.

М.И. Будыко [13], изучая связь радиационного баланса с некоторыми физико-географическими характеристиками, установил тесную зависимость между радиационным балансом за год и суммой активных температур воздуха выше 10°C (Рис. 1.1).

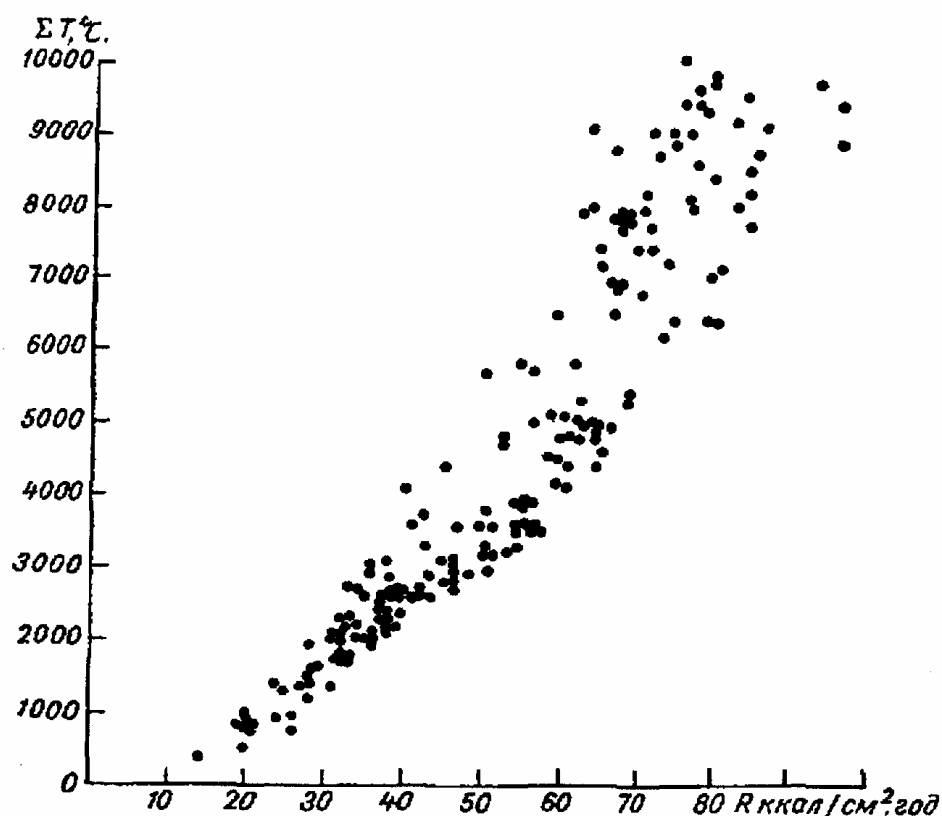


Рис. 1.1. Зависимость между суммой температуры воздуха выше 10°C и радиационным балансом (R) за год

Позднее подобные графики связи были построены другими авторами для территории Западной Сибири и Дальнего Востока. Графики такого типа являются физическим обоснованием использования сумм активных средних суточных температур воздуха выше $5, 10, 15^{\circ}\text{C}$ как агроклиматических показателей тепловых ресурсов той или иной территории и теплообеспеченности культурных растений.

В настоящее время для сельскохозяйственной оценки климата и агроклиматического районирования территорий разного масштаба используются следующие показатели радиационно-световых ресурсов: продолжительность солнечного сияния за период с температурой выше 10°C (ΣS_c); суммы прямой солнечной радиации, вычисленные за месяц и за период активной вегетации культур (ΣS); суммы радиационного баланса,

вычисленные за месяц и за период активной вегетации культур (ΣR); суммарной радиации (ΣQ) и суммы фотосинтетически активной радиации, вычисленные за месяц и за период активной вегетации культур (ΣQ_{ϕ}).

Преимущество этих показателей заключается в том, что они значительно изменяются в зональном разрезе и отличаются чувствительностью к микроклимату. Они позволяют дать биоклиматическое обоснование различного поведения однолетних и многолетних культур на различных склонах и оптимизировать их размещение на ограниченных территориях со сложным рельефом [42, 55, 57, 62, 69, 80].

1.2. Методы расчетов и оценка характеристик солнечной радиации для горизонтальной поверхности

На рост, развитие и формирование урожая культурных растений влияют продолжительность солнечного освещения, его интенсивность и спектральный состав. Для физиологических процессов, в том числе фотосинтеза, наибольшее значение имеет коротковолновая радиация (КВР). Лучистая энергия, которая поглощается пигментами листа и играет важнейшую роль в жизни растений, называют физиологической радиацией. Часть спектра солнечного света, непосредственно участвующего в фотосинтезе, называют фотосинтетически активной радиацией (ФАР). Величину ФАР обычно ограничивают пределами длин волн 0,38 – 0,71 мкм.

Солнечная радиация влияет и на химический состав культурных растений. Отмечено, что сахаристость винограда и сахарной свеклы, содержание белка в зерне яровой, озимой пшеницы тесно взаимосвязаны с количеством солнечных дней и с интенсивностью коротковолновой радиации. С увеличением прихода прямой солнечной радиации возрастает количество масла в семенах подсолнечника, льна, клещевины; более полно усваиваются фосфор и калий растениями томатов. При пасмурной или дождливой погоде узел кушения у озимых зерновых культур образуется близко к поверхности почвы (1 – 2 см), в то время как при солнечной погоде в условиях достаточного увлажнения узел кушения закладывается на глубине 4 – 5 см [54, 71, 107].

Помимо реакции растений на интенсивность и спектральный состав солнечной радиации они реагируют и на продолжительность освещения. Реакция сельскохозяйственных культур на продолжительность освещения называется фотопериодизмом. По этому признаку растения делятся на три группы:

- 1) растения длинного дня, развития которых ускоряется при продвижении на север;

2) растения короткого дня, развитие которых ускоряется при продвижении к югу;

3) растения нейтральные у которых изменение длины дня (продолжительность освещения) не вызывает заметных изменений в развитии.

Поскольку в многих странах, в том числе в Украине, актинометрические наблюдения проводятся в ограниченном виде, разработаны косвенные методы актинометрических расчетов. Рассмотрим методы расчетов суммарной солнечной радиации и ФАР. Прямая и рассеянная радиация, поступающие на горизонтальную поверхность (или открытое ровное место) в сумме даю суммарную солнечную радиацию (ΣQ), рассчитанную за день, месяц, теплый период:

$$\Sigma Q = \Sigma S + \Sigma D, \quad (1.2)$$

где ΣS – сумма прямой радиации; ΣD – сумма рассеянной радиации.

Наиболее часто ΣQ рассчитываются по массовым данным наблюдений на метеорологических станциях по продолжительности солнечного сияния или облачности. Например, формула В.Н. Украинцева, уточненная С.И. Сивковым [62] имеет вид:

$$\Sigma Q = 49 \cdot S_c^{1,31} \cdot 10^{-4} + 10,5(\sinh_{\Theta})^{2,1}, \quad (1.3)$$

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

h_{Θ} – высота Солнца в полдень на середину месяца.

Полуденная высота Солнца определяется по уравнению

$$h_{\Theta} = 90^{\circ} - \varphi + \delta_{\Theta}, \quad (1.4)$$

где φ – широта места; δ_{Θ} – склонение Солнца.

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

Фотосинтез, протекающий благодаря поглощению ФАР растениями, является главным фактором в получении урожая культурных растений. Согласно исследованиям Б.И. Гуляева, Х. Молдау, Х.Г. Тооминга [101] переход от коротковолновой радиации к ФАР для горизонтальной поверхности осуществляется по формулам:

$$\Sigma S_{\phi} = \bar{C}_s \cdot \Sigma S, \quad (1.5)$$

$$\Sigma D_{\phi} = \bar{C}_D \cdot \Sigma D, \quad (1.6)$$

$$\Sigma Q_{\phi} = \bar{C}_Q \cdot \Sigma Q, \quad (1.7)$$

где ΣS_{ϕ} , ΣD_{ϕ} , ΣQ_{ϕ} – сумма соответственно прямой, рассеянной и суммарной ФАР, подсчитанных за день, декаду, месяц или за вегетационный период; \bar{C}_S , \bar{C}_D , \bar{C}_Q – средние коэффициенты перехода от КВР к ФАР.

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

$$\Sigma Q_{\phi} = 0,43\Sigma S + 0,57\Sigma D = 0,5\Sigma Q. \quad (1.8)$$

Агроклиматическая оценка энергетических ресурсов в конкретной местности выполняется по сумма суммарной радиации и суммам ФАР за теплый период со средней суточной (T_c) или средней дневной (T_d) температурами воздуха выше 5, 10, 15 °C с применением следующих формул:

$$\Sigma Q' = (\Sigma Q_{IV} + \Sigma Q_V + \dots \Sigma Q_X), \quad (1.9)$$

$$\Sigma Q'_{\phi} = (\Sigma Q_{\phi IV} + \Sigma Q_{\phi V} + \dots \Sigma Q_{\phi X}), \quad (1.10)$$

где $\Sigma Q'$, $\Sigma Q'_{\phi}$ – суммы суммарной радиации и ФАР за теплый период с T_c или T_d выше 5, 10, 15 °C; ΣQ , ΣQ_{ϕ} – месячные суммы суммарной радиации и ФАР (индексы IV, VI и до X характеризуют месяцы с апреля по октябрь).

На территории Украины инструментальные данные наблюдений по суммарной радиации проводятся только на 17 актинометрических станциях. При решении агроклиматических задач возникает необходимость получения информации о суммарной и фотосинтетически активной радиации на более густой сети метеорологических станций. Поскольку одной из центральных задач научных исследований есть агроклиматическое районирование показателей радиационно-световых ресурсов для оценки условий произрастания сельскохозяйственных культур и формирование урожая, выполнены специальные научно-методические разработки.

Суть их сводится к следующему: а) установление количественных зависимостей между основными показателями радиационно-световых

ресурсов отдельно для весны, лета, осени и в целом за теплый период с температурой воздуха выше 10 °С; б) разработка косвенного метода расчета сумм суммарной и фотосинтетически активной радиации за разные периоды активной вегетации культурных растений; в) создание специального банка месячных данных с марта по ноябрь и за теплый период с температурой воздуха выше 10 °С по ΣQ , ΣQ_{ϕ} , ΣS_c для 150 пунктов, равномерно освещающих территорию Украины.

Предварительно была выполнена сравнительная оценка климатических норм месячных сумм суммарной солнечной радиации по данным старого "Климатического справочника СССР" [97, 98] и нового "Научно-прикладного справочника по климату СССР" [82]. Существенной разницы в климатических нормах месячных сумм суммарной радиации не наблюдается. Эта разница существенно сглаживается при сравнении климатических норм по ΣQ и ΣQ_1 за теплый период с температурой воздуха выше 10 °С и не превышает 3 – 6% (табл. 1.1). Поэтому в дальнейших исследованиях были использованы соответствующие данные по солнечной радиации, напечатанные в "Климатическом справочнике СССР". Это связано с тем, что в нем есть более богатый материал по другим характеристикам климата, которые используются в научных разработках.

Для установления степени тесноты связи между сезонными суммами суммарной радиации и продолжительностью солнечного сияния был составлен комплексный рабочий график. На нем разными знаками и цветами были нанесены средние многолетние данные 15-ти актинометрических станций Украины по отдельным месяцам по ΣQ и ΣS_c весны, лета и осени. Далее получено ряд уравнений прямолинейной регрессии и рассчитаны соответствующие статистические параметры к ним (табл. 1.2).

Коэффициенты корреляции были рассчитаны по видоизмененной формуле, которая удобна для практического использования.

$$r = \frac{n \Sigma xy - \Sigma x \cdot \Sigma y}{\sqrt{n \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2} \cdot \sqrt{n \Sigma y^2 - (\Sigma y)^2}}. \quad (1.11)$$

Средние квадратические ошибки коэффициентов корреляции (σ_r) и вероятные ошибки (ε_r) определялись по формулам вида

$$\sigma_r = \frac{(1 - r^2)}{\sqrt{n}}; \quad \varepsilon_r = 0,67 \sigma_r. \quad (1.12)$$

Средние ошибки уравнений связи между ΣQ и ΣS_c определены по формуле вида

$$\bar{S}_y = \pm \sigma_y \sqrt{1 - r^2}. \quad (1.13)$$

Таблица 1.1. Сравнение данных по суммам суммарной радиации (МДж/м²), которые получены из актинометрических наблюдений (ΣQ) и расчетным методом (ΣQ_1) с определением ошибки ($\eta, \%$)

Стан-ция	Пара-метр	Весна		Лето			Осень		Сред-нее за $N_{\text{ТП}}$
		Апре-ль	Ма-й	Ию-нь	Ию-ль	Ав-густ	Сен-тябрь	Ок-тябрь	
Ковель	ΣQ	398	553	612	574	478	352	201	452
	ΣQ_1	387	554	581	559	476	346	212	445
	$\eta, \%$	3	0	5	3	0	2	5	3
Борис-поль	ΣQ	432	603	633	637	215	369	218	487
	ΣQ_1	451	600	603	629	527	366	229	481
	$\eta, \%$	4	7	5	1	2	1	5	3
Полта-ва	ΣQ	390	553	620	367	511	377	197	469
	ΣQ_1	406	565	616	622	546	374	232	488
	$\eta, \%$	4	2	1	2	6	1	15	4
Велико-Анадоль	ΣQ	436	603	658	687	599	423	256	523
	ΣQ_1	430	527	643	683	615	420	268	519
	$\eta, \%$	1	5	2	1	3	1	4	2
Берего-во	ΣQ	452	595	628	633	570	436	268	512
	ΣQ_1	462	531	582	617	543	410	292	491
	$\eta, \%$	2	12	8	3	5	6	8	6
Одесса	ΣQ	507	675	725	758	641	469	285	580
	ΣQ_1	483	623	666	717	636	449	302	554
	$\eta, \%$	5	8	9	6	1	4	6	6
Аскания Нова	ΣQ	486	666	708	733	637	465	276	567
	ΣQ_1	478	628	668	715	637	444	299	552
	$\eta, \%$	2	6	6	2	0	4	8	4

Таблица 1.2 – Уравнение связи между показателями радиационно- световых ресурсов и статистические параметры к ним

Период	Уравнение	r	\bar{S}_y
Весна	$\Sigma Q_{\text{в}} = 2,114 \cdot \Sigma S_{\text{с}} - 44,92$	0,97	39,76
Лето	$\Sigma Q_{\text{л}} = 1,678 \cdot \Sigma S_{\text{с}} - 134,92$	0,80	26,58
Осень	$\Sigma Q_{\text{о}} = 1,927 \cdot \Sigma S_{\text{с}} - 23,88$	0,98	40,39

Как видно из табл. 1.2, коэффициенты корреляции (r) остаются во все сезоны высокими. Средние ошибки уравнений регрессии малы и находятся в пределах 24 – 40 МДж/м². Отсюда можно сделать вывод о достаточно высокой точности определения сумм суммарной солнечной радиации по продолжительности солнечного сияния с использованием соответствующих уравнений или графиков связи между этими показателями.

Получен ряд уравнений множественной регрессии, которые характеризуют зависимость сумм суммарной солнечной радиации от продолжительности солнечного сияния и полуденной высоты Солнца, выраженной через $\sinh \Theta$ отдельно для весны, лета, осени.

$$\text{Весна} \quad \Sigma Q = 1,69 \cdot \Sigma S_c + 280,14 \sinh \Theta - 92,26 \quad (1.14)$$

$$\text{Лето} \quad \Sigma Q = 1,299 \cdot \Sigma S_c + 723,11 \sinh \Theta - 390,13 \quad (1.15)$$

$$\text{Осень} \quad \Sigma Q = 1,425 \cdot \Sigma S_c + 253,91 \sinh \Theta - 90,08 \quad (1.16)$$

Рассчитаны соответствующие статистические параметры к уравнениям множественной регрессии. Из табл. 1.3 видно, что коэффициенты корреляции между ΣQ и ΣS_c , $\sinh \Theta$ остаются во все сезоны очень высокими ($r=0,90 - 0,98$), а средние квадратические ошибки коэффициентов корреляции и вероятностные ошибки малы.

Таблица 1.3. Статистические параметры к уравнениям связи между ΣQ и ΣS_c и высотой Солнца.

Период	r	σ_r	ε_r	σ_Q	σ_S	\bar{S}_y
Весна	0,98	0,04	0,026	117,3	54,1	$\pm 23,67$
Лето	0,90	0,04	0,027	67,0	32,6	$\pm 29,88$
Осень	0,98	0,03	0,020	125,7	65,4	$\pm 20,36$

Средние ошибки уравнений регрессии (\bar{S}_y) не превышают 20 – 30 МДж/м². Таким образом, учет полуденной высоты Солнца значительно повысило точность косвенного расчета месячных сумм суммарной радиации.

По предложенной методике были рассчитаны месячные суммы суммарной солнечной радиации и ФАР, а также суммы этих показателей за теплый период с температурой воздуха выше 10 °С ($\Sigma Q'$, $\Sigma Q'_\phi$) для 68 метеорологических станций Украины. Далее определялись путем

построения графика годового хода месячных значений ΣQ и ΣQ_{ϕ} для каждой станции. Потом по датам перехода T_c через 10°C весной и осенью рассчитывались соответствующие суммы суммарной радиации и суммы ФАР, которые приходят на горизонтальную поверхность за теплый период по формулам 1.9 и 1.10.

Но данных, которые получили по ΣQ и ΣQ_{ϕ} оказалось недостаточно для выполнения комплексного районирования радиационно-световых ресурсов на территории Украины. В целях уплотнения климатической информации и сокращения трудоемких работ по расчету и картографированию отдельных показателей радиационно-световых и тепловых ресурсов была исследована взаимосвязь не только между суммой суммарной радиации и суммой ФАР с продолжительностью солнечного сияния за теплый период с температурой воздуха выше 10°C , а также и с суммой средних суточных температур воздуха за тот же период. Мищенко З.А. и Ляховой С.В. [69, 79] установили прямолинейный характер этих связей и предложили соответствующие формулы для расчета $\Sigma Q'$ и $\Sigma Q'_{\phi}$. Для Украины формулы имеют вид:

$$\Sigma Q' = 0,89 \cdot \Sigma T_c + 450,2, \quad (1.17)$$

$$\Sigma Q'_{\phi} = 0,44 \cdot \Sigma T_c + 225,1, \quad (1.18)$$

$$\Sigma S'_c = 0,47 \cdot \Sigma T_c + 30,34. \quad (1.19)$$

Коэффициенты корреляции между этими показателями составляют $0,91 - 0,96$. Средние квадратические ошибки коэффициентов корреляции не превышают $0,03 - 0,05$, а вероятностные ошибки малы и составляют $0,02 - 0,03$. По этим формулам дополнительно были рассчитаны суммы суммарной радиации и ФАР за теплый период с температурой воздуха выше 10°C еще для 92 метеорологических станций.

Как видно из табл. 1.4 наибольший вклад в накоплении солнечного тепла вносит лето, потом весна, а после – осень. В целом за теплый период имеет место значительная географическая изменчивость показателей радиационно-световых ресурсов на территории Украины. Например, на севере (ст. Чернигов) значения ΣQ и ΣQ_{ϕ} , ΣS_c и $N_{\text{тп}}$ не превышают соответственно 2790 и 1395 МДж/м^2 , 1295 часов и 159 дней. На крайнем юге (ст. Ялта) значения этих показателей возрастают до 3628 и 1814 МДж/м^2 , 1689 часов и 203 дней.

Для ряда пунктов были определены фактические ΣQ и ΣQ_{ϕ} по данным актинометрических наблюдений и расчетным методом по формулам 1.17 и 1.18. Как видно из табл. 1.5, отклонения в значениях расчетных сумм суммарной радиации и ФАР ($\Sigma Q'$, $\Sigma Q'_{\phi}$) от фактических не превышают $3 - 7\%$.

**Таблица 1.4. Показатели радиационно-световых ресурсов по сезонам и за теплый период с T_c выше 10 °С
в ряде пунктов Украины**

Станция	Весна			Лето			Осень			Теплый период			
	ΣQ	ΣQ_ϕ	ΣS_c	ΣQ	ΣQ_ϕ	ΣS_c	ΣQ	ΣQ_ϕ	ΣS_c	ΣQ	ΣQ_ϕ	ΣS_c	$N_{\text{ТП}}$
Чернигов	1244	622	552	1739	869	803	620	310	363	2790	1395	1295	159
Житомир	1249	624	514	1747	874	779	637	318	346	2760	1380	1241	158
Киев, обс	1303	652	531	1831	915	812	696	348	361	2900	1450	1302	162
Львов	968	484	405	1689	844	719	628	319	330	2774	1385	1213	166
Полтава	943	472	537	1768	884	843	574	287	339	2812	1406	1351	164
Харьков	1278	639	552	1798	899	829	662	331	371	2920	1460	1322	161
Умань	1253	627	521	1802	901	829	708	354	402	2883	1441	1322	163
Черновцы	1316	658	549	1777	888	779	767	383	422	2954	1477	1310	168
Кривой Рог	1362	681	581	1940	970	911	796	398	445	3239	1620	1536	175
Одесса	1521	760	628	2124	1062	976	880	440	494	3584	1792	1667	180
Херсон	1480	740	622	2080	1040	986	863	432	493	3562	1781	1702	185
Клепинино	1462	731	620	2032	1016	987	943	471	504	3528	1764	1691	183
Симферополь	1529	765	650	2170	1085	1006	993	496	562	3792	1896	1772	187
Севастополь	1458	729	614	2053	1026	998	968	384	529	3725	1862	1797	202
Феодосия	1437	719	602	2020	1010	973	930	465	509	3654	1827	1754	198
Ялта	1412	706	569	1986	993	926	972	486	523	3628	1814	1689	203

Таблица 1.5. Сравнительная оценка данных по суммам суммарной радиации и ФАР за теплый период с T_c выше 10 °С, которые рассчитаны по актинометрическим наблюдениям и расчетным методом (МДж/м²)

Станция	Фактические		Расчетные		Отклонение расчетных от фактических		Ошибка, %
	ΣQ	ΣQ_ϕ	$\Sigma Q'$	$\Sigma Q'_\phi$	ΣQ	ΣQ_ϕ	
Конотоп	2707	1354	2746	1373	– 39	– 20	2
Полтава	2812	1406	2951	1476	– 139	– 70	5
Одесса	3600	1800	3342	1671	– 257	– 128	7
Болград	3364	1682	3472	1736	108	54	3
Никитский Сад	3758	1879	3908	1954	150	75	4

Привлекательность формул 1.17–1.19 состоит в том, что с их помощью можно легко и быстро, обходя сложные расчеты, получить массовые материалы по ΣQ , ΣQ_ϕ , ΣS_c за теплый период по суммам температур воздуха выше 10 °С, которые опубликованы в "Справочниках по климату СССР" [97, 98]. Это дало возможность создать информационный банк данных по суммам суммарной солнечной радиации и ФАР (ΣQ , ΣQ_ϕ), продолжительностью солнечного сияния (ΣS_c) за теплый период со средней суточной температурой воздуха выше 10 °С, а также по ΣT_c выше 10 °С и продолжительности теплого периода ($N_{\text{ТП}}$) для 155 пунктов.

1.3. Комплексное агроклиматическое районирование показателей радиационно-тепловых ресурсов на территории Украины

1.3.1. Географические закономерности распределения радиационно-световых и тепловых ресурсов в пределах страны.

Одним из наиболее рациональных видов представления климатической информации с учетом требований отдельных отраслей народного хозяйства является картирование основных элементов климата. Районирование агроклиматических показателей позволяет по точечным наблюдениям отдельных метеорологических и агрометеорологических станций дать пространственное распределение изучаемых показателей и их

комплексов. В этом основное преимущество агроклиматических карт, с помощью которых можно выйти на непосредственное обслуживание сельского хозяйства на региональном уровне и способствовать этим его дальнейшему развитию.

Принципы составления климатических и агроклиматических карт одинаковы и определяются: 1) степенью изученности картируемого элемента; 2) характером его изменчивости в пространстве; 3) густотой метеорологической сети станций; 4) возможностью использования расчетных методов; 5) наличием картографических основ (гипсометрические, морфометрические, почвенные и ландшафтные карты). Существенным фактором являются также площадь изображаемой территории и специфика запроса практики, для удовлетворения которой составляется климатическая или агроклиматическая карта.

В настоящее время существуют два метода учета климатических закономерностей при построении карт названных масштабов. Принципиальное различие между ними заключается в разном способе учета изменчивости того или иного элемента климата под влияние местных условий, в том числе микроклимата [21, 39, 55, 57, 80].

Первый метод эффективен при картировании климатических элементов, равномерно изменяющихся в пространстве и незначительно – под влиянием местных условий. В этом случае на карте при проведении изолиний сразу учитываются все факторы, определяющие изменение климатического элемента в географическом разрезе. При этом, согласно понятию "точность климатических карт", интервалы между изолиниями должны быть такими, чтобы в них укладывались колебания картируемого элемента на отдельных станциях за счет ошибок исходного материала, в том числе, за счет систематических ошибок, зависящих от микроклиматических особенностей местоположения отдельных станций. Этот метод апробирован при мелкомасштабном картировании многих климатических и агроклиматических показателей, представленных в виде серии соответствующих карт в национальных климатических атласах разных стран, а также в "Агроклиматическом атласе Мира" [1, 2, 3, 4, 35, 40 и др.]

Для климатических элементов, которые отличаются большой изменчивостью в пространстве под влиянием местных условий, применение традиционной методики картографирования нецелесообразно, так как приходится выбирать столь большие интервалы между изолиниями, что составление карт теряет смысл. В этом случае эффективна методика построения так называемых фоновых карт, составление которых требует детального анализа местоположения станции, установления их репрезентативности.

Суть методики заключается в следующем. На карте показываются в

виде изолиний изменение исследуемого элемента климата под влиянием общегеографических факторов. При этом принимаются во внимание фоновые данные станций, репрезентативных для конкретного района (т.е. карты строятся для условий открытого ровного места на равнинных землях или для средних частей склонов в горах). На втором этапе анализируются данные станций, находящихся под влиянием микроклимата. Методом интерполяции определяется отклонение данных каждой станции, входящей в ту или иную группу по местоположению (форма рельефа, экспозиция и крутизна склонов, типы почв, близость морей и крупных водоемов и др.) от изолиний на карте. В конечном итоге разрабатывается система микроклиматических поправок к карте в виде таблицы.

Метод составления фоновых карт был впервые предложен И.А. Гольцберг [21] для географической характеристики заморозков на территории бывшего СССР. В дальнейшем этот метод был усовершенствован и развит З.А. Мищенко [63, 70, 71] при картировании суточной амплитуды температуры воздуха, дневных и ночных температур воздуха и их сумм выше 10 °С, а также среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха применительно к территории СНГ. Важность методического приема заключается в том, что к фоновой агроклиматической карте придается в виде легенды не только таблица, содержащая осредненные для каждого макрорайона микроклиматические параметры, но и более богатый материал по "географии" мезо- и микроклиматической изменчивости основных элементов климата на той или иной территории.

Согласно ряду исследований [13, 32, 85, 101, 108, 114], суммарная солнечная радиация и ФАР являются одними из основных показателей климата, тесно связанных с продуктивностью однолетних и многолетних культур. До последнего времени картирование этих показателей осуществлялось в мелком масштабе (1:4000000 до 1:12000000 и мельче). В большинстве случаев составлялись отдельные карты распределения сумм суммарной радиации за каждый месяц, сезон или за год для территории СНГ или крупных его частей. Например, в "Агроклиматическом атласе мира" [1] представлены обзорные мировые карты распределения сумм суммарной радиации за июнь и декабрь (рабочий масштаб 1:60000000). З.И. Пивоварова составила серию карт распределения суммарной радиации за отдельные месяцы с января по декабрь (рабочий масштаб 1:25000000). В "Агроклиматическом атласе Украины" [3] содержатся карты распределения суммарной радиации за год (рабочий масштаб 1:4000000), а также за отдельные сезоны (рабочий масштаб 1:15000000).

Рядом авторов были исследованы географические особенности распределения фотосинтетически активной радиации и составлены соответствующие карты. Впервые такая карта была составлена Молдау Х.,

Россом Ю., Тоомингом Х. в мелком масштабе для территории Европейской части СНГ. Позднее И.А. Ефимова [32] составила карты распределения годовых сумм ФАР, а также за теплый период с температурой воздуха выше 5 и 10 °С на территории СНГ в мелком масштабе (1:12500000). Гойса Н.И. и Перелет Н.А. [19] составили месячные карты распределения суммарной радиации и ФАР на территории Украины для оценки теплообеспеченности ряда однолетних культур (рабочий масштаб 1:8000000 и 1:4000000). В "Агроклиматичен атлас на България" [2] представлены более детальные карты сумм суммарной радиации и сумм ФАР за теплый период с температурой воздуха выше 10 °С (рабочий масштаб 1:2500000).

Не снижая научной и практической ценности вышеуказанных материалов по картографированию сумм суммарной радиации и сумм ФАР, следует заметить, что они дают весьма схематичное распределение этих показателей в зональном разрезе без учета их изменчивости на склоновых землях под влиянием микроклимата. Кроме того, эти показатели никак не увязаны с другими агроклиматическими характеристиками радиационно-тепловых ресурсов и тем более с продуктивностью конкретных сельскохозяйственных культур.

Поэтому в данной работе ставится задача восполнить этот пробел. А именно, осуществить комплексное районирование радиационно-световых и тепловых ресурсов на территории Украины в более крупном масштабе (1:750000) с учетом микроклимата склонов разной экспозиции и крутизны. Для этой цели создан соответствующий банк данных по сумма суммарной солнечной радиации и ФАР (ΣQ , ΣQ_ϕ), продолжительности солнечного сияния (ΣS_c) за теплый период со средней суточной температурой воздуха выше 10 °С, а также по суммам активных температур воздуха за период с T_c выше 10 °С (ΣT_c) и продолжительности теплого периода ($N_{\text{ТП}}$).

В процессе составления комплексной карты показателей радиационно-световых и тепловых ресурсов Украины использовались следующие методические приемы. За основу принят метод составления климатических и агроклиматических карт, разработанный З.А. Мищенко [63, 71] с последующим использованием методики уплотнения агроклиматической информации. Суть ее заключается в установлении количественных зависимостей между известными и новыми или искомыми климатическими характеристиками. Такой прием позволяет избежать трудоемких работ по составлению отдельных карт для каждого элемента климата, т.е. уплотнить климатическую или агроклиматическую информацию и представить ее в компактном виде на одной карте, значительно обогатив легенду к ней.

Задача решалась в два этапа. На первом этапе была построена агроклиматическая карта распределения сумм суммарной радиации и сумм

фотосинтетически активной радиации за теплый период с температурой воздуха выше 10 °С. На втором этапе решалась задача по определению для каждого макрорайона, выделенного на карте, таких показателей, как ΣS_c , ΣT_c и $N_{\text{тп}}$, на основе установления взаимосвязи их с ΣQ и ΣQ_ϕ [64, 67, 79]. Результаты этой работы представлены на рис. 1.2 и в табл. 1.6, которая является количественной легендой к карте. В качестве картографической основы использовалась физико-географическая карта Украины с гипсометрией в среднем масштабе (1:750000). Как следует из рис. 1.2, на карте выделено семь макрорайонов, существенно различающихся по средним многолетним величинам ΣQ и ΣQ_ϕ . Карта составлена для условий открытого ровного места на равнинных землях и для средних частей склонов в предгорных и горных районах Восточных Карпат и Крымских гор. Пространственная изменчивость ΣQ и ΣQ_ϕ носит в основном зональный характер, возрастая существенно в направлении с севера на юг страны. На Крайнем Севере в макрорайоне 1 ΣQ и ΣQ_ϕ оказываются менее 2700 и 1350 МДж/м²; в Центральном теплом макрорайоне 4 они увеличиваются до 3100 – 3300 и 1550 – 1650 МДж/м². На Крайнем Юге в макрорайоне 7 ΣQ и ΣQ_ϕ возрастают до 3700 – 3800 и 1850 – 1900 МДж/м².

Однако зональный ход изолиний сумм суммарной радиации и сумм ФАР нарушается под влиянием Приднепровской и Волыно-Подольской возвышенностей, а также гор в Восточных Карпатах и в Крыму. В горах территории выше 1000 – 1500 м остались неосвещенными из-за недостатка или отсутствия данных. Для этих районов не представилась возможность определить высотные градиенты для сумм суммарной радиации за теплый период и провести изолинии расчетным путем. Однако, несмотря на ограниченность данных, выявилась четкая тенденция к уменьшению ΣQ и ΣQ_ϕ по мере продвижения в горы и даже на возвышенностях (табл. 1.7). Выявленная закономерность обусловлена тем, что с высотой места средняя суточная температура воздуха, ее сумма, а также продолжительность теплого периода уменьшаются на каждые 100 м высоты примерно на 0,5 °С, 190 – 260 °С и 7 – 9 дней.

На юге Украины существенное влияние на распределение ΣQ и ΣQ_ϕ в теплое время года оказывает бризовая циркуляция на побережьях Черного и Азовского морей. Благодаря ей вблизи берегов образуется зона повышенной ясности небосвода и более высокие значения этих характеристик солнечной радиации. Но уже на расстоянии 40 – 50 км, где преобладают восходящие потоки, образуется зона повышенной облачности, которая обуславливает уменьшение ΣQ и ΣQ_ϕ , особенно в районе Херсона, Аскании-Нова, Измаила, Одессы и в Крыму.

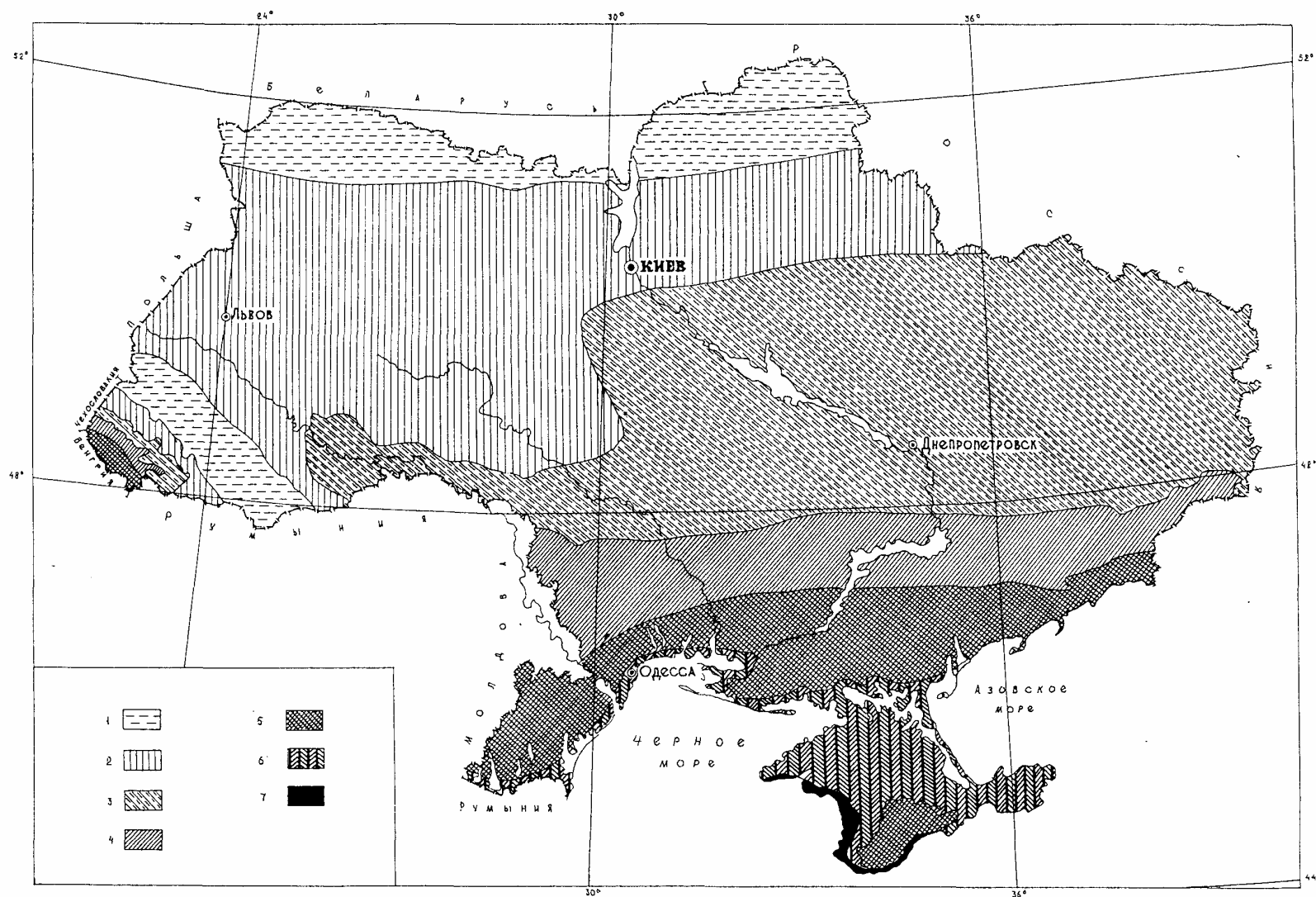


Рис. 1.2. Агроклиматическое районирование радиационно-световых и тепловых ресурсов на территории Украины. Макрорайоны 1-7 (см. легенду к карте в табл. 1.6)

Таблица 1.6 Агроклиматическая оценка радиационно-световых и тепловых ресурсов Украины за период с температурой воздуха выше 10 °С

Макрорайон	ΣQ , МДж/м ²	ΣQ_{ϕ} , МДж/м ²	ΣS_c , години	ΣT_c , °С	$N_{\text{тп}}$, дни
1. Крайний северный холодный	<2700	<1350	<1200	<2500	<157
2. Южный относительно холодный	2700 – 2900	1350 – 1450	1200 – 1320	2500 – 2750	157 – 163
3. Центральный прохладный	2900 – 3100	1450 – 1550	1322 – 1416	2750 – 2950	163 – 172
4. Центральный теплый	3100 – 3300	1550 – 1650	1416 – 1534	2950 – 3200	172 – 180
5. Южный теплый	3300 – 3500	1650 – 1750	1534 – 1628	3200 – 3400	180 – 188
6. Южный очень теплый	3500 – 3700	1750 – 1850	1628 – 1745	3400 – 3650	188 – 196
7. Южный жаркий	>3700	>1850	>1745	>3650	>196

Таблица 1.7. Влияние высоты места на распределение сумм суммарной радиации и сумм ФАР за теплый период с T_c выше 10 °С (МДж/м²)

№ п/п	Станция	φ	Н, м	ΣQ	ΣQ_ϕ
1	Симферополь	44°54'	32	3792	1896
2	Салгирка	44°57'	238	3444	1722
	Разность		206	348	174
3	Севастополь	44°37'	8	3725	1862
4	Голубинка	44°34'	219	3444	1722
	Разность		211	281	140
5	Никитский сад	44°32'	366	3758	1879
6	Ай-Петри	44°28'	1180	3264	1632
	Разность		814	494	247

Из табл. 1.8 видно, что с удалением от побережья Черного моря суммы суммарной радиации и суммы ФАР за теплый период с T_c выше 10 °С уменьшаются на 200 – 290 МДж/м².

Зональная изменчивость ΣS_c , ΣT_c и $N_{\text{тп}}$ соответствует распределению сумм суммарной радиации и ФАР на территории Украины (рис.1.2, табл. 1.6). Эти агроклиматические показатели также возрастают в направлении с севера на юг. А именно, на крайнем севере (макрорайон 1) ΣS_c , ΣT_c и $N_{\text{тп}}$ не превышают соответственно 1200 часов 2500 °С и 157 дней; в центральном теплом макрорайоне их значения увеличиваются до 1416 – 1534 часов, 2950 – 3200 °С и 172 – 180 дней. Наибольшие значения ΣS_c , ΣT_c и $N_{\text{тп}}$ характерны для крайнего юга Крыма (7 макрорайон), где они возрастают соответственно до 1750 часов, 3650 °С и 196 дней.

Таблица 1.8. Влияние бризовой циркуляции на распределение ΣQ и ΣQ_ϕ на побережье Черного моря в теплое время года (МДж/м²)

№ п/п	Станция	Н, м	ΣQ	ΣQ_ϕ
1	Одесса, обс.	56	3582	1791
2	Беляевка	68	3319	1660
	Разность	12	263	131
3	Вилково	12	3650	1825
4	Болград	81	3360	1680
	Разность	69	290	145
5	Евпатория	6	3737	1869
6	Саки	2	3536	1668
	Разность	4	201	101

Для всех показателей радиационно-световых и тепловых ресурсов характерен значительный диапазон различий в зональном разрезе. А именно, суммы суммарной радиации и суммы ФАР изменяются на территории Украины на 1000 и 500 МДж/м², а продолжительность солнечного сияния за теплый период с T_c выше 10 °С – на 550 часов. Диапазон различий в ΣT_c и $N_{\text{тп}}$ также весьма значителен и составляет соответственно 1150 °С и 40 дней.

1.3.2. Рекомендации по оптимизации размещения сельскохозяйственных культур в зональном разрезе на равнинных землях.

Географическая изменчивость рассмотренных показателей радиационно-тепловых ресурсов обуславливает значительные различия в зональном распределении видов и сортов сельскохозяйственных культур, которые можно выращивать в конкретном регионе. На основе анализа и сопоставления биологической потребности ряда сельскохозяйственных культур с распределением ΣQ , ΣQ_{ϕ} , ΣS_c , ΣT_c , $N_{\text{тп}}$ в географическом разрезе разработаны рекомендации по оптимизации размещения винограда, кукурузы и подсолнечника с привязкой к агроклиматической карте (рис. 1.3, табл. 1.6).

Виноград.

Согласно литературным источникам [25, 88] все сорта винограда, выращиваемого на территории Украины и Молдовы, по их потребности в биологических суммах температур воздуха за вегетационный период можно объединить в семь групп. Для каждой группы сортов на основе установленной взаимосвязи ΣQ_{ϕ} с ΣT_c и ΣS_c с ΣT_c З.А. Мищенко определены биологические суммы ФАР ($\Sigma Q_{\phi\delta}$) и биологическая потребность в продолжительности солнечного сияния ($\Sigma S_{c\delta}$). Полученные данные представлены в табл. 1.9.

Таблица 1.9. Биоэкологические показатели потребности групп сортов винограда к радиационно-тепловым условиям

Группы сортов по срокам созревания	ΣT_{δ} , °С	N_{δ} , дни	$\Sigma Q_{\phi\delta}$, МДж/м ²	$\Sigma S_{c\delta}$, часы
1. Очень ранние	До 2500	125	1340	1205
2. Ранние	2500-2600	126-130	1340-1380	1205-1250
3. Ранне-средние	2600-2700	130-135	1380-1430	1250-1300
4. Средние	2700-2800	135-140	1430-1470	1300-1350
5. Средне-поздние	2800-2900	140-150	1470-1515	1350-1400
6. Поздние	2900-3000	150-160	1515-1560	1400-1440
7. Очень поздние	3000-3300	160-170	1560-1700	1440-1580

Для сравнения здесь же даны биологические суммы температур воздуха (ΣT_{δ}), а также потребность в продолжительности вегетационного периода для семи групп сортов винограда [26, 88].

Сопоставляя биологическую потребность групп сортов винограда в ΣT_{δ} , $\Sigma Q_{\phi\delta}$, $\Sigma S_{с\delta}$ с картой агроклиматического районирования радиационно-световых и тепловых ресурсов (рис. 1.2, табл. 1.6), можно сделать следующие практические рекомендации по рациональному размещению групп сортов винограда на территории Украины. Северная часть страны (1-ый и 2-ой макрорайоны) непригодны для выращивания винограда даже очень ранней и ранней группы сортов из-за недостаточной обеспеченности теплом (их созревание возможно не более 5 – 6 раз из 10 лет) и суровых условий перезимовки. В южной части 2-го макрорайона возможно оазисное возделывание этих групп сортов в благоприятных микроклиматических условиях при обязательном укрывании их зимой. К таким условиям относятся южные, юго-западные, юго-восточные склоны крутизной 8 – 12° и более с теплыми почвами (супесчаные и легкосуглинистые).

Те же рекомендации относятся к северной части 3-го макрорайона. В центральной и южной части этого макрорайона возможно промышленное виноградарство. Здесь можно размещать группы очень ранних, ранних и ранне-средних сортов с обеспеченностью их созревания по тепловым ресурсам 8 – 9 раз из десяти лет. Предпочтение следует отдать равнинным и склоновым землям с супесчаными и легкосуглинистыми почвами.

По мере продвижения к югу увеличивается количество местоположений, на которых можно размещать разные группы сортов винограда и успешно развивать промышленное виноградарство. При этом следует иметь в виду, что повсеместно непригодны для закладки виноградных плантаций понижения рельефа (нижние части и подножия склонов всех экспозиций, дно широких и узких долин, а также замкнутых котловин). Здесь сокращается продолжительность теплого периода на 15 – 30 дней и существенно уменьшаются суммы тепла, а заморозко- и морозоопасность значительно возрастают.

В 4-ом макрорайоне могут успешно возделываться на равнинных и склоновых землях очень ранние и ранние сорта винограда с высокой обеспеченностью теплом (9 – 10 раз из 10 лет). Здесь также хорошо обеспечены теплом ранне-средние и средние группы сортов на 80 – 90%, то есть их созревание возможно 8 – 9 раз из десяти лет.

Очень благоприятные условия для промышленного виноградарства создаются в 5-ом макрорайоне. Здесь на 100 % обеспечены теплом все предыдущие группы сортов (очень ранние, ранние, ранне-средние и средние). Сорта средне-поздние также хорошо обеспечены теплом (их созревание возможно 8 – 9 раз из десяти лет).

Самые благоприятные условия для ведения неукрывного виноградарства создаются на крайнем юге Украины в 6-ом и 7-ом макрорайонах. Здесь на 100 % обеспечены теплом все группы сортов винограда, включая поздние и очень поздние сорта (рис. 1.2, табл. 1.9). По этой причине открываются широкие возможности для маневрирования с размещением всех групп сортов, как на равнинных, так и склоновых землях.

Следует заметить, что во всех макрорайонах промышленного виноградарства, помимо учета требований групп сортов винограда к теплу, необходимо принимать во внимание их морозостойкость и условия морозоопасности. Эти показатели ограничивают продвижение сортов винограда в северные районы и определяют ведение виноградарства укрывным и неукрывным способом зимой.

Кукуруза. Эта зерновая культура является теплолюбивым и светолубивым растением. Согласно данным Н.И. Гойса [19] биологическая потребность кукурузы в солнечном тепле значительно изменяется в зависимости от ее сортов и гибридов (табл. 1.10). Для выращивания кукурузы на зерно для раннеспелых сортов требуется не меньше 2200 °С и 1160 МДж/м². Если сопоставить биологическую потребность кукурузы в радиационно-тепловых ресурсах с агроклиматической картой (рис. 1.2) и легендой к ней (табл. 1.6), то можно дать рекомендации по оптимизации размещения кукурузы в зональном разрезе на равнинных землях Украины.

Таблица 1.10. Биоэкологические показатели потребности сортов кукурузы и подсолнечника к радиационно-тепловым условиям

Группа сортов по срокам созревания	Кукуруза		Подсолнечник	
	$\Sigma T_{\phi}, ^\circ\text{C}$	$\Sigma Q_{\phi\phi}, \text{МДж/м}^2$	$\Sigma T_{\phi}, ^\circ\text{C}$	$\Sigma Q_{\phi\phi}, \text{МДж/м}^2$
Раннеспелые	2200	1160	1850	1040
Среднеспелые	2500	1320	2000	1150
Позднеспелые	2700	1450	2300	1300

Например, в макрорайоне 1 и в северной части макрорайона 2 на 90 – 100% обеспечены теплом раннеспелые сорта кукурузы на зерно. Однако их возделывание здесь даже на равнинных землях лимитируется условиями увлажнения, а также повышенной заморозкоопасностью весной для всходов кукурузы.

В западных и южных регионах макрорайона 2 и в северных регионах макрорайона 3 раннеспелые сорта обеспечены теплом на 90 – 100%, а среднеспелые сорта – на 80 – 90% (т.е. возможно получение урожая кукурузы на зерно соответственно 9 – 10 раз и 8 – 9 раз в 10 лет) на равнинных и склоновых землях. Но и здесь возделывание кукурузы

ограничивается повышенной заморозкоопасностью весной и вероятностью повреждения всходов опасными заморозками.

Весьма благоприятные условия по тепло и влагообеспеченности для промышленного возделывания кукурузы складываются в южных регионах макрорайона 3 и в Закарпатье, а также в макрорайоне 4. Здесь среднеспелые сорта кукурузы обеспечены теплом на 90 – 100%, а позднеспелые – на 80 – 90% лет.

Наилучшие условия по радиационно-тепловым ресурсам для выращивания кукурузы на зерно складываются в макрорайонах 5, 6, 7. Здесь среднеспелые сорта обеспечены теплом на 100 %, а позднеспелые сорта – на 90 – 100% (т.е. возможно получение урожая кукурузы на зерно соответственно 10 раз и 9-10 раз в 10 лет). Кроме того, в макрорайонах 6, 7 возможно использование пожнивного периода с целью получения второго урожая кукурузы на зеленый корм или на силос для домашних животных.

Подсолнечник. Эта культура достаточно требовательна к теплу и условиям увлажнения на протяжении всего вегетационного периода. Биоклиматические показатели потребности сортов подсолнечника в радиационно-тепловых ресурсах представлено в табл. 1.10. Биологические суммы ФАР, потребные для возделывания трех групп сортов определены Н.В. Кирнасовской [55]. На основе сопоставления биоэкологических показателей по ΣT_{ϕ} и $\Sigma Q_{\phi\phi}$ с климатическими ΣT_c и ΣQ_{ϕ} (см. рис. 1.2 и табл. 1.6) можно дать рекомендации по рациональному размещению сортов подсолнечника разной скороспелости на равнинных землях Украины.

На севере страны в макрорайоне 1 нецелесообразно выращивать подсолнечник из-за недостаточной теплообеспеченности радиационно-тепловыми ресурсами и переувлажнения почв. Однако здесь можно возделывать раннеспелые сорта, размещая их на суходольных участках и на пологих склонах.

В северной и северо-восточной части макрорайона 2 также нецелесообразно выращивать подсолнечник на промышленной основе не столько из-за нехватки тепла, сколько из-за частых дождей в период созревания культуры. Вместе с тем для местного употребления можно возделывать раннеспелые и среднеспелые сорта с обеспеченностью 90 – 100 % и 80 – 90% (т.е. возможно получение урожая семян 9 – 10 и 8 – 9 раз в 10 лет), размещая их на равнинных землях и пологих склонах.

Благоприятными для выращивания подсолнечника являются южная часть макрорайона 2, а также макрорайоны 3, 4. Здесь имеет место оптимальное сочетание тепла и влаги на протяжении всего периода вегетации этой культуры. Предпочтение следует отдать раннеспелым и среднеспелым сортам, обеспеченных солнечным теплом соответственно на 100 % и 90 – 100 %. При этом можно получать стабильные урожаи подсолнечника с хорошей масличностью семян на равнинных землях и на

пологих склонах.

Макрорайон 5 весьма благоприятен для выращивания среднеспелых и позднеспелых сортов, которые обеспечены здесь солнечным теплом на 100%. Однако получение стабильных урожаев семян подсолнечника высокой масличности лимитируется засушливым климатом. Поэтому при размещении этой культуры предпочтение следует отдать равнинным землям и пологим склонам с северной составляющей.

Перспективными для выращивания подсолнечника являются макрорайоны 6, 7 (южные степи и предгорья Крымских гор). Эти регионы отличаются обилием света и тепла. Однако здесь можно получать ежегодно хорошие урожаи семян подсолнечника с высокой масличностью только при периодическом орошении сельскохозяйственных полей.

1.4. Методы расчетов характеристик солнечной радиации с учетом экспозиции и крутизны склонов

В последние годы разработана количественная теория радиационного режима растительного покрова, которая входит составной частью в главную проблему агрометеорологии – "Климат-урожай".

Однако в математических моделях продукционного процесса, а также при программировании урожаев сельскохозяйственных культур, как правило используется фоновая информация о климате для равнинных земель, в том числе по суммарной солнечной радиации и фотосинтетически активной радиации. Это приводит к существенным отклонениям фактических урожаев от расчетных или запланированных из-за недооценки пространственной их изменчивости на ограниченных территориях под влиянием местного климата и микроклимата.

Из общей площади сельскохозяйственных угодий на территории Украины склоновые земли занимают около 60%, а в отдельных районах превышают 80%. Поэтому представляет научный и практический интерес количественная оценка характеристик солнечной радиации для склонов разной экспозиции и крутизны. В основу расчетов положена методика К.Я. Кондратьева и М.П. Маноловой [42], которая позволяет количественно оценить составляющие радиационного баланса в теплую половину года на склонах по составляющим радиационного баланса для горизонтальной поверхности. Суть методики сводится к следующему. Из всех составляющих радиационного баланса на склонах больше всего изменяется прямая солнечная радиация, которая рассчитывается по формуле

$$S_{ск} = S \cdot \cos i, \quad (1.20)$$

$$\cos i = \cos \alpha \sinh_0 + \sin \alpha \cosh_0 \cos \varphi, \quad (1.21)$$

где $S_{ск}$ - прямая солнечная радиация на склоне; S - прямая солнечная радиация для горизонтальной поверхности; i - угол падения солнечных лучей; α - крутизна склона; h_o - высота Солнца; φ - разность азимутов Солнца и поверхности (проекция нормали к склону).

Рассеянную радиацию для склонов с достаточной степенью точности можно определить по формуле

$$D_{ск} = D \cdot \cos^2 \frac{\alpha}{2}, \quad (1.22)$$

где $D_{ск}$ - рассеянная радиация, поступающая на склон; D - рассеянная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность.

Эффективное излучение для некрутых склонов определяется по формуле

$$F_{ск} = F \cdot \cos \alpha, \quad (1.23)$$

где $F_{ск}$ - эффективное излучение для склонов; F - эффективное излучение для горизонтальной поверхности.

Таким образом, радиационный баланс для склонов определяется по формуле

$$R_{ск} = (S_{ск} + D_{ск}) \cdot (1 - A) - F_{ск}, \quad (1.24)$$

где A - альbedo подстилающей поверхности, для склонов разных экспозиций принимается таким же, как для ровного места; сумма $(S_{ск} + D_{ск})$ представляет собой коротковолновую солнечную радиацию, поступающую на искомый склон.

Для детальной оценки агроклиматических ресурсов на ограниченных территориях с холмистым и низкогорным рельефом наибольший интерес представляют сведения о дневных суммах суммарной радиации (ΣQ_c) и ФАР ($\Sigma Q_{фс}$), поступающих на склоны разной экспозиции и крутизны. Дневные суммы суммарной радиации для склонов рассчитываются с достаточной степенью точности по изотропному приближению для рассеянной и отраженной радиации с помощью формулы

$$\Sigma Q_c = \Sigma S_{ск} + \cos^2 \frac{\alpha}{2} \cdot \Sigma D + \sin^2 \frac{\alpha}{2} \cdot \Sigma R_k, \quad (1.25)$$

где $\Sigma S_{ск}$ - сумма прямой солнечной радиации, поступающая на склон; ΣD , ΣR_k - соответственно, рассеянная и отраженная радиации для горизонтальной поверхности.

Дневную сумму фотосинтетически активной радиации, поступающей на различные склоны ($\Sigma Q_{\phi c}$) можно рассчитать по приближенному уравнению

$$\Sigma Q_{\phi c} = 0,5(\Sigma S_{ck} + \cos^2 \frac{\alpha}{2} \cdot \Sigma D + \sin^2 \frac{\alpha}{2} \cdot R_k). \quad (1.26)$$

Расчеты характеристик солнечной радиации, поступающей на склоны различной экспозиции и крутизны по формулам (1.20 – 1.24) очень трудоемки. Но они значительно упрощаются, если использовать относительные характеристики, которые выражают отношение суточной суммы солнечной радиации, поступающей на склоны к суточной сумме радиации, поступающей на горизонтальную поверхность (ровное место). Голубовой Т.А. [20] были определены переходные коэффициенты для расчета месячных сумм прямой радиации (ΣS_{ck}) и радиационного баланса (ΣR_{ck}), поступающих на склоны в виде

$$K_S = \frac{\Sigma S_{ck}}{\Sigma S}; \quad K_R = \frac{\Sigma R_{ck}}{\Sigma R}. \quad (1.27)$$

Переходные коэффициенты K_S и K_R были определены для северных, южных, западных и восточных склонов крутизной 10°, 20° для каждого месяца с апреля по сентябрь в пределах 44 – 66° с.ш. применительно к территории бывшего СССР.

С помощью этих коэффициентов, а также данных "Справочника по климату СССР" по действительным месячным суммам прямой радиации и суммам радиационного баланса, поступающих на горизонтальную поверхность, можно рассчитать ΣS_{ck} и ΣR_{ck} по формулам вида

$$\Sigma S_{ck} = K_S \cdot \Sigma S; \quad \Sigma R_{ck} = K_R \cdot \Sigma R, \quad (1.28)$$

где ΣS_{ck} и ΣR_{ck} – суммы прямой солнечной радиации и суммы радиационного баланса, поступающих на склоны; ΣS и ΣR – то же на горизонтальную поверхность.

Переходные коэффициенты K_S и K_R зависят от широты места, экспозиции и крутизны склонов. Максимальные микроклиматические различия в приходе солнечной радиации наблюдаются между южными и северными склонами. В течении года южные склоны получают прямой радиации больше, а северные меньше чем горизонтальная поверхность. Западные и восточные склоны крутизной до 15 - 20° получают за день приблизительно столько или меньше прямой солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность. В теплую половину года в

связи с особенностями суточного хода облачности на большей части территории СНГ, в том числе Украине, приход солнечной радиации на склоны восточной экспозиции несколько больше, чем на склоны западной экспозиции. С увеличением крутизны склонов приход прямой радиации на южные склоны увеличивается, а на северные склоны уменьшается [55, 63]

Рассматривая в общем виде закономерности прихода прямой солнечной радиации на склоны разной экспозиции и крутизны, можно сделать следующее заключение. На Украине наибольший приход радиационного тепла наблюдается на южных склонах, потом идут юго-восточные, юго-западные, восточные склоны, горизонтальная поверхность, западные склоны, северо-восточные, северо-западные и северные склоны. Наибольшие микроклиматические различия в приходе солнечной радиации на склоны наблюдается на всех широтах весной и осенью, а наименьшие – в период летнего солнцестояния.

Те же закономерности сохраняются в перераспределении месячных сумм радиационного баланса в сезонном разрезе (весна, лето, осенью между южными и северными склонами в сравнении с горизонтальной поверхностью, т.е. ровным местом [55]. А именно, на всех широтах радиационный баланс на южных склонах крутизной 5 – 20° весной и осенью на 15 – 33% и 33 – 45% больше, а северные склоны той же крутизны на 19 – 33% и 35 – 50% меньше величины радиационного баланса для горизонтальной поверхности.

Позднее Т.А. Голубовой и З.А. Мищенко [20], используя теоретические формулы 1.25 и 1.26, разработали переходные коэффициенты для перерасчета сумм суммарной радиации (ΣQ) и сумм ФАР с горизонтальной поверхности на северные, южные, западные и восточные склоны крутизной 5°, 10°, 15° и 20°. Переходные коэффициенты K_Q определены для каждого месяца с марта-апреля по сентябрь – октябрь по данным многолетних наблюдений на 98 актинометрических станциях применительно к территории СНГ.

Эти коэффициенты представляют собой отношение сумм суммарной радиации на искомом склоне к сумме суммарной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность в виде

$$K_Q = \frac{\Sigma Q_c}{\Sigma Q}, \quad (1.29)$$

где ΣQ_c – средние многолетние значения месячных сумм суммарной радиации, поступающей на склоны, вычисленные для разных широт по формуле (1.25); ΣQ – средние многолетние значения месячных сумм

суммарной радиации для горизонтальной поверхности, рассчитанные по данным актинометрических станций.

Результаты этой работы не в полном объеме представлены в табл. 1.11 и 1.12. В них содержатся значения переходных коэффициентов K_Q , которые изменяются в зависимости от широты места и сезонов года (весна, лето, осень) на территории Молдовы и Украины. Наибольшие микроклиматические различия имеют место в приходе суммарной радиации за день на южных и северных склонах. Во все сезоны года на южные склоны поступает больше суммарной радиации, а на северные меньше чем на горизонтальную поверхность. Весной изменчивость в приходе суммарной радиации на склоны составляет на 45° с.ш. 20 – 25%, а на 60° с.ш. – 30 – 33%. В период летнего солнцестояния микроклиматическая изменчивость в приходе суммарной радиации на склоны не превышает 9 – 14%.

Установлено, что соотношения сумм фотосинтетически активной радиации, поступающих на склоны ($\Sigma Q_c, \Sigma Q_{\phi c}$) близки между собой, т.е.

$$\frac{\Sigma Q_c}{\Sigma Q} = \frac{\Sigma Q_{\phi c}}{\Sigma Q_{\phi}} . \quad (1.30)$$

Следовательно, агроклиматические расчеты сумм суммарной радиации и сумм ФАР на склонах можно выполнить, используя коэффициент K_Q по формулам вида:

$$\Sigma Q_c = \Sigma Q \cdot K_Q; \quad \Sigma Q_{\phi c} = \Sigma Q_{\phi} \cdot K_Q . \quad (1.31)$$

Агроклиматическая оценка энергетических ресурсов в конкретном пункте или отдельном хозяйстве выполняется по суммам суммарной радиации и суммам ФАР за теплый период с T_c или T_d выше 5, 10, 15 $^\circ\text{C}$, которые рассчитываются каждого местоположения. Для горизонтальной поверхности формула имеет вид

$$\Sigma Q' = (\Sigma Q_{IV} + \Sigma Q_{IV} + \dots + \Sigma Q_X , \quad (1.32)$$

где $\Sigma Q'$ – сумма суммарной радиации за теплый период для открытого ровного места; ΣQ_{IV} , ΣQ_V и до ΣQ_X – месячные суммы суммарной радиации с апреля по октябрь.

Для склонов конкретной экспозиции и крутизны ($\Sigma Q'_c$) расчеты производятся аналогичным способом по формуле

$$\Sigma Q'_c = (\Sigma Q_{cIV} + \Sigma Q_{cV} + \dots + \Sigma Q_{cX}) \quad (1.33)$$

Таблица 1.11. Переходные коэффициенты для расчета месячных сумм суммарной радиации (ΣQ_c) на южных склонах в Украине

Широта, градус	месяц						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Южный склон 5°							
44	1,02	1,01	1,00	1,01	1,02	1,04	1,08
46	1,03	1,01	1,00	1,01	1,02	1,04	1,08
48	1,03	1,01	1,00	1,01	1,02	1,04	1,09
50	1,03	1,01	1,00	1,01	1,02	1,04	1,09
52	1,04	1,02	1,01	1,01	1,03	1,05	1,10
Южный склон 10°							
44	1,04	1,02	1,00	1,00	1,04	1,08	1,14
46	1,05	1,02	1,00	1,01	1,04	1,08	1,15
48	1,05	1,02	1,00	1,00	1,04	1,08	1,16
50	1,05	1,02	1,00	1,01	1,04	1,08	1,17
52	1,05	1,03	1,01	1,02	1,06	1,09	1,19
Южный склон 15°							
44	1,05	1,02	0,99	1,00	1,05	1,11	1,14
46	1,06	1,02	0,99	1,01	1,05	1,11	1,18
48	1,06	1,02	1,00	1,01	1,05	1,12	1,19
50	1,06	1,02	1,00	1,01	1,05	1,12	1,21
52	1,06	1,02	1,00	1,01	1,05	1,14	1,25
Южный склон 20°							
44	1,06	1,02	0,98	1,00	1,06	1,15	1,26
46	1,07	1,02	0,99	1,01	1,06	1,15	1,28
48	1,08	1,02	1,00	1,01	1,06	1,16	1,30
50	1,08	1,03	1,00	1,01	1,06	1,16	1,32
52	1,08	1,03	1,00	1,02	1,06	1,17	1,34

Таблица 1.12. Переходные коэффициенты для расчета месячных сумм суммарной радиации (ΣQ_c) на северных склонах в Украине

Широта, градус	месяц						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Северный склон 5°							
44	0,97	0,98	0,98	0,98	0,97	0,95	0,91
46	0,97	0,98	0,98	0,98	0,97	0,95	0,90
48	0,96	0,97	0,98	0,98	0,97	0,94	0,89
50	0,96	0,97	0,98	0,98	0,97	0,94	0,88
52	0,94	0,95	0,98	0,97	0,95	0,92	0,84
Северный склон 10°							
44	0,94	0,96	0,96	0,96	0,94	0,89	0,82
46	0,93	0,95	0,96	0,96	0,94	0,89	0,81
48	0,92	0,94	0,96	0,96	0,94	0,88	0,80
50	0,92	0,94	0,96	0,96	0,94	0,88	0,79
52	0,90	0,91	0,94	0,94	0,92	0,87	0,78
Северный склон 15°							
44	0,90	0,93	0,94	0,93	0,90	0,82	0,80
46	0,89	0,92	0,94	0,93	0,90	0,82	0,79
48	0,88	0,92	0,94	0,93	0,90	0,81	0,75
50	0,87	0,92	0,93	0,93	0,89	0,80	0,74
52	0,85	0,90	0,92	0,91	0,87	0,78	0,72
Северный склон 20°							
44	0,86	0,90	0,92	0,91	0,86	0,75	0,58
46	0,85	0,90	0,92	0,91	0,86	0,75	0,56
48	0,84	0,90	0,92	0,90	0,86	0,75	0,56
50	0,82	0,90	0,91	0,90	0,85	0,75	0,56
52	0,78	0,88	0,90	0,88	0,82	0,70	0,54

Суммы ФАР за теплый период для горизонтальной поверхности и различных склонов рассчитываются по формулам вида:

$$\Sigma Q'_{\phi} = 0,5 \Sigma Q'; \quad \Sigma Q'_{\phi c} = 0,5 \Sigma Q'_c \quad (1.34)$$

Изложенная методика агроклиматических расчетов характеристик солнечной радиации для ровного места и склонов разной экспозиции и крутизны позволяет детально оценить пространственную изменчивость их на ограниченных территориях. Картографирование этих показателей на морфометрической основе может служить научной основой для осуществления микрорайонирования сельскохозяйственных культур на сортовом уровне в пределах небольшого района или отдельного хозяйства.

1.5. Оценка мезо и микроклиматической изменчивости суммарной радиации и ФАР на склонах

Представляет научный и практический интерес количественная оценка суммарной радиации и сумм ФАР, поступающих на склоны различной экспозиции и крутизны за теплый период с T_c выше 10 °С, что важно для оптимизации размещения не только винограда, но и других теплолюбивых культур. Такие оценки получены рядом авторов для отдельных районов на территории СНГ, а также дальнего зарубежья. Они свидетельствуют о значительной микроклиматической изменчивости месячных сумм прямой и суммарной радиации на склоновых землях.

Для территории Украины в целом подобного рода исследования до последнего времени не проводились за исключением Южного берега Крыма. Для этой территории, прижатой Крымскими горами к побережью Черного моря Д.И. Фурса [106] рассчитала суточные суммы прямой и суммарной солнечной радиации, приходящих на склоны различной экспозиции крутизной 10, 20, 30° за отдельные месяцы с января по декабрь. Она выявила существенные различия в суммах ФАР за период вегетации винограда, произрастающего на южных склонах крутизной 10, 20, 30° по сравнению с ровным местом.

В данной работе ставится более широкая задача – выполнить количественную оценку микроклиматической изменчивости ΣQ и ΣQ_{ϕ} за теплый период с T_c выше 10 °С на северных, южных, западных и восточных склонах (С, Ю, З, В), а также промежуточных экспозиций – СЗ, СВ, ЮЗ, ЮВ крутизной 5, 10, 15, 20° с привязкой к выделенным на вышеуказанной агроклиматической карте (Рис. 1.2 табл. 1.6) макрорайонам в пределах территории Украины. Результаты расчетов не в полном объеме представлены в табл. 1.13 и 1.14.

Таблица 1.13 Суммы суммарной радиации ΣQ_c) и ФАР (ΣQ_{fc}) на северных и южных склонах разной крутизны (МДж/м²) за теплый период t_c выше 10 °С на территории Украины

Σ

Макрорайон, широта места, φ	Пара- метр	Северный склон, α				Ровное место	Южный склон, α			
		20	15	10	5		5	10	15	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Крайний северный холодный, (φ ≈ 52 ²⁰ -51 ¹⁵)	ΣQ_c	2236-	2279-	2366-	2483-	2600-	2652-	2704-	2717-	2730-
		2322	2411	2500	2600	2700	2740	2781	2808	2835
	ΣQ_{fc}	1118-	1139-	1183-	1242-	1300-	1326-	1352-	1358-	1365-
		1161	1206	1250	1300	1350	1370	1396	1404	1418
2. Северный, относительно холодный (φ ≈ 51 ¹⁰ -50 ¹⁵)	ΣQ_c	2322-	2403-	2484-	2592-	2700-	2740-	2781-	2808-	2835-
		2494	2595	2697	2798	2900	2943	2987	3016	3045
	ΣQ_{fc}	1161-	1202-	1242-	1296-	1350-	1370-	1390-	1404-	1418-
		1247	1297	1348	1399	1450	1472	1494	1508	1522
3. Центральный прохладный (φ ≈ 50 ¹⁵ -47 ⁴⁵)	ΣQ_c	2494-	2566-	2639-	2770-	2900-	2972-	3045-	3103-	3161-
		2697	2759	2821	2960	3100	3178	3255	3317	3379
	ΣQ_{fc}	1247-	1283-	1319-	1385-	1450-	1486-	1522-	1551-	1580-
		1348	1379	1410	1480	1550	1584	1627	1658	1689

Продолжение таблицы 1.13

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4. Центральный, теплый ($\varphi \approx 47^{45}-47^{20}$)	ΣQ_c	2542-	2682-	2821-	2960-	3100-	3178-	3255-	3317-	3379-
		2706	2854	3003	3152	3300	3382	3465	3531	3597
	$\Sigma Q_{\text{фс}}$	1271-	1341-	1410-	1480-	1550-	1584-	1628-	1658-	1684-
		1353	1427	1502	1576	1650	1691	1732	1766	1797
5. Южный теплый ($\varphi \approx 47^{20}-46^{15}$)	ΣQ_c	2706-	2854-	3003-	3152-	3300-	3382-	3465-	3531-	3597-
		2870	3045	3220	3360	3500	3588	3675	3728	3780
	$\Sigma Q_{\text{фс}}$	1353-	1427-	1502-	1576-	1650-	1691-	1732-	1766-	1898-
		1435	1522	1610	1680	1750	1794	1832	1864	1890
6. Южный, очень теплый ($\varphi \approx 45^{30}-45^{10}$)	ΣQ_c	2870-	3045-	3220-	3360-	3500-	3588-	3675-	3728-	3780-
		3034	3219	3404	3552	3700	3792	3885	3940	3996
	$\Sigma Q_{\text{фс}}$	1435-	1522-	1610-	1680-	1750-	1794-	1837-	1864-	1890-
		1517	1609	1702	1776	1850	1896	1942	1970	1998
7. Южный, жаркий ($\varphi \approx 45^{10}-44^{15}$)	ΣQ_c	2849-	3071-	3293-	3496-	3700-	3792-	3885-	4014-	4144-
		2926	3173	3420	3610	3800	3959	4118	4168	4218
	$\Sigma Q_{\text{фс}}$	1424-	1535-	1646-	1748-	1850-	1896-	1942-	2017-	2072-
		1463	1586	1710	1805	1900	1979	2059	1084	2109

Наглядно видно, что наибольшие различия в приходе суммарной радиации и ФАР наблюдаются на северных и южных склонах. Во все сезоны года южные склоны получают солнечной радиации больше, а северные – меньше, чем горизонтальная поверхность. Микроклиматические различия в месячных суммах суммарной радиации и ФАР возрастают с увеличением широты места и крутизны склонов, достигая максимальных значений в северных районах Украины.

Весной и осенью различия в приходе суммарной радиации и ФАР на склоны по сравнению с горизонтальной поверхностью выражены максимально. Например, весной на северных склонах крутизной 10 - 20° наблюдается недобор солнечного тепла, равный 7 – 14% на 44° с.ш. и 8 – 18% - на 52° с.ш. Южные склоны той же крутизны получают прибавку солнечного тепла на 5 – 7% на 44° с.ш. и на 5 – 11% - на 52° с.ш. (первые цифры характеризуют склоны крутизной 10°, вторые - 20°). На южных склонах приход тепла возрастает на 8 – 15% на 44° с.ш. и на 8 – 16% на 52° с.ш. Во время летнего солнцестояния различие в приходе суммарной радиации на склоны выравнивается. А именно прибавка солнечного тепла на южных склонах не превышает 1 – 5%, а недобор солнечного тепла на северных склонах составляет 4 – 11%.

Для восточных и западных склонов крутизной 5° переходный коэффициент K_Q близок к единице, то есть приход суммарной радиации и ФАР на них почти не отличается от горизонтальной поверхности. Приход солнечного тепла на восточные склоны крутизной 10° также почти не отличается от его поступления на горизонтальную поверхность. Западные склоны крутизной 10° получают на 2 – 3% радиации меньше, чем горизонтальная поверхность. Восточные склоны крутизной 20° недополучают до 4 – 5% тепла, а недобор тепла на западных склонах 20° крутизной доходит до 6 – 7%. В целом за теплый период с T_c выше 10 °С суммы суммарной радиации и ФАР на восточных склонах несколько превышают соответствующие суммы на западных склонах [20, 55].

На территории Украины суммы суммарной радиации и суммы ФАР за теплый период с T_c выше 10 °С, поступающие на склоны различной ориентации и горизонтальную поверхность распределяются следующим образом. Самыми теплыми являются южные склоны (Ю), затем следуют юго-восточные (ЮВ), юго-западные (ЮЗ), восточные (В) склоны, горизонтальная поверхность (РМ), западные (З), северо-восточные (СВ), северо-западные (СЗ), и северные склоны (С). В пределах каждого макрорайона имеет место большая пестрота энергетических ресурсов на равнинных и склоновых землях. В табл. 1.13 дана количественная оценка ΣQ и ΣQ_{ϕ} для ровного места и ΣQ_c и $\Sigma Q_{\phi c}$ для северных и южных склонов с привязкой к агроклиматической карте (рис 1.2).

Например, на крайнем севере Украины (макрорайон 1) суммы суммарной радиации и ФАР составляют, соответственно на горизонтальной поверхности менее 2600 и 1300 МДж/м². На северных склонах крутизной 10,

20° суммы суммарной радиации и ФАР не превышают 2500 и 2300 МДж/м², 1250 и 1150 МДж/м². На южных склонах той же крутизны суммы суммарной радиации и ФАР заметно увеличиваются и составляют соответственно 2780 и 2835 МДж/м², 1390 и 1418 МДж/м². В центральном теплом макрорайоне 4 приход солнечного тепла заметно возрастает. Суммы суммарной радиации и ФАР на горизонтальной поверхности составляют соответственно 3100 – 3300 и 1550 и 1650 МДж/м². На северные склоны крутизной 10, 20° поступает соответственно 2800 – 3000 и 2550 – 2700 МДж/м², а на южные склоны соответственно 3250 – 3450 и 3380 и 3600 МДж/м².

На Южном берегу Крыма (макрорайон 7) суммы суммарной радиации и ФАР за теплый период с T_c выше 10 °С значительно увеличиваются во всех местоположениях. А именно, приход ΣQ и ΣQ_{ϕ} на горизонтальную поверхность составляют соответственно 3700 – 3800 МДж/м² и 1850 и 1900 МДж/м². На северных склонах крутизной 10, 20° суммы суммарной радиации и ФАР не превышают, соответственно, 330 – 3400, 2850 – 2930 и 1650 – 1700, 1425 – 1465 МДж/м². На южных склонах той же крутизны суммы суммарной радиации и ФАР возрастают соответственно до 3900 – 4120, 4140 – 4200 и 1950 – 2060, 2070 – 2100 МДж/м².

Следовательно, реальная географическая изменчивость сумм суммарной радиации и сумм ФАР за теплый период в пределах всей Украины значительно больше фоновой, изображенной на карте для условий открытого ровного места. Крайними минимальными и максимальными значениями сумм суммарной радиации и ФАР являются: в первом макрорайоне северные склоны крутизной 20° равные 2230 и 1115 МДж/м², в 7 макрорайоне – южные склоны крутизной 20° и более равные 4200 и 2100 МДж/м². Таким образом реальный диапазон зональной изменчивости ΣQ и ΣQ_{ϕ} с учетом микроклимата составляет для территории Украины не 1100 и 550 МДж/м², а 1970 и 985 МДж/м².

Количественная оценка микроклиматической изменчивости сумм суммарной радиации и сумм ФАР ($\Delta \Sigma Q, \Delta \Sigma Q_{\phi}$) на склонах относительно горизонтальной поверхности представлена в табл. 1.14. Значения микроклиматических параметров $\Delta \Sigma Q, \Delta \Sigma Q_{\phi}$ определялись в виде соответствующих разностей

$$\Delta \Sigma Q_c = \Sigma Q_c - \Sigma Q; \Delta \Sigma Q_{\phi c} = \Sigma Q_{\phi c} - \Sigma Q. \quad (1.35)$$

Наглядно видно, что микроклиматические различия в суммах суммарной радиации и суммах ФАР значительны и возрастают с увеличением крутизны склонов по мере продвижения с севера на юг Украины. Последнее обусловлено тем, что в этом направлении существенно возрастает интенсивность солнечной радиации и увеличивается продолжительность теплого периода с температурой воздуха выше 10 °С.

**Таблица 1.14 Микроклиматическая изменчивость сумм суммарной радиации и ФАР
($\Sigma Q, \Delta \Sigma Q_{\phi}$) за теплый период на северных и южных склонах Украины
по сравнению с открытым ровным местом (МДж/м²)**

Макрорайон, широта места ϕ	Пара- метр	Северный склон, α				Южный склон, α			
		20	15	10	5	5	10	15	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Крайний северный холодный, ($\phi \approx 52^{20}-51^{15}$)	$\Delta \Sigma Q_c$	-365,-380	-320,-290	-235,-200	-115,-100	+50-40	+105-80	+115-108	+135-135
	$\Delta \Sigma Q_{\phi c}$	-182,-190	-160,-145	-118,-100	-58,-50	+25-20	+52-40	+60-54	+65-68
2. Северный, относительно- холодный ($\phi \approx 51^{10}-50^{15}$)	$\Delta \Sigma Q_c$	-380,-405	-300,-305	-215,-205	-110,-100	+40-45	+80-90	+110-115	+135-145
	$\Delta \Sigma Q_{\phi c}$	-190,-202	-150,-152	-108,-102	-55,-50	+20-22	+40-45	+55-58	+68-72
3. Центральный прохладный ($\phi \approx 50^{15}-47^{45}$)	$\Delta \Sigma Q_c$	-405,-400	-335,-340	-260,-280	-130,-140	+70-80	+145-155	+205-220	+260-280
	$\Delta \Sigma Q_{\phi c}$	-202,-200	-168,-170	-130,-140	-65,-70	+35-40	+72-78	+102-110	+130-140

Продолжение таблицы 1.14

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4. Центральный теплый ($\varphi \approx 47^{45}-47^{20}$)	$\Delta\Sigma Q_c$	-560,-595	-420,-450	-280,-300	-140,-150	+80-85	+155-165	+215-230	+280-300
	$\Delta\Sigma Q_{\phi c}$	-280,-300	-210,-225	-140,-150	-70,-75	+40-42	+78-82	+108-115	+140-150
5. Южный теплый ($\varphi \approx 47^{20}-46^{15}$)	$\Delta\Sigma Q_c$	-595,-630	-445,-455	-300,-280	-150,-140	+80-90	+165-175	+230-225	+300-280
	$\Delta\Sigma Q_{\phi c}$	-298,-315	-222,-228	-150,-140	-75,-70	+40-45	+82-88	+115-112	+150-140
6. Южный, очень теплый ($\varphi \approx 45^{30}-45^{10}$)	$\Delta\Sigma Q_c$	-630,-665	-455,-480	-280,-300	-140,-150	+90-95	+175-185	+230-240	+280-295
	$\Delta\Sigma Q_{\phi c}$	-315,-332	-228,-240	-140,-150	-70,-75	+45-48	+88-92	+115-120	+140-148
7. Южный, жаркий ($\varphi \approx 45^{10}-44^{15}$)	$\Delta\Sigma Q_c$	-850,-875	-630,-625	-405,-380	-205,-190	+90-160	+185-320	+315-370	+445-420
	$\Delta\Sigma Q_{\phi c}$	-425,-438	-315,-312	-202,-190	-102,-85	+45-80	+92-160	+158-185	+222-210

Примечание. Знак "+" означает увеличение ΣQ и ΣQ_{ϕ} , а знак "-" уменьшение по сравнению с открытым ровным местом.

Выявлено, что повсеместно южные склоны получают прибавку солнечного тепла, а на северных склонах имеет место значительный недобор тепла за теплый период. Например, в северном макрорайоне 1 южные склоны крутизной 10, 20° получают прибавку в суммах суммарной радиации и ФАР в 80 – 135 и 40 – 68 МДж/м², а на северных склонах той же крутизны недобор солнечного тепла по сравнению с горизонтальной поверхностью составляет 380, 200 и 190, 100 МДж/м². На Южном берегу Крыма микроклиматические различия в поступлении солнечного тепла на разные склоны оказываются еще большими. А именно, южные склоны крутизной 10, 20° получают прибавку в суммах суммарной радиации и ФАР в 185 – 450 и 92 – 225 МДж/м². На северных склонах той же крутизны недобор солнечного тепла по сравнению с горизонтальной поверхностью возрастает до 900, 400 и 450, 200 МДж/м².

В природных условиях сложного рельефа часто встречаются склоны промежуточных экспозиций – ЮЗ, ЮВ, СЗ, СВ. Поэтому З.А. Мищенко [55] выполнила оценку микроклиматической изменчивости сумм суммарной радиации и сум ФАР за теплый период с T_c выше 10 °С и для этих местоположений. На рис. 1.3 представлены отклонения сумм суммарной радиации ($\Delta\Sigma Q$) на южных, юго-восточных, юго-западных, восточных, западных, северо-восточных, северо-западных и северных склонах по сравнению с открытым ровным местом. Наглядно видно, что диапазон микроклиматических различий значителен не только для северных и южных склонов, но и склонов промежуточных экспозиций – ЮЗ, ЮВ, СЗ, СВ.

Таким образом, по уровню обеспеченности солнечным теплом различных склонов можно выделить следующие типы микроклиматических местоположений в сложном рельефе применительно к растениеводству и плодоводству.

1. Южные склоны крутизной 5, 10, 15, 20°.
2. Юго-восточные склоны крутизной 5, 10, 15, 20°.
3. Юго-западные склоны, крутизной 5, 10, 15, 20°.
4. Равнинные земли с уклоном 0 3°.
5. Восточные склоны крутизной 5, 10, 15, 20°.
6. Западные склоны крутизной 5, 10, 15, 20°.
7. Северо-восточные склоны крутизной 5, 10, 15, 20°.
8. Северо-западные склоны крутизной 5, 10, 15, 20°.
9. Северные склоны крутизной 5, 10, 15, 20°.

В параграфе 1.3.2 даны рекомендации по оптимизации размещения винограда, кукурузы и подсолнечника в зональном разрезе на равнинных землях Украины. Однако в пределах каждого макрорайона следует учитывать влияние микроклимата. Например, при размещении винограда для местного использования в макрорайонах 1, 2 следует отдать

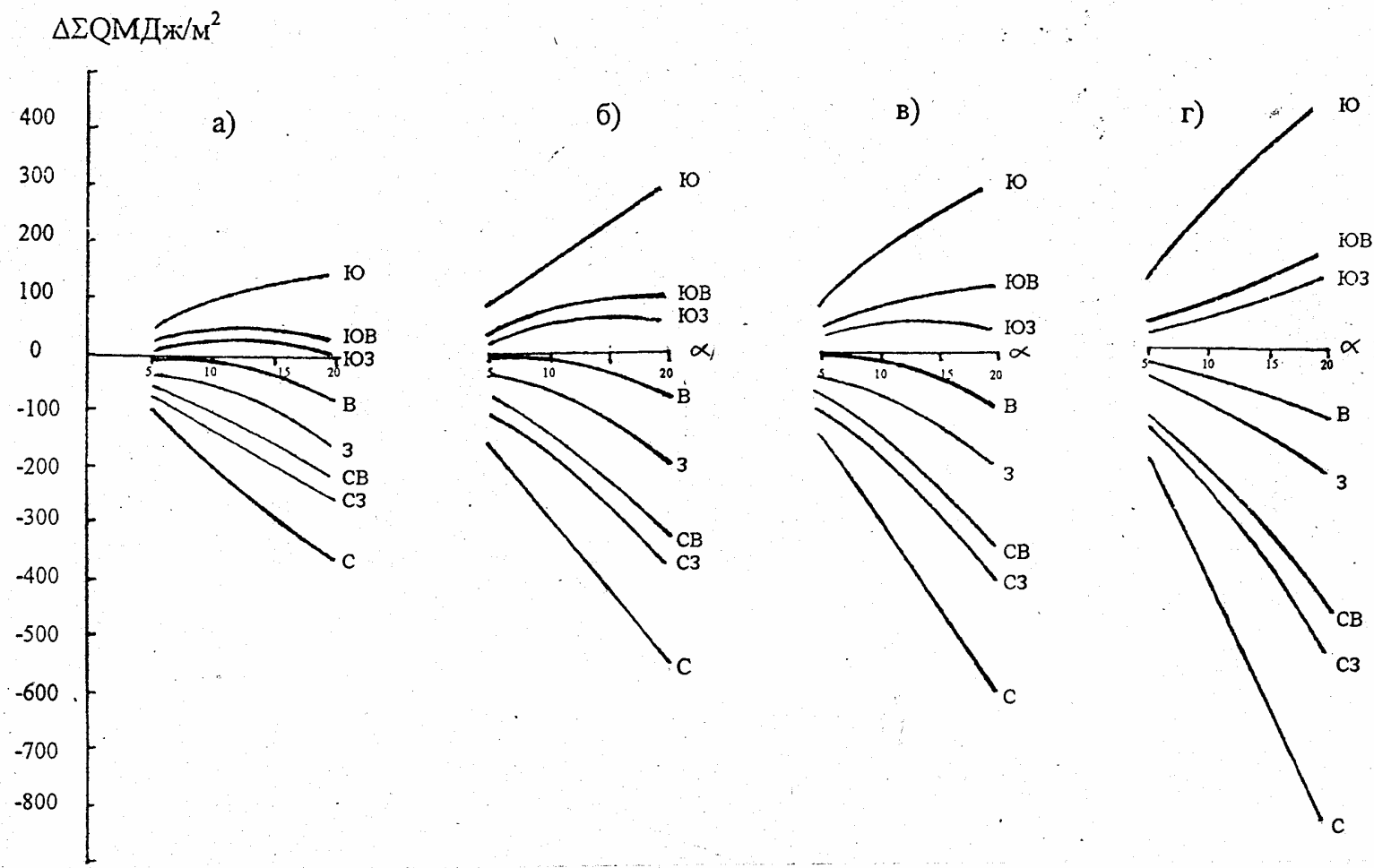


Рис. 1.3 Отклонения сумм суммарной радиации ($\Delta\Sigma Q$) за теплый период с T_c выше 10°C на склонах различной экспозиции и крутизны по сравнению с ровным местом в Украине. Макрорайоны: а) – крайний северный, холодный (1); б) – центральный, теплый (4); в) – южный теплый (5); г) – южный жаркий (7).

предпочтение местоположениям 1, 2, 3 на склонах крутизной 8 - 12° с супесчаными легкосуглинистыми почвами. В макрорайоне 3 предпочтение следует отдать местоположениям 1, 2, 3, 4, т.е. склонам крутизной 6 - 10° и равнинным землям. В макрорайонах 4 – 5 , помимо равнинных земель виноград можно успешно возделывать на склонах (местоположения 1, 2, 3, 5, 6). На юге страны в макрорайонах 6, 7 весьма благоприятными для выращивания винограда являются местоположения 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

На основе выполненных научных разработок можно сделать следующее заключение. Микроклиматическая изменчивость сумм суммарной радиации и сумм ФАР за теплый период с T_c выше 10 °С в пределах отдельного хозяйства площадью 2 – 3 тысячи гектар с холмистым или низкогорным рельефом сравнима и даже и перекрывает зональное изменение этих показателей на значительной территории всей Украины. Поэтому выявленную закономерность следует учитывать в региональных моделях "Климат – урожай". Кроме того, детальный учет суммарной радиации и ФАР на склонах позволяет выявить различную степень ценности участков и дать микроклиматическое обоснование для рационального их использования под виноград, плодовые и другие сопутствующие культуры.

2. АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ТЕПЛОВЫХ РЕСУРСОВ ДНЯ И НОЧИ С УЧЕТОМ МИКРОКЛИМАТА

2.1. Термопереодизм растений и его учет в оценке тепловых ресурсов

Одним из наиболее важных биоклиматических показателей, определяющих характер и интенсивность многих процессов, происходящих в органической природе, является показатель теплообеспеченности. В настоящее время для оценки тепловых ресурсов в применении к растительному миру широко используется средняя суточная температура воздуха на уровне будки и ее суммы, подсчитанные разным способом. Это позволяло и позволяет решать важные теоретические и практические задачи, направленные на обслуживание сельскохозяйственного производства. Достаточно сказать, что суммы активных температур воздуха успешно использовались при общем и специализированном агроклиматическом районировании территории бывшего СССР или крупных ее частей, а также в моделях "Погода - урожай" [1, 4, 53, 89, 95, 102].

Общим для сумм "активных" и "эффективных" температур воздуха является то, что эти суммы подсчитываются по средним суточным температурам воздуха. Вместе с тем известно, что рост, развитие и урожай растений зависит не только от среднего уровня температуры, но и от того, как меняется этот уровень днем и ночью. Поэтому сумма температур, подсчитанная по средним суточным температурам воздуха (ΣT_c) дает лишь приближенное представление о действительном распределении тепла в течении суток, и, следовательно, не может служить надежным показателем теплообеспеченности культурных растений.

К недостаткам средней суточной температуры воздуха (T_c) и её сумм относится то, что в этих показателях сглаживается суточный ход температуры воздуха. Они не чувствительны к степени континентальной климата и к микроклимату. Г.Т. Селянинов [94], П.И. Колосков [41] и ряд других ученых признавали несовершенство средней суточной температуры воздуха и считали необходимым введение новых показателей термических ресурсов, в которых бы учитывалась суточная ритмика температур днем и ночью.

Суточный ход температуры воздуха является важным климатическим показателем, хорошо отражающим воздействие основных факторов климатообразования (солнечной радиации, атмосферной циркуляции и подстилающей поверхности). Влияние суточного хода температуры воздуха на жизнь дикой и культурной растительности

очень велико, особенно в теплое время года, когда различия в термическом режиме дня и ночи наиболее значительно выражены как в зональном разрезе, так и под влиянием микроклимата. Его основными характеристиками являются: максимальная и минимальная температура воздуха ($T_{\text{макс}}$, $T_{\text{мин}}$), суточная амплитуда температуры воздуха (A_T) средняя дневная и средняя ночная температуры воздуха (T_D, T_N).

За последние 20–30 лет учеными стран СНГ, а также ряда стран Европы и Канады выполнены экспериментальные исследования, обосновывающие необходимость отдельного учета термического режима в дневные и ночные часы суток в связи с изучением термопериодизма, то есть влияния суточных колебаний температуры воздуха на рост и развитие культурных растений, а также их продуктивность. Убедительно показано, что средняя суточная температура воздуха (T_c) не может быть показателем скорости развития растений. Несоответствие темпов развития культурных растений с традиционным термическим показателем объясняется тем, что у растений длинного дня процессы развития протекают в основном в дневные часы, а у растений короткого дня – в темноте. Поэтому у растений длинного дня темпы развития ускоряются при повышенных дневных температурах воздуха, а у растений короткого дня – при повышенных ночных температурах [63, 71, 111, 114].

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

По-видимому, по этой причине происходит существенное сокращение вегетационного периода многих культурных растений при продвижении с запада на восток территории СНГ. В качестве примера в табл. 2.1 представлена продолжительность вегетационного периода яровой пшеницы и термические характеристики по многолетним данным ряда сортоучастков, расположенных на разной долготе.

Ускорение развития яровой пшеницы в направлении с запада на восток связано с увеличением сумм дневных и уменьшением сумм ночных

Таблица 2.1. Продолжительность вегетационного периода яровой пшеницы и термические характеристики на разной долготе

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

температур воздуха и соответственно с возрастанием суточной амплитуды температуры воздуха. Наглядно видно, что на сортоучастках, находящихся в Восточной Сибири и в Забайкалье с резко континентальным климатом, яровая пшеница ускоряет темпы развития на 10 – 15 дней по сравнению с западными районами ЕЧ СНГ, находящимися на той же широте. Незначительные изменения сумм эффективных (выше 5°C) средних суточных температур воздуха не позволяют вскрыть причину неравномерного развития пшеницы на западе и востоке СНГ.

К настоящему времени для многих культурных растений рядом авторов определены оптимальные значения средних дневных и средних ночных температур воздуха, способствующих ускорению скорости их развития и получению урожаев высокого качества. В табл. 2.2 представлены оптимальные значения T_d и T_n отдельно в вегетативный и репродуктивный периоды развития. Как правило, в оба периода развития растения нуждаются в более высоких дневных и пониженных (в 1,5 – 2,5 раза) ночных температур воздуха. В репродуктивный период зерновые культуры нуждаются в более высоких дневных и ночных температурах. Например, озимая пшеница нуждается в вегетативный период в T_d и T_n , равных $17 - 19^\circ\text{C}$ и $6 - 8^\circ\text{C}$, а в репродуктивный – соответственно $22 - 24^\circ\text{C}$ и $9 - 11^\circ\text{C}$. Для кукурузы оптимальными T_d и T_n являются в

Таблица 2.2. Оптимальные средние дневные и средние ночные температуры воздуха для различных культурных растений (°C)

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

вегетативный период 22 – 24 °C и 10 – 12 °C, а в репродуктивный соответственно 24 – 26 °C и 14 – 16 °C.

В ранее опубликованных работах З.А. Мищенко [58, 63, 71, 114] дано физическое обоснование к использованию термических показателей дня и ночи ($\bar{T}_{\text{д}}$, $\bar{T}_{\text{н}}$) и суточной амплитуды температуры воздуха (A_T) для агроклиматической оценки климата. Разработаны методы их расчетов и составлена серия агроклиматических карт распределения $\bar{T}_{\text{д}}$, $\bar{T}_{\text{н}}$, A_T в отдельные месяцы теплого периода года на территории бывшего СССР. Установлено, что, например, в июле суточная амплитуда температуры воздуха увеличивается в направлении с севера на юг и юго-восток от 4 °C до 18 °C, изменяясь по территории более чем в 4 раза.

Для агроклиматической оценки тепловых ресурсов территории ею предложены климатические суммы активных дневных и ночных температур воздуха выше 5, 10 °C и разработаны методы их расчетов.

Определены также биоклиматические $\Sigma T_{об}$, $\Sigma T_{ноб}$ для основных сельскохозяйственных культур с целью оценки их теплообеспеченности.

2.2. Методы расчетов показателей термического режима и тепловых ресурсов дня и ночи

Основными показателями теплового режима в биологически активном слое приземного слоя воздуха являются следующие: средняя дневная и средняя ночная температуры ($\bar{T}_д$, $\bar{T}_н$); продолжительность теплого периода с $T_д$, $T_н$ выше 5, 10 °С ($N_д$, $N_н$); сумма активных дневных и ночных температур воздуха выше 5, 10 °С ($\Sigma T_д$, $\Sigma T_н$). Преимущество этих показателей перед традициями (T_c , ΣT_c , $N_{тп}$) заключается в том, что в них учитывается воздействие суточного хода температуры и изменчивость длины дня и ночи в географическом разрезе.

Однако до настоящего времени возможности использования режимного материала по $T_д$, $T_н$ и их суммам весьма ограничены тем, что в справочных книгах по климату такие данные отсутствуют. Поэтому З.А. Мищенко разработаны методы прямого и косвенных расчетов дневных и ночных температур воздуха. Для получения массовых материалов по $T_д$, $T_н$ за каждый месяц с апреля по октябрь использованы данные многолетних наблюдений на 600 метеорологических станциях за суточным ходом температуры воздуха, а также данные по среднему максимуму (T_{max}) и среднему минимуму (T_{min}) температуры воздуха из «Справочников по климату СССР [98].

Прямой метод расчета $T_д$, $T_н$ заключается в непосредственном использовании многолетних данных наблюдений за суточным ходом температуры воздуха и вычислении средних величин из ежечасных значений температуры за период от восхода до захода солнца ($T_в + \dots + T_з$) и соответственно средних из ежечасных значений температуры за период от захода до восхода солнца ($T_з + \dots + T_в$) в виде

$$T_д = \frac{(T_в + \dots + T_з)}{n_д}, \quad (2.1)$$

$$T_н = \frac{(T_з + \dots + T_в)}{n_н}, \quad (2.2)$$

где $n_д$ - число часов за день от восхода до захода солнца; $n_н$ - число часов за ночь от захода до восхода Солнца.

Как правило, в теплое время года разрушение инверсий температуры воздуха в утренние часы происходит при высоте солнца 10 – 15 °С, то есть на 40-60 мин позднее времени восхода солнца, а время наступления инверсий – в вечерние часы за 40-60 мин до захода солнца. Поэтому время восхода и захода солнца округлялось до целого часа путем учета времени разрушения и установления температурных инверсий в утренние и вечерние часы. Такой подход физически и биологически вполне оправдан, так как после разрушения инверсий утром устанавливается дневной (инсоляционный) тип процессов теплообмена в приземном слое воздуха с характерным для него профилем температуры и с максимальным прогреванием на уровне деятельной поверхности. С наступлением температурной инверсии вечером устанавливается ночной тип распределения температуры, при котором в результате радиационного выхолаживания деятельная поверхность, в том числе растительные сообщества, оказываются холоднее прилежащих слоев воздуха. Отличительной чертой вычисленных по формулам 2.1 и 2.2 средних многолетних значений T_{∂} , T_n является то, что в них учитывается изменчивость длины дня и ночи.

На рис. 2.1 по данным 80 станций, равномерно освещающих территорию бывшего СССР, представлена расчетная номограмма изменения продолжительности дня N_{∂} и ночи N_n (часы) в зависимости от широты места и времени года. Наглядно видно по кривым, расходящимся веером, что максимальные различия в длине дня и ночи во все месяцы, кроме октября, наблюдаются в высоких широтах. Например, на широте 65° в июне продолжительность дня превышает 21 час, а ночь длится не более 3 часов. Наименьшие контрасты наблюдаются в пределах широт 45 – 50°, где длина дня составляют 13–15 часов, а продолжительность ночи не превышает 9–11 часов.

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

Определение T_{∂} , T_n прямым способом является трудоемкой операцией. Поэтому в целях упрощения расчетов З. А. Мищенко

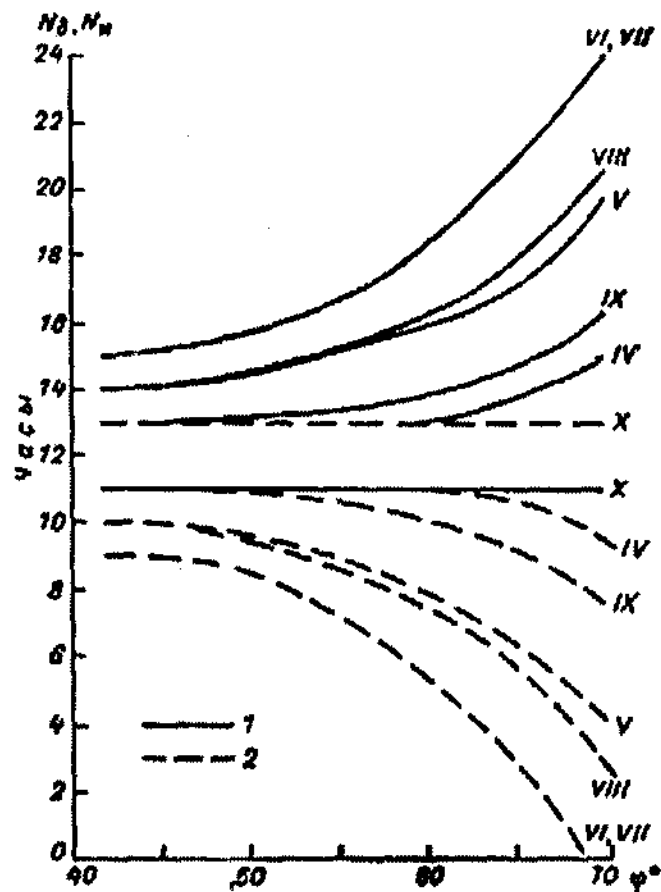


Рис.2.1.Изменение продолжительности дня и ночи в часах в зависимости от широты места: 1– продолжительность дня N_d ; 2– продолжительность ночи N_n

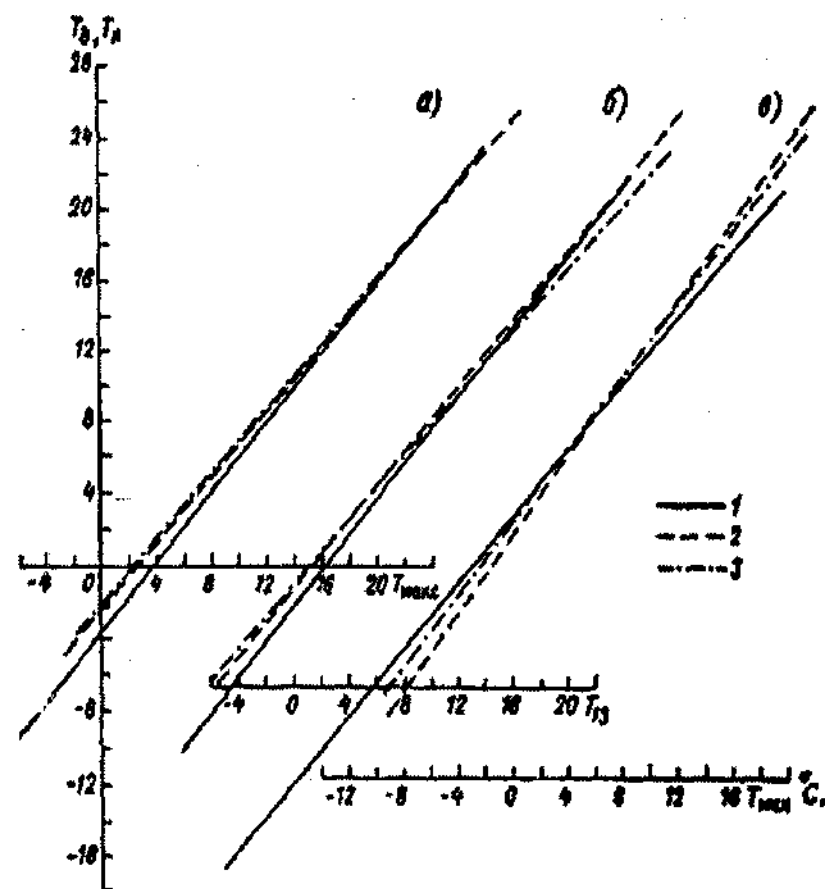


Рис. 2.2. Теоретические линии зависимости между термическими показателями дня и ночи: T_0 и T_{\max} (а), T_0 и T_{13} (б) T_n и T_{\min} (в). 1 — май; 2 — июль; 3 — сентябрь

разработаны косвенные методы определения T_{∂} , T_n , основанные на использовании массовых данных по известным климатическим показателям. Составлена серия графиков зависимости между T_{∂} и средним максимумом температуры воздуха ($T_{\text{макс}}$), T_{∂} и температурой в 13 часов, T_n и средним минимумом температуры ($T_{\text{мин}}$) за каждый месяц с апреля по октябрь. Рассчитаны уравнения линейной регрессии и статистические параметры к ним.

Результаты расчетов представлены в табл. 2.3 и 2.4, из которых видно, что коэффициенты корреляции (r) связей T_{∂} с $T_{\text{макс}}$ и T_n с $T_{\text{мин}}$ остаются во все месяцы высокими, а средние квадратические ошибки коэффициентов корреляции $\sigma_r = \frac{1-r^2}{\sqrt{n}}$ и вероятные ошибки $E_r = 0,67\sigma_r$ весьма малы.

Таблица 2.3. Статистические параметры уравнений связи T_{∂} с $T_{\text{макс}}$ и их точность

Месяц	r	σ_r	ε_r	σ_{∂}	$\sigma_{\text{макс}}$	$T_{\partial} = aT_{\text{макс}} + b$	\bar{S}_y
Апрель	0,98	0,002	0,0013	6,6	6,7	$T_{\partial} = 0,96T_{\text{макс}} - 3,5$	$\pm 1,2$
Май	0,99	0,001	0,0006	6,6	7,0	$T_{\partial} = 0,93T_{\text{макс}} - 3,1$	$\pm 0,9$
Июнь	0,98	0,002	0,0013	5,4	5,8	$T_{\partial} = 0,91T_{\text{макс}} - 2,5$	$\pm 1,1$
Июль	0,97	0,003	0,0020	5,1	5,4	$T_{\partial} = 0,91T_{\text{макс}} - 2,2$	$\pm 1,2$
Август	0,99	0,001	0,0006	5,3	5,4	$T_{\partial} = 0,97T_{\text{макс}} - 3,2$	$\pm 0,7$
Сентябрь	0,98	0,002	0,0013	5,5	6,0	$T_{\partial} = 0,90T_{\text{макс}} - 2,0$	$\pm 1,0$
Октябрь	0,99	0,001	0,0006	7,2	7,5	$T_{\partial} = 0,95T_{\text{макс}} - 2,7$	$\pm 1,0$

Таблица 2.4. Статистические параметры уравнений связи T_n с $T_{\text{мин}}$ и их точность

Месяц	r	σ_r	ε_r	σ_n	$\sigma_{\text{макс}}$	$T_n = a'T_{\text{мин}} + b'$	\bar{S}_y
Апрель	0,99	0,001	0,0006	6,5	7,0	$T_n = 0,91T_{\text{мин}} + 3,0$	$\pm 0,9$
Май	0,98	0,002	0,0013	5,8	5,7	$T_n = 0,98T_{\text{мин}} + 3,1$	$\pm 1,2$
Июнь	0,96	0,004	0,0026	4,7	4,4	$T_n = 1,03T_{\text{мин}} + 2,4$	$\pm 1,3$
Июль	0,96	0,004	0,0026	4,0	4,0	$T_n = 0,96T_{\text{мин}} + 3,2$	$\pm 1,1$
Август	0,97	0,003	0,0020	4,6	4,3	$T_n = 1,04T_{\text{мин}} + 2,0$	$\pm 1,1$
Сентябрь	0,97	0,003	0,0020	5,0	4,8	$T_n = 1,01T_{\text{мин}} + 2,7$	$\pm 1,2$
Октябрь	0,99	0,001	0,0006	6,2	6,7	$T_n = 1,01T_{\text{мин}} + 2,6$	$\pm 0,6$

Средняя ошибка уравнений регрессии рассчитана по формуле вида:

$$\bar{S}_y = \pm \sigma_y \sqrt{1 - r^2} \quad (2.3)$$

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

На рис. 2.2 представлены теоретические линии зависимостей, построенные по найденным уравнениям связи для типовых месяцев, характеризующих весну, лето, осень. Здесь же показаны эмпирические линии зависимости между температурой воздуха в 13 часов (T_{13}) и дневной температурой воздуха. Внутренние связи термических характеристик суточного хода температуры воздуха весьма устойчивы по времени, поэтому каждый из трех типов зависимостей представлен в виде тесного пучка линий.

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

$$\text{Апрель} \quad T_{\partial} = 0,97T_{13} - 2,0 \quad (2.4)$$

$$\text{Май} \quad T_{\partial} = 0,94T_{13} - 1,2 \quad (2.5)$$

$$\text{Июнь} \quad T_{\partial} = 0,92T_{13} - 1,0 \quad (2.6)$$

$$\text{Июль} \quad T_{\partial} = 0,93T_{13} - 1,0 \quad (2.7)$$

$$\text{Август} \quad T_{\partial} = 0,94T_{13} - 0,9 \quad (2.8)$$

$$\text{Сентябрь} \quad T_{\partial} = 0,90T_{13} - 0,9 \quad (2.9)$$

$$\text{Октябрь} \quad T_{\partial} = 0,97T_{13} - 2,0 \quad (2.10)$$

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

Дневную и ночную температуры воздуха можно определить также по данным восьмисрочных наблюдений в сутки за температурой воздуха на метеорологических станциях. В этом случае T'_{∂} , T'_n рассчитываются по следующим формулам:

$$T'_{\partial} = \frac{T_9 + T_{12} + T_{15} + T_{18}}{4}, \quad (2.11)$$

$$T'_n = \frac{T_3 + T_6 + T_{21} + T_0}{4}, \quad (2.12)$$

где к дневному периоду суток отнесены наблюдения за температурой воздуха в 9, 12, 15, 18^h, а к ночному периоду суток - соответственно в 3, 6, 21, 0^h. Надежность определения T'_∂ , $T'_н$ по формулам 2.11 и 2.12 обусловлено тем, что между дневными и ночными температурами воздуха, полученными из ежечасных данных по суточному ходу температуры воздуха и по четырем срочным наблюдениям за температурой, существует тесная взаимосвязь.

Предложенные методы косвенного расчета T_∂ , $T_н$, основанные на использовании уравнений линейной регрессии или графиков зависимости, позволяют быстро и надежно вычислять дневные и ночные температуры воздуха на равнинной и всхолмленной территории СНГ. Исключение представляют горные районы, для которых целесообразно провести специальные разработки. Эти методы расчета были применены для получения массовых материалов по T_∂ , $T_н$ для 1600 метеорологических станций. По этим материалам построен ряд агроклиматических карт распределения T_∂ , $T_н$, а также их разности ($T_\partial - T_н$) на территории бывшего СССР в теплое время года. Дневные температуры воздуха повсеместно оказываются значительно больше ночных температур. Например, летом разность ($T_\partial - T_н$) возрастает в направлении с севера на юго-восток от 2° С до 8°С.

Распределение T_∂ и $T_н$ в отличие от средней суточной температуры воздуха сравнимо с суточным ходом температуры, что подтверждается, наличием тесной зависимости междусуточной амплитудой температуры воздуха (A_t) и разностью ($T_\partial - T_н$). При увеличении континентальности климата в направлении с запада на восток и с севера на юг СНГ возрастает A_t , а вместе с ней увеличивается разность ($T_\partial - T_н$), составляя примерно половину величин суточной амплитуды температуры воздуха. В табл. 2.5 представлены уравнения связи ($T_\partial - T_н$) с A_t и статистические параметры к ним для мая, июля и сентября. Во все месяцы коэффициенты корреляции остаются весьма высокими (более 0,95), а ошибки уравнений регрессии малы.

Для получения количественной оценки изменения T_∂ и $T_н$ в зависимости от уровня средней суточной температуры воздуха (T_c) были построены графики связи T_∂ с $T_н$, $T_н$ с T_c для каждого месяца с апреля по октябрь. Рассчитаны соответствующие уравнения линейной регрессии и статистические параметры к ним. Как видно из табл. 2.5, между этими термическими характеристиками существует тесная зависимость. Однако выявлено, что при одной и той же средней суточной температуре воздуха наблюдаются различные значения T_∂ и $T_н$. Например, в северных районах СНГ, где длительность дня в июле составляет 20-23 часа в сутки, T_∂

Таблица 2.5. Уравнения связи между характеристиками суточного хода температуры воздуха и статистические параметры к ним

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

примерно на 0,5 °С больше T_c , а T_n на 1-1,5 °С меньше. В южных районах, где длина дня значительно меньше, T_{∂} примерно на 2,5-3 °С больше T_c , а T_n – на 3,5–4,5 °С меньше.

Суммы дневных и ночных температур воздуха биологически более точно описывают связь теплового фактора с основными механизмами жизнедеятельности растений – фотопериодизмом и термопериодизмом, которые определяют темпы развития, продуктивность и химический состав культурных растений. Поэтому их использование перспективно для оценки тепловых ресурсов территорий и теплообеспеченности растений. Для получения массового материала по ΣT_{∂} , ΣT_n за теплый период с T_{∂} , T_n выше 5, 10, 15 °С применяется прямой и косвенный методы расчетов [55, 58, 61].

Прямой метод предусматривает определение ΣT_{∂} , ΣT_n по средним месячным дневным и ночным температурам за период активной вегетации. Для этой цели строятся графики годового хода T_{∂} , T_n , с помощью которых определяются даты перехода соответствующих температур через 5, 10 °С весной и осенью, а также продолжительность теплого периода для дня и ночи (N_{∂} , N_n). Дневные и ночные суммы температур, рассчитанные за каждый месяц теплого или вегетационного периода, суммируются и получается общая сумма активных температур, например за период с T_{∂} ,

T_n выше 10 °С. Расчет средних многолетних ΣT_{∂} , ΣT_n производится по формулам вида:

$$\Sigma T_{\partial} = \Sigma(T_{\partial} \cdot N_{IV} + T_V + \dots + T_{\partial} \cdot N_X), \quad (2.13)$$

$$\Sigma T_n = \Sigma(T_n \cdot N_{IV} + T_n \cdot N_V + \dots T_n \cdot N_X), \quad (2.14)$$

где N с индексом $IV, V, \dots X$ – число дней в апреле, мае и до сентября или октября с T_{∂} , T_n выше 10 °С.

Косвенный метод определения сумм дневных и ночных температур воздуха выше 10 °С основывается на установленной тесной зависимости между ΣT_{∂} и ΣT_n . и традиционным показателем тепловых ресурсов – ΣT_c . На рис. 2.3 представлен комплексный график связи между ΣT_{∂} и ΣT_c (а), ΣT_n .и ΣT_c (б), характеризующих условия открытого ровного места на территории СНГ. Наглядно видно, что при одинаковых суммах средних суточных температур воздуха наблюдаются различные значения ΣT_{∂} и ΣT_n .

Установлена также тесная взаимосвязь между показателями продолжительности теплого периода с T_{∂} , T_n выше 10 °С: N_{∂} с N_c и N_n с N_c . Рассчитаны уравнения прямолинейной регрессии и статистические параметры к ним. Уравнения связи имеют следующий вид:

$$\Sigma T_{\partial} = 1,171 \cdot \Sigma T_c + 45,46, \quad (2.15)$$

$$\Sigma T_n = 0,904 \cdot \Sigma T_c - 381,33, \quad (2.16)$$

$$N_{\partial} = 0,10 \cdot N_c + 0,4, \quad (2.17)$$

$$N_n = 0,10 \cdot N_c - 38,5. \quad (2.18)$$

Из табл. 2.6 видно, что коэффициенты корреляции остаются весьма высокими. Следовательно, с помощью найденных уравнений связи можно надежно определить искомые агроклиматические показатели на равнинных землях и в условиях всхолмленного рельефа на территории СНГ.

Таблица 2.6. Статистические параметры уравнений связи между:
 ΣT_{∂} и ΣT_c ; ΣT_n .и ΣT_c ; N_{∂} и N_c ; N_n и N_c

Связь	r	σ_r	ε_r	σ_y	σ_x	\bar{S}_y
ΣT_{∂} с ΣT_c	0,98	0,003	0,002	907	774	± 206
ΣT_n .с ΣT_c	0,96	0,010	0,007	758	771	± 187
N_{∂} с N_c	0,98	0,003	0,002	41,8	45,3	± 6,8
N_n с N_c	0,98	0,003	0,002	41,3	45,0	± 6,3

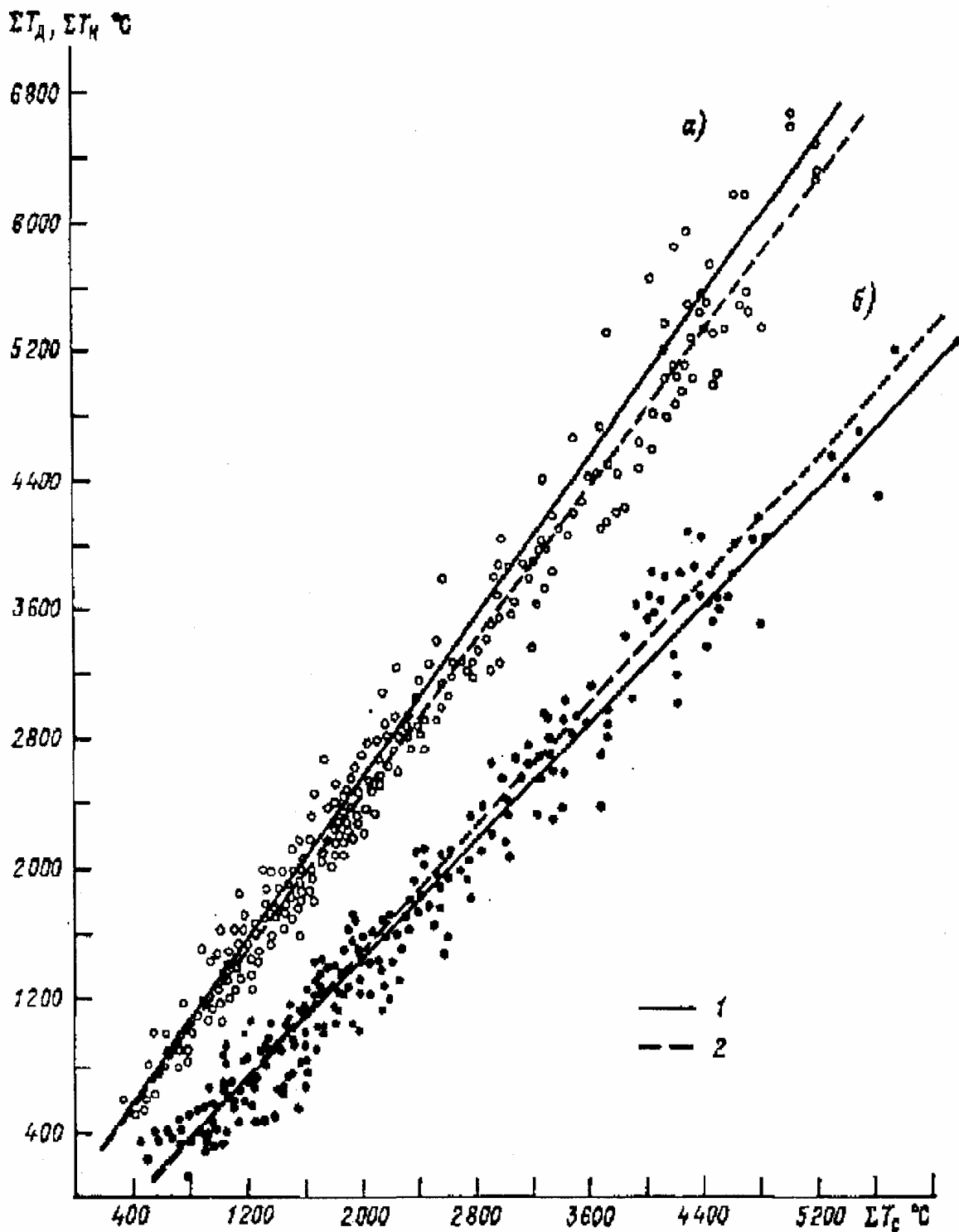


Рис. 2.3. Зависимость между суммами средней суточной температуры воздуха и средней дневной температурой воздуха. (а); между ΣT_c и средней ночной температурой воздуха (б) за период с соответствующими температурами выше 10°C . 1- теоретические линии зависимости; 2- эмпирические линии зависимости.

Материалы по ΣT_{∂} и ΣT_n позволяют в явном виде оценить вклад таких факторов как континентальность климата и продолжительность дня и ночи, оказывающих значительное влияние на жизнедеятельность растений. Наилучшим образом влияние длины дня и ночи проявляется в интегральных показателях теплообеспеченности, рассчитанных по часам за дневное и ночное время суток. Для этой цели выполнены расчеты $\Sigma T_{\partialч}$, $\Sigma T_{нч}$ с использованием многолетних данных наблюдений за суточным ходом температуры воздуха на 116 метеостанциях, расположенных в пределах СНГ, по формулам вида:

$$\Sigma T_{\partialч} = (\Sigma T_{\partialч} \cdot N_{IV} + \Sigma T_{\partialч} \cdot N_V + \dots + \Sigma T_{\partialч} \cdot N_X), \quad (2.19)$$

$$\Sigma T_{нч} = (\Sigma T_{нч} \cdot N_{IV} + \Sigma T_{нч} \cdot N_V + \dots + \Sigma T_{нч} \cdot N_X), \quad (2.20)$$

где $\Sigma T_{\partialч}$, $\Sigma T_{нч}$ - суммы градусо-часов, вычисленных соответственно для дневного и ночного времени суток за теплый период с ΣT_{∂} , ΣT_n выше 10 °С, а также в отдельные месяцы с апреля по октябрь.

Для простоты расчетов установлена тесная прямолинейная зависимость между: $\Sigma T_{\partialч}$ и ΣT_{∂} ; $\Sigma T_{нч}$ и ΣT_n . Рассчитаны соответствующие уравнения регрессии и коэффициенты корреляции, которые имеют вид:

$$\Sigma T_{\partialч} = 11,9 \cdot \Sigma T_{\partial} + 8528; \quad r = 0,98 \quad (2.21)$$

$$\Sigma T_{нч} = 11,4 \Sigma T_n + 3910. \quad r=0,97 \quad (2.22)$$

Коэффициенты корреляции между показателями теплообеспеченности оказались весьма высокими. Следовательно с помощью уравнений 2.21 и 2.22 можно надежно определить $\Sigma T_{\partialч}$ и $\Sigma T_{нч}$ на равнинных землях в пределах СНГ, в том числе Украины.

2.3. Районирование показателей тепловых ресурсов дня и ночи в мелком масштабе

Выявленные закономерности формирования термического режима дня и ночи на территории бывшего СССР и его основных характеристик – T_{∂} , T_n , $(T_{\partial} - T_n)$, A_T дают принципиально новую количественную основу для эколого-физиологических и генетико-селекционных исследований, направленных на изучение основных механизмов жизнедеятельности живых организмов – фотопериодизма и

термопереодизма. Эти показатели являются исходными для агроклиматической оценки тепловых ресурсов территорий и теплообеспеченности растений по суммам дневных и суммам ночных температур воздуха. Высокая биологизация и значительная чувствительность этих показателей в зональном разрезе и под влиянием микроклимата открывают широкие возможности для географических обобщений, связанных с биотой и, прежде всего, с культурными растениями (темпы развития, урожай, химический состав).

Влияние континентальности климата и продолжительности дня и ночи на изменчивость адаптивных реакций живых организмов находит отражение в относительных показателях теплообеспеченности в виде:

$$K = \frac{\Sigma T_{\partial}}{\Sigma T_{н}}; \quad K' = \frac{\Sigma T_{\partial ч}}{\Sigma T_{нч}}, \quad (2.23)$$

где K' характеризует отношение часовых сумм дневных температур воздуха к суммам ночных температур выше 10 °С. Расчеты K и K' выполнены по данным многолетних наблюдений за суточным ходом температуры воздуха на 150 метеостанциях, равномерно освещающих территорию ЕЧ СНГ.

На рис. 2.4 представлена расчетная номограмма для определения соотношения тепла днем и ночью (K , K') в зависимости от широты и долготы места на ЕЧ СНГ. Наглядно видно, что при продвижении с юга

на север и с запада на восток показатель $K = \frac{\Sigma T_{\partial}}{\Sigma T_{н}}$ увеличивается от 1,2 – 1,4 до 2,1 – 2,6, т.е. четко выражена тенденция к значительному превышению ΣT_{∂} над $\Sigma T_{н}$.

Максимально комплексное влияние степени континентальности климата и длины дня и ночи проявляется в относительном показателе теплообеспеченности, рассчитанном по часам. С возрастанием широты и долготы места $K' = \frac{\Sigma T_{\partial ч}}{\Sigma T_{нч}}$ увеличивается от 3 до 10. Например, в южных и юго-западных районах ЕЧ СНГ $\Sigma T_{\partial ч}$ превышают $\Sigma T_{нч}$ примерно в три раза, а в северных и северо-восточных районах на 65 °с.ш. – в 7 – 10 раз.

В суммах дневных и ночных температур воздуха учитываются географическая изменчивость длины дня и ночи, что повышает чувствительность этих показателей при оценке тепловых ресурсов в направлении с севера на юг, то есть по широте. Благодаря тому, что в исходных термических показателях T_{∂} и $T_{н}$ учитывается ритмика температур в суточном ходе, суммы этих температур четко реагируют на

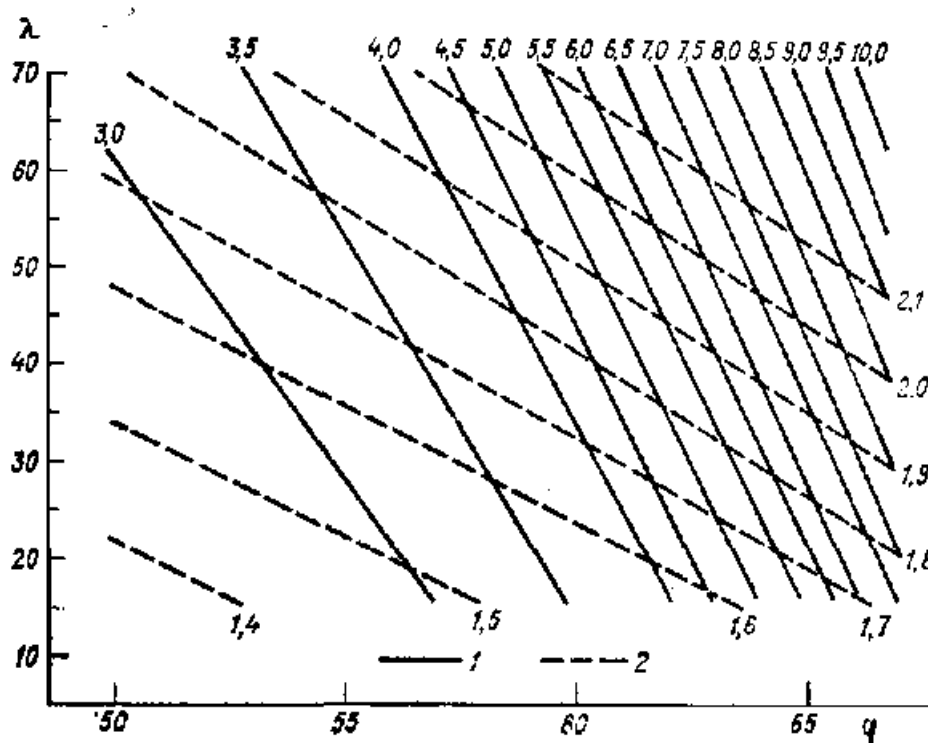


Рис. 2.4 Расчетная номограмма для определения показателей соотношения тепла днем и ночью ($K(1)$, $K'(2)$) в зависимости от широты и долготы места на территории ЕЧ СНГ

степень континентальности климата, а также на микроклимат. Поэтому при одной и той же ΣT_c могут наблюдаться различные сочетания ΣT_d и ΣT_n .

В табл. 2.7 представлены пары метеорологических станций, находящихся примерно на одной широте, но на разной долготе, то есть в районах с различной степенью континентальности климата в разных местоположениях горного рельефа. В более континентальных районах ΣT_d на 300 – 700 °С больше, а ΣT_n на 400 – 1000 °С меньше чем в западных и особенно в морских районах СНГ. Например, на ст. Чардара, характеризующей условия полупустыни в Средней Азии и на ст. Ленкорань, характеризующей морской климат, на побережье Каспийского моря, ΣT_c одинаковы. Но в Чардаре ΣT_d оказываются на 780 °С больше, а ΣT_n на 1120 °С меньше, чем в Ленкорани.

В горных районах при мало различающихся ΣT_c в горных долинах и котловинах ΣT_d оказываются на 200 – 600 °С больше, а ΣT_n на 300 – 500 °С меньше, чем на вершинах хребтов или верхних частях крутых склонов. Например, на Кавказе в условиях горной долины на ст. Шови ΣT_d

увеличивается на 650 °С, а ΣT_n уменьшается на 300 °С по сравнению с данными ст. Гагринский хребет, находящейся почти на вершине хребта. Во всех случаях наиболее значительно изменяется разность ($\Sigma T_{\partial} - \Sigma T_n$) от 1000 °С до 3100 °С.

Таблица 2.7. Суммы средних суточных, дневных и ночных температур воздуха ($\Sigma T_c, \Sigma T_{\partial}, \Sigma T_n$) за период с соответствующими температурами выше 10 °С

Станция	$H_{(м)}$	ΣT_c	ΣT_{∂}	ΣT_n	$(\Sigma T_{\partial} - \Sigma T_n)$
а) Степень континентальности климата					
Верхоянск	137	1040	1330	300	1030
Умба	39	1030	1060	610	450
Кокпекти	511	2540	3330	1310	1850
Львов	298	2550	2980	2050	870
Бекпак-Дала	328	3370	4060	2510	1550
Одесса	43	3270	3500	2910	590
Чардара	240	4300	5760	2620	3140
Ленкорань	37	4310	4980	3740	1240
б) Влияние формы рельефа					
Гагринский хребет	1630	1750	2007	1423	584
Шови	1600	1811	2680	1120	1560
Кедабек	1452	2325	2784	1747	1040
Абастумани	1263	2204	2971	1206	1765
Пятигорск	498	3092	3522	2555	967
Красная Поляна	564	3158	3812	2003	1809

Для выявления географических закономерностей распределения показателей тепловых ресурсов дня и ночи за теплый период с T_{∂} , T_n выше 10 °С З.А. Мищенко [65, 68] построено ряд фоновых агроклиматических карт: ΣT_{∂} ; ΣT_n ; ($\Sigma T_{\partial} - \Sigma T_n$); ($\Sigma T_{\partial} - \Sigma T_c$); ($\Sigma T_n - \Sigma T_c$) для условий открытого ровного места применительно к территории СНГ и стран Балтии. Для этой цели был создан банк данных по T_{∂} , T_n , ΣT_{∂} , ΣT_n , N_{∂} , N_n , ($\Sigma T_{\partial} - \Sigma T_n$), рассчитанных по многолетним наблюдениям на 900 метеорологических станций. Картирование выполнено на гипсометрической основе в мелком масштабе (1:12500000). Изолинии проводились по данным репрезентативных станций с интервалом в 400 °С.

Как видно из рис. 2.5, наименьшие значения ΣT_{∂} характерны для северных и северо-восточных районов и составляют 400 – 800 °С. Наибольшие значения сумм дневных температур воздуха наблюдаются в

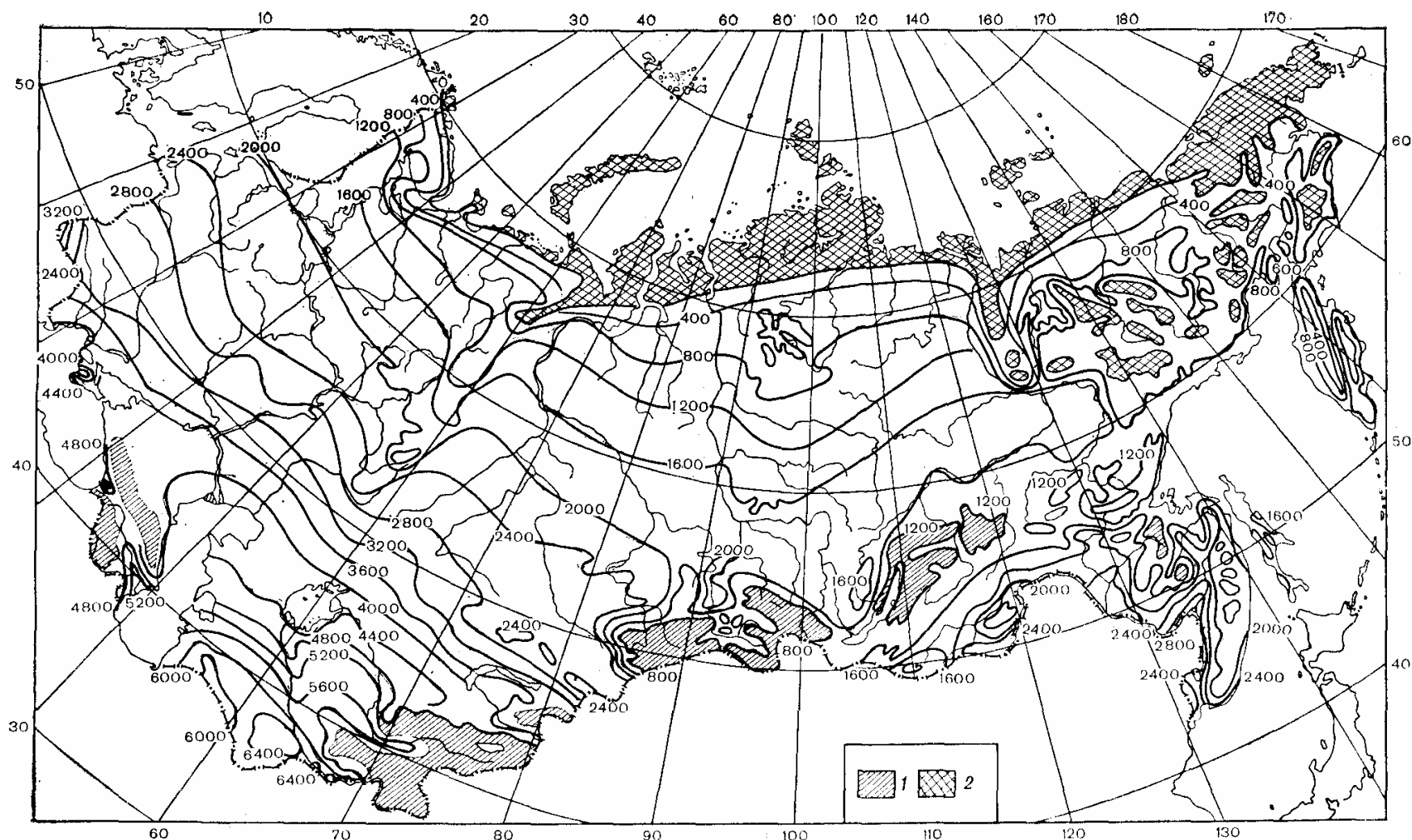


Рис. 2.5 – Суммы дневных температур воздуха за период с T_{δ} выше 10°C на территории СНГ и стран Балтии.
 1- горы выше 1500 м; 2 – районы, где отсутствуют ΣT_{δ} выше 10°C

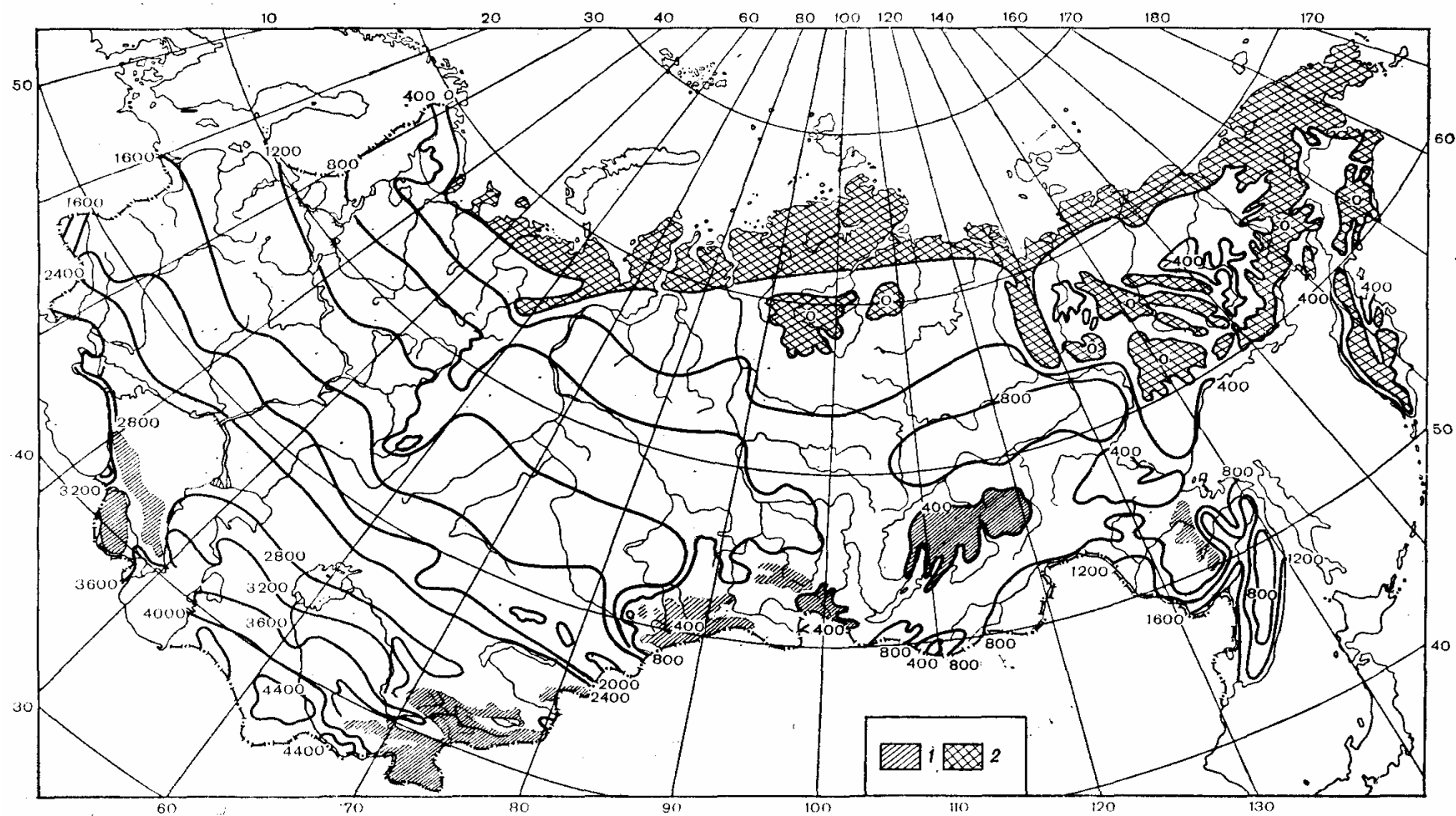


Рис. 2.6 . Суммы ночных температур воздуха за период с T_n выше 10°C на территории СНГ и стран Балтии.
 1 – горы выше 1500 м; 2 – районы, где отсутствуют ΣT_n выше 10°C

южных районах Средней Азии и достигают 6000 – 6400 °С. Суммы ночных температур возрастают с севера и северо-востока на юг территории СНГ от 400 °С до 4400 °С (рис. 2.6). На рассматриваемой территории географическая изменчивость ΣT_{∂} , ΣT_n весьма значительна, то есть эти показатели изменяются более чем в 10 раз. Диапазон географических различий в распределении ΣT_{∂} составляет 6000 °С, а в распределении ΣT_n - 4000 °С. Сравнительная оценка распределения ΣT_{∂} , ΣT_n выше 10 °С на территории СНГ с аналогичным распределением ΣT_c позволяет сделать следующее заключение. В северных районах прибавка тепла за счет дневного нагрева на уровне будки составляет не более 100 – 200 °С, в то время как ночью уменьшение сумм тепла достигает 300 – 500 °С. В средней полосе России дополнительное тепло, которое могут использовать растения днем, возрастает до 300 – 700 °С при соответствующем снижении сумм тепла ночью до 600 – 900 °С. В южных районах Средней Азии прибавка тепла днем по сравнению с ΣT_c достигает 900 – 1100 °С при снижении тепловых ресурсов ночью на 1100 – 1500 °С.

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

Позднее Г.В. Ляшенко [55] выполнила более детальное комплексное районирование показателей тепловых ресурсов дня и ночи применительно к территории Украины. Соответствующие расчеты выполнены по данным 240 метеорологических станций. Фоновые карты ΣT_{∂} и ΣT_n выше 10 °С составлены также в мелком масштабе (1:1500000), максимально приближенного к среднему масштабу. Изолинии ΣT_{∂} , ΣT_n проведены с интервалом в 200 °С. Применяв методику уплотнения агроклиматической информации и регрессионно-корреляционный анализ, она для каждого макрорайона по ΣT_{∂} , ΣT_n определила даты перехода T_{∂} , T_n через 10 °С весной и осенью (D_{∂} , D_n), продолжительность теплых периодов отдельно для дня и ночи (N_{∂} , N_n) и другие показатели.

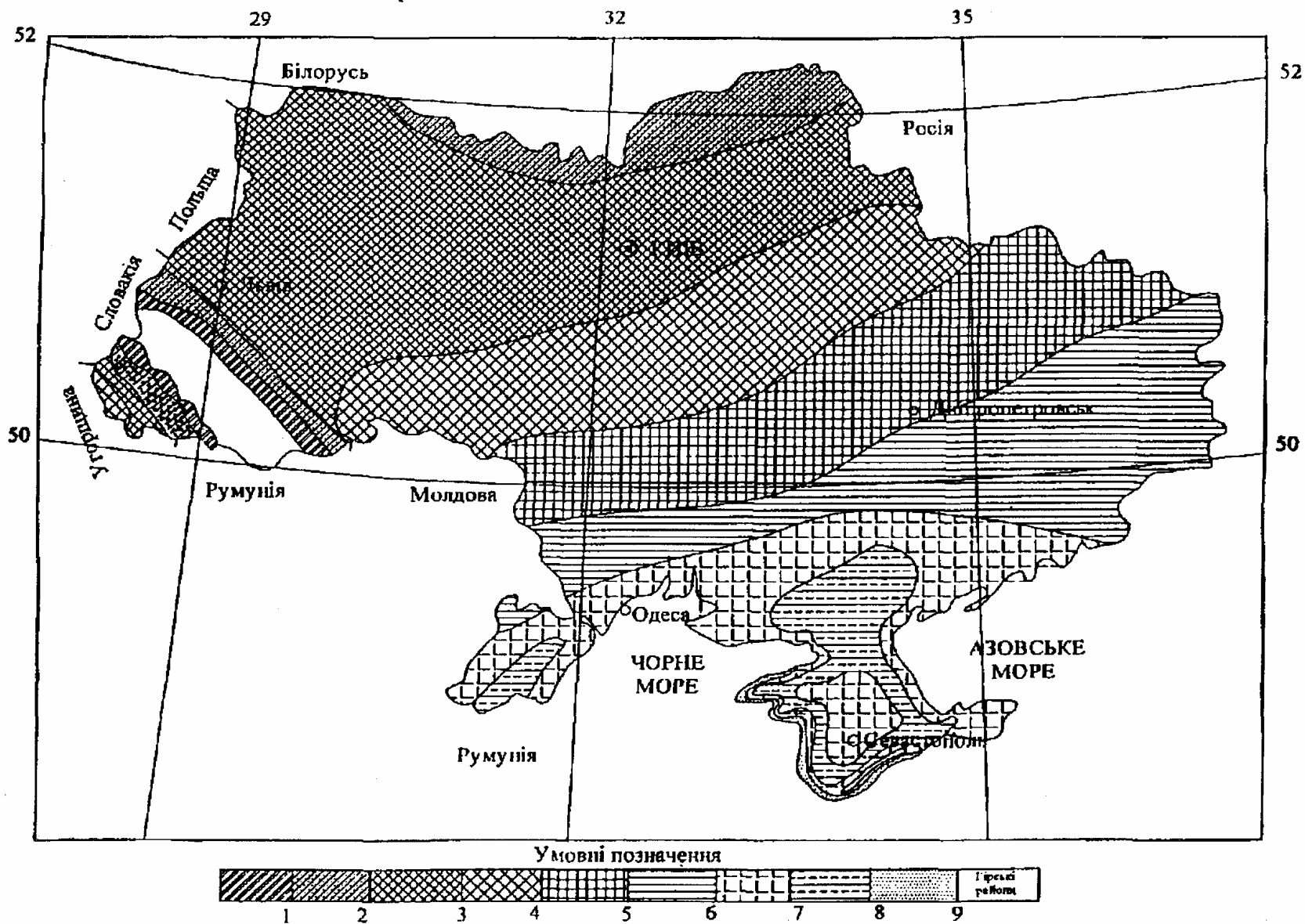


Рис. 2.7. Агроклиматическое районирование показателей тепловых ресурсов дня на территории Украины.
Макрорайоны 1 – 9 (см. табл. 2.8)

Таблица 2.8. Количественная оценка показателей тепловых ресурсов дня А) и ночи Б) в сравнении с ΣT_c в пределах Украины

А				Б			
Макрорайон	$\Sigma T_{\partial}, ^\circ\text{C}$	N_{∂} , дни	$\Sigma T_c, ^\circ\text{C}$	Макрорайон	$\Sigma T_n, ^\circ\text{C}$	N_n , дни	$\Sigma T_c, ^\circ\text{C}$
1	<2600	<160	<2200	1	<1600	<130	<2300
2	2600 – 2800	160 – 165	2200 – 2400	2	1600 – 1800	130 – 135	2300 – 2500
3	2800 – 3000	165 – 170	2400 – 2600	3	1800 – 2000	135 – 140	2500 – 2700
4	3000 – 3200	170 – 175	2600 – 2800	4	2000 – 2200	140 – 145	2700 – 2900
5	3200 – 3400	175 – 185	2800 – 3000	5	2200 – 2400	145 – 150	2900 – 3200
6	3400 – 3600	185 – 190	3000 – 3200	6	2400 – 2600	150 – 155	3200 – 3500
7	3600 – 3800	190 – 195	3200 – 3400	7	>2600	>155	>3500
8	3800 – 4000	195 – 205	3400 – 3600				
9	>4000	>205	>3600				

Результаты этой работы не в полном объеме представлены на рис. 2.7, и в табл. 2.8. По тепловым ресурсам дня на карте выделено 9 макрорайонов. На севере страны в макрорайоне 1 $\Sigma T_{\text{д}}$ не превышают 2600 °С, а продолжительность теплого периода с $T_{\text{д}}$ выше 10 °С оказалась меньше 160 дней. А на юге (макрорайоны 8, 9) $\Sigma T_{\text{д}}$ возросли до 3900 – 4000 и больше. Продолжительность теплого периода ($N_{\text{д}}$) увеличилась здесь до 195 – 205 дней. Диапазон географических различий в $\Sigma T_{\text{д}}$ и $N_{\text{д}}$ составил соответственно 1400 °С и 45 дней. Во всех макрорайонах $\Sigma T_{\text{д}}$ превышают суммы средних суточных температур воздуха ($\Sigma T_{\text{с}}$) на 400 °С.

По тепловым ресурсам ночи на карте выделено 7 макрорайонов. На севере в макрорайоне 1 $\Sigma T_{\text{н}}$ не превышают 1600 °С, а продолжительность теплого периода ($N_{\text{н}}$) составляет только 130 ночей и меньше. При продвижении на юг в макрорайоне 7 $\Sigma T_{\text{н}}$ и $N_{\text{н}}$ увеличиваются соответственно до 2600 °С и 155 ночей. Диапазон зональных различий в $\Sigma T_{\text{н}}$ и $N_{\text{н}}$ составляет 1000 °С и 25 ночей. Сумма ночных температур значительно отличаются от традиционных $\Sigma T_{\text{с}}$. Например, в 1 и 2 макрорайонах $\Sigma T_{\text{н}}$ оказываются на 600 – 700 °С, а в южных макрорайонах 6, 7 на 800 – 900 °С ниже $\Sigma T_{\text{с}}$.

Интегральным показателем влияния суточной ритмики температур на тепловой режим дня и ночи является разность ($\Sigma T_{\text{д}} - \Sigma T_{\text{н}}$). В пределах Украины суммы тепла днем значительно превышают суммы тепла ночью. А именно, в северных районах ($\Sigma T_{\text{д}} - \Sigma T_{\text{н}}$) составляют 1000 °С, а в южных превышение $\Sigma T_{\text{д}}$ над $\Sigma T_{\text{н}}$ увеличивается до 1400 °С.

2.4. Мезо и микроклиматическая изменчивость показателей теплового режима дня и ночи в сложном рельефе

Представленные в параграфе 2.3 карты агроклиматического районирования показателей тепловых ресурсов дня и ночи на территории СНГ, включая страны Балтии и Украины, построены для условий открытого ровного места, т.е. для равнинных земель. Но на рассматриваемой территории больше 60% (а в горных районах 70 – 80%) от общей площади сельскохозяйственных угодий занимает слабовсхолмленный, холмистый и горный рельеф. Поэтому представляет научный и практический интерес количественная оценка мезо и микроклиматической изменчивости сумм дневных и сумм ночных температур воздуха выше 10 °С в разных местоположениях рельефа.

Для этой цели на втором этапе фонового картирования данные всех метеорологических станций, находящихся под влиянием микроклимата

были сгруппированы по механизму формирования микроклиматических инверсий температуры днем и ночью в сложном рельефе. Он связан с особенностями притока солнечной радиации в холмистой местности, своеобразным воздухообменом, условиями стока и подтока холодного воздуха ночью, а также площадью воздухообора. В горном рельефе помимо вышеуказанных факторов четко проявляется влияние абсолютной высоты над уровнем моря.

Выделены следующие группы местоположений в микрорельефе.

1. Вершины холмов, водораздельные плато, верхние части крутых склонов ($15 - 20^\circ$ и более).

2. Средние части склонов разной экспозиции и крутизны, дно долин с большим уклоном (более $10 - 12^\circ$) вдоль оси.

3. Местоположения, характеризующие условия открытого ровного места с относительно хорошим воздухообменом днем и ночью. К ним относятся: равнинные земли, средние части пологих склонов крутизной $3 - 5^\circ$, предгорные широкие долины более 10 км в поперечнике).

4. Подножия склонов всех экспозиций, дно и нижние части широких долин (до 2 – 4 км в поперечнике).

5. Дно и нижние части узких (менее 1 км в поперечнике) замкнутых долин, котловины и сырые низины.

Затем методом интерполяции определены отклонения данных каждой станции, входящей в ту или иную группу по местоположению от изолиний на фоновых картах ΣT_δ и ΣT_n (рис. 2.5, 2.6). По этим данным была составлена рабочая таблица микроклиматических параметров ($\Delta \Sigma T'_\delta$, $\Delta \Sigma T'_n$). Дальнейший анализ этих данных, а также микроклиматических наблюдений в холмистом и горном рельефе (Новгородская и московская области, Молдова, Казахский Мелкосопочник, Заилийский Ала-Тау, Забайкалье и др.), позволил установить зависимость величин микроклиматических параметров ($\Delta \Sigma T'_\delta$, $\Delta \Sigma T'_n$) для разных форм рельефа от базисов эрозии (ΔH_m), т.е. глубины расчленения рельефа по вертикали, и степени континентальности климата.

Эти факторы положены в основу районирования микроклиматических параметров тепловых ресурсов дня и ночи в холмистом и горном рельефе. В соответствии с геоморфологическим районированием территории бывшего СССР по основным факторам эрозии [57] рассмотрены мезорайоны с различным рельефом: всхолмленным ($\Delta H \geq 50$ м), холмистым ($\Delta H \approx 50 - 150$ м), низко и среднегорным ($\Delta H \approx 150 - 300$ м) и горным ($\Delta H > 300$ м).

Было установлено, что в дневные часы наиболее теплыми оказываются дно долин и подветренные южные, юго-восточные и юго-западные склоны, а наиболее холодными – открытые вершины, водораздельные плато и верхние части крутых наветренных склонов. В

ночные часы наиболее теплыми оказываются вершины холмов, водораздельные плато и верхние части крутых наветренных склонов. В ночные часы наиболее теплыми оказываются вершины холмов, водораздельные плато и верхние части склонов крутизной 12 - 15° и более. Наиболее холодными ночью являются дно узких замкнутых долин и котловин. В результате дневное нагревание воздуха и его ночное охлаждение оказывается минимальным для выпуклых форм рельефа и максимальным – для вогнутых форм.

На основе вышеуказанных методических подходов З.А. Мищенко [65] разработала расчетную схему мезо и микроклиматической изменчивости показателей термического режима и тепловых ресурсов дня и ночи (T_{∂} , T_n , A_T , ΣT_{∂} , ΣT_n) в холмистом и горном рельефе в зависимости от базисов эрозии (ΔH_m) и степени континентальности климата на территории СНГ. На рис. 2.9 представлено схематическое районирование микроклиматических параметров ($\Delta \Sigma T'_{\partial}$, $\Delta \Sigma T'_n$) для ведущих форм микрорельефа. На карте выделено семь мезорайонов, различающихся по базисам эрозии и уклонам местности. К карте районирования прилагается легенда в виде табл. 2.9 с помощью которой можно определять для заданного мезорайона микроклиматические параметры тепловых ресурсов в типовом микрорельефе. Они представляют собой отклонения $\Sigma T'_{\partial}$, $\Sigma T'_n$ выше 10 °С в искомых местоположениях рельефа от ΣT_{∂} , ΣT_n для открытого ровного места, т.е. разности ($\Sigma T'_{\partial} - \Sigma T_{\partial}$) и ($\Sigma T'_n - \Sigma T_n$).

На рассматриваемой территории микроклиматическая изменчивость сумм дневных и сумм ночных температур воздуха возрастает в 3 – 4 раза с увеличением степени континентальности климата и базисов эрозии в направлении с северо-запада на юг и юго-восток и достигает наибольших значений в горных районах Центральной Азии. Эти различия сравнимы и даже превышают зональную изменчивость ΣT_{∂} и ΣT_n на большей части ЕЧ СНГ. Микроклиматические различия в суммах ночных температур повсеместно сказываются в 1,5 – 2 раза больше, чем аналогичные различия в суммах дневных температур.

В холмистом и горном рельефе при преобладающих разностях высот местности $\Delta H \approx 50 - 150$ м и $\Delta H > 300$ м открытые вершины, водораздельные плато, а также верхние части склонов могут быть за счет усиления ветрового потока и турбулентного перемешивания воздушных масс на 50 – 100 ° и 200 – 250 °С холоднее, а замкнутые узкие долины и котловины с затрудненным воздухообменом на 100 – 150 °С и 250 – 300 °С теплее открытого ровного места (см. мезорайоны 1 и 7 на рис. 2.9 и в табл. 2.9).

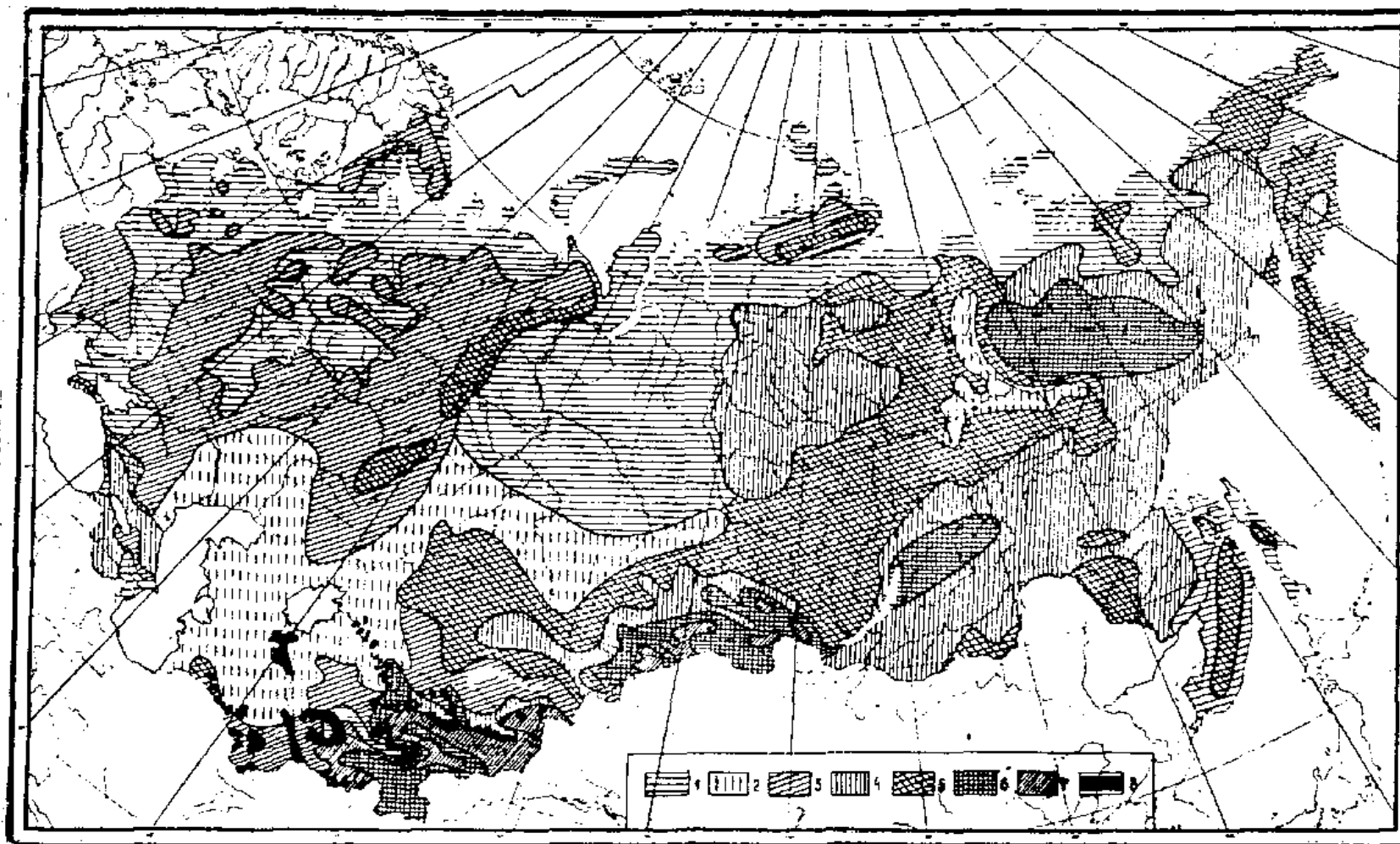


Рис. 2.8. Карто-схема мезо и микроклиматической изменчивости показателей тепловых ресурсов дня и ночи на территории СНГ. Мезорайоны 1 – 7 (см. табл. 2.9), 8 – орошаемые оазисы)

Таблица 2.9. Мезо- и микроклиматическая изменчивость тепловых ресурсов дня и ночи ($\Delta\Sigma T_{\partial}$, $\Delta\Sigma T_n$, °C) в холмистом и горном рельефе на территории СНГ

Мезорайоны по базисам эрозии и уклонам местности	Параметр	Микрорельеф				
		Вершина, верхняя часть склона	Середина склона	Широкая долина, подножие склона	Замкнутая долина, котловина	Вершина - котловина
1. Слабовсхолмленный рельеф ЕЧС и Западной Сибири ($\Delta H \leq 50$ м, уклон 3 - 6°)	$\Delta\Sigma T_{\partial}$ $\Delta\Sigma T_n$	-50, -100 100-150	$\leq \pm 50$ >50	>50 -100	50-100 -100, -150	100-200 200-300
2. Слабовсхолмленный рельеф юго-восточных районов ЕЧС, Центральной Азии, Восточной Сибири ($\Delta H \leq 50$ м, уклон 3 - 6°)	$\Delta\Sigma T_{\partial}$ $\Delta\Sigma T_n$	≥ -100 150-200	> ± 50 50-100	50-100 -100, -150	100-150 -150, -200	200-250 300-400
3. Холмистый рельеф ЕЧС и слабовсхолмленный рельеф предгорий Центральной Азии, Восточной Сибири ($\Delta H \approx 50 - 100$ м, уклон 3 - 6 и 6 - 8°)	$\Delta\Sigma T_{\partial}$ $\Delta\Sigma T_n$	-100, -150 200-250	± 50 , ± 100 100-150	100-150 -150, -200	> 150 -200, -250	250-300 400-500

Продолжение табл. 2.9

4. Холмистый рельеф Восточной Сибири ($\Delta H \approx 150 - 300$ м, уклон 8°) и низкогорный рельеф ЕЧС ($\Delta H \approx 150 - 300$ м, уклон $8 - 12^\circ$)	$\Delta \Sigma T_\partial$ $\Delta \Sigma T_H$	≥ -150 250–300	$\pm 100, \pm 150$ 150–200	≥ 150 –200, –250	150, –200 –250, –300	300–350 500–600
5. Холмистый рельеф Центральной Азии ($\Delta H \approx 50 - 150$ м, уклон $6 - 8^\circ$) и горный рельеф ЕЧС ($\Delta H \geq 300$ м, уклон $12 - 20^\circ$)	$\Delta \Sigma T_\partial$ $\Delta \Sigma T_H$	–150, –200 300–350	$\geq \pm 150$ ≥ 200	150–200 –250, –300	200–250 –300, –350	350–450 600–700
6. Горный рельеф Восточной Сибири ($\Delta H \geq 300$ м, уклон $12 - 20^\circ$ и более)	$\Delta \Sigma T_\partial$ $\Delta \Sigma T_H$	≥ -200 350–400	$\pm 150, \pm 200$ 250–300	200–250 –300, –350	250–300 –350, –400	450–500 700–800
7. Горный рельеф Центральной Азии ($\Delta H \geq 300$ м, уклон $12 - 20^\circ$ и более)	$\Delta \Sigma T_\partial$ $\Delta \Sigma T_H$	–200, –250 ≥ 400	$\geq \pm 200$ ≥ 300	250–300 –350, –400	300–350 –400, –450	500–550 800–850

Примечание. Знак плюс означает увеличение, а знак минус – уменьшение ΣT_∂ , ΣT_H по сравнению с открытым ровным местом в холмистом рельефе или с серединой склона в горном рельефе. ЕЧС – европейская часть территории СНГ

Ночью соотношение ресурсов тепла по элементам рельефа изменяется на обратное. А, именно, вершины и верхние части склонов оказываются на 100 – 200 °С и 300 – 400 °С теплее, а узкие замкнутые долины и котловины на 400 – 450 °С холоднее открытого ровного места. Диапазон микроклиматических различий по формам рельефа в ресурсах тепла днем составляет 100 – 200 °С и 450 – 550 °С, а ночью 200 – 300 °С и 800 – 850 °С (1 и 7 мезорайоны).

Пользуясь данными рис. 2.9 и табл. 2.9 можно расчетным путем с достаточной для практических целей точностью определить $\Sigma T'_\partial$ и $\Sigma T'_н$ в разных местоположениях рельефа на территории любого отдельного хозяйства (если известны его координаты и картографическая основа) по формулам вида

$$\Sigma T'_\partial = \Sigma T_\partial \pm \Delta \Sigma T'_\partial, \quad (2.24)$$

$$\Sigma T'_н = \Sigma T_н \pm \Delta \Sigma T'_н, \quad (2.25)$$

где ΣT_∂ и $\Sigma T_н$ - средние многолетние значения сумм температур воздуха выше 10 °С для условий открытого ровного места; $\Delta \Sigma T'_\partial$, $\Delta \Sigma T'_н$ - микроклиматические параметры.

Данные по ΣT_∂ , $\Sigma T_н$ можно снять для конкретного пункта с фоновых карт распределения показателей тепловых ресурсов дня и ночи по территории СНГ, в том числе Украины, или рассчитать по формулам 2.5 и 2.6. приведенным в параграфе 2.2.

Однако, для агроклиматической оценки теплообеспеченности сельскохозяйственных культур на территории отдельного хозяйства или небольшого района необходимо определить вероятностные характеристики климатических $\Sigma T'_\partial$ и $\Sigma T'_н$ по элементам рельефа. Такие расчеты можно выполнить по формулам вида:

$$\Sigma T'_{\partial(10,20,...,90\%)} = \Sigma T_{\partial(\%)} \pm \Delta \Sigma T'_\partial, \quad (2.26)$$

$$\Sigma T'_{н(10,20,...,90\%)} = \Sigma T_{н(\%)} \pm \Delta \Sigma T'_н, \quad (2.27)$$

где $\Sigma T'_{\partial(10,20,...,90\%)}$ и $\Sigma T'_{н(10,20,...,90\%)}$ - суммы дневных и ночных температур воздуха выше 10 °С различной вероятности для разных местоположений в рельефе; $\Sigma T_{\partial(\%)}$ и $\Sigma T_{н(\%)}$ - суммы дневных и ночных температур различной вероятности для условий открытого ровного места; $\Delta \Sigma T'_\partial$, $\Delta \Sigma T'_н$ - микроклиматические параметры, которые для конкретных местоположений в рельефе можно определить с помощью табл. 2.9.

Для расчета вероятностных характеристик применительно к условиям открытого ровного места наиболее часто применяется методика, разработанная Г.А. Алексеевым [7]. Исходя из теоретических и практических соображений, он предложил для построения эмпирической кривой обеспеченности пользоваться формулой

$$P_{(x)} = \frac{m - 0,25}{n + 0,50} \cdot 100\%, \quad (2.28)$$

где $P_{(x)}$ - обеспеченность в процентах, значения которой последовательно возрастают; $m = 1, 2, \dots, m_n$ - порядковый номер членов статистического ряда x_1, x_2, \dots, x_n , расположенных в убывающем порядке; n – число лет или число наблюдений в статистическом ряду.

После расчета возможных значений климатических сумм дневных и ночных температур воздуха вычерчиваются кривые суммарной вероятности для открытого ровного места и ведущих типов микрорельефа, с помощью которых определяется теплообеспеченность культурных растений. Но для этого надо знать биологические суммы дневных и ночных температур воздуха за вегетационный период конкретных культур. В литературных источниках имеются сведения только по биологическим суммам, рассчитанных по средним суточным температурам воздуха для однолетних и многолетних культур [117]. Поскольку между ΣT_{∂} и ΣT_c , ΣT_n и ΣT_c установлена тесная взаимосвязь, З.А. Мищенко [76, 84] определила биологические и биоклиматические суммы дневных и ночных температур воздуха для основных сельскохозяйственных культур. Теплообеспеченность той или иной культуры считается хорошей, если их созревание обеспечено теплом в конкретном районе на 80 – 90% (т.е. получение урожая возможно 8 – 9 раз в 10 лет).

Биоклиматический аспект практического использования показателей тепловых ресурсов отдельных для дня и ночи заключается в следующем. Согласно агроклиматическому районированию территории бывшего СССР по Д.И. Шашко [110] при интервале в 100 °С по ΣT_c выше 10 °С меняется набор сортов и видов холодостойких культур. Для группы теплолюбивых культурных растений набор сортов и их видов изменяется с интервалом в 200 – 300 °С. Суммы дневных и ночных температур воздуха отличаются значительно большей изменчивостью, как в зональном разрезе, так и под влиянием микроклимата по сравнению с ΣT_c выше 10 °С. Поэтому ΣT_{∂} и ΣT_n перспективны для региональной оценки и агроклиматического районирования тепловых ресурсов с учетом микроклимата на ограниченных территориях (административная область, район, отдельное хозяйство).

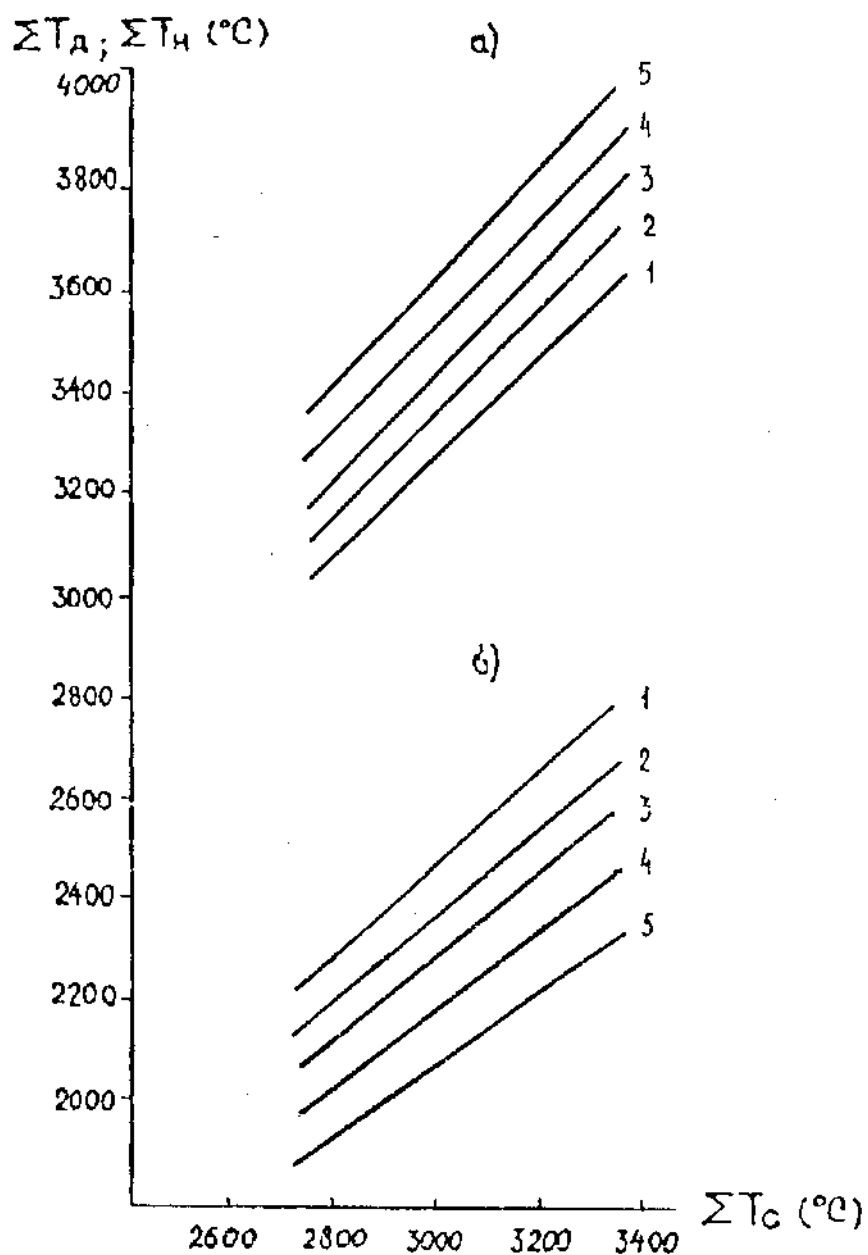


Рис. 2.9. Номограммы для расчета ресурсов тепла днем по ΣT_d (а) и ночью по ΣT_n (б) в зависимости от ΣT_c выше $10^{\circ}C$ на территории Молдовы.

1 – вершины холмов, водораздельные плато, верхние части крутых склонов южных направлений; 2 – середина склонов крутизной $6 - 10^{\circ}$, верхние части склонов северных направлений; 3 – равнины, середина склонов крутизной $3 - 5^{\circ}$; 4 – дно и нижние части широких долин, подножия склонов; 5 – дно замкнутых узких долин, чашеобразные котловины.

Для подтверждения этого вывода рассмотрим рис. 2.10, который является приложением к среднемасштабной карте агроклиматического районирования тепловых ресурсов дня и ночи на территории Молдовы [63, 65]. Наглядно видно, что при одинаковых суммах средних суточных температур воздуха выше 10 °С имеет место реально существующая пестрота в ресурсах тепла днем и ночью на выпуклых и вогнутых формах холмистого и низкогорного рельефа. Каждая линия характеризует типовой микрорельеф, объединяющий несколько экологических ниш. Причем днем самыми теплыми на 250 – 300 °С оказываются узкие замкнутые долины и котловины, а самыми холодными вершина холмов и водораздельные плато (рис. 2.9а). Ночью самыми теплыми на 350 – 500 °С оказываются вершины холмов, водораздельное плато и верхние части склонов, а самыми холодными – подножия и дно узких долин и котловин (рис. 2.9б).

Таблица 2.10. Микроклиматическая изменчивость тепловых ресурсов в разных местоположениях сложного рельефа на территории отдельного хозяйства в Молдове

Местоположение микроточек	Суммы температур воздуха выше 10 °С			Продолжительность периода с T_c , T_d , T_n выше 10 °С, дни		
	ΣT_c	ΣT_d	ΣT_n	N_c	N_d	N_n
Водораздельное плато ($\Delta H = 188$ м; уклон 2 – 3 °)	3138	3530	2430	181	194	158
Верхняя часть южного склона ($\Delta H = 120$ м; уклон 9 – 12 °)	3240	3830	2360	182	205	152
Середина западного склона ($\Delta H = 50$ м; уклон 12 – 15 °)	3110	3700	2190	179	199	147
Середина восточного склона ($\Delta H = 50$ м; уклон 12 – 15 °)	3140	3680	2280	180	199	149
Верхняя часть северного склона ($\Delta H = 75$ м; уклон 6 – 9 °)	3130	3590	2360	179	196	152
Узкая долина со слабым уклоном в 3 – 4 ° ($\Delta H = 90$ м)	3040	3730	1950	175	199	137
Дно котловины ($\Delta H = 110$ м; уклон 1 – 2 °)	2830	3650	1590	169	193	117

В табл. 2.10 для сравнения представлены различные суммы температур воздуха выше 10 °С (ΣT_{∂} , ΣT_n и ΣT_c) для разных местоположений в холмистом рельефе. Они определены по восьмилетним микроклиматическим наблюдениям за суточным ходом температуры воздуха на территории отдельного хозяйства площадью в 2000 га в Кутузовском районе Молдовы. Эти данные хорошо согласуются с расчетной схемой мезо и микроклиматической изменчивости сумм дневных и ночных температур воздуха под влиянием сложного рельефа на территории СНГ (рис. 2.8, табл. 2.9).

Как видно из табл. 2.10 диапазон различий в ΣT_c , ΣT_{∂} по элементам рельефа не превышает 300 – 350 °С, а в продолжительности теплого периода (N_c , N_{∂}) – 12 – 13 дней. Наиболее чувствительны к микроклимату ΣT_n и N_n . Диапазон различий в суммах ночных температур воздуха и продолжительности теплого периода с ΣT_n выше 10 °С составляет соответственно 800 °С и 40 ночей. Превышение ΣT_{∂} над ΣT_n в виде разности ($\Sigma T_{\partial} - \Sigma T_n$) или отношения $\Sigma T_{\partial}/\Sigma T_n$ на выпуклых формах рельефа составляет 1100 – 1500 °С или 1,5 – 1,7, а в вогнутых формах рельефа эти величины увеличиваются до 1800 – 2000 °С или 1,9 – 2,3.

Позднее методика количественной оценки мезо и микроклиматической изменчивости ΣT_{∂} и ΣT_n в сложном рельефе была применена Г.В. Ляшенко [55] для детализации тепловых ресурсов дня и ночи с учетом микроклимата в пределах Украины. Она дала оценку микроклиматической изменчивости ΣT_{∂} , ΣT_n в зависимости от базисов эрозии для макрорайонов, выделенных на соответствующих картах.

Например, в Предкарпатье (макрорайон 2) при превышении высот местности по вертикали в 150 – 200 м ΣT_{∂} на вершинах и водораздельных плато не превышают 2450 – 2650 °С, а на дне долин они увеличиваются до 2750 – 2950 °С. Ночью соотношение тепла изменяется на обратное. А именно, ΣT_n оказываются наибольшими на вершинах и составляют 2050 – 2250 °С, а на дне долин они не превышают 1550 – 1750 °С.

На юге в предгорьях Крымских гор (макрорайон 8) при базисах эрозии 150 – 200 м ΣT_{∂} на открытых вершинах составляет 3650 – 3850 °С, а на дне долин они возрастают до 3950 – 4150 °С. Суммы ночных температур воздуха (макрорайон 6) оказываются выше на вершинах, водораздельных плато и составляют 2250 – 2400 °С, а на дне долин они не превышают 1750 – 1900 °С.

Таким образом оказалось, что расчетная схема мезо и микроклиматической изменчивости ΣT_{∂} и ΣT_n в сложном рельефе на территории СНГ пригодна для аналогичной оценки тепловых ресурсов дня и ночи в пределах Украины. Совершенно ясно, что термопериодические

реакции культурных растений, размещенных по элементам рельефа, будут различны. Это, как правило, обуславливает значительные различия на малых площадях в темпах развития, урожайности и химическом составе сельскохозяйственных культур. Зная мезо- и микроклиматическую изменчивость средних многолетних значений $\Sigma T_{\text{д}}$, $\Sigma T_{\text{н}}$ и их вероятностные характеристики, можно выйти на детальную оценку теплообеспеченности однолетних и многолетних культур с целью рационального размещения их на сортовом уровне в конкретной местности со сложным рельефом.

2.5. Комплексное районирование показателей тепловых ресурсов дня и ночи в среднем масштабе с учетом микроклимата

Новизна и суть регионального подхода в оценке агроклиматических ресурсов заключается в сочетании классических методов климатологических расчетов и обобщений с проведением сопряженного микроклиматического и биоэкологического экспериментов, а также в разработке специализированной системы микроклиматических параметров и создании методик разномасштабного агроклиматического районирования с оценкой вклада микроклимата. В целях снижения убытков из-за неполной или неточной информации о климате предлагается строить стратегию размещения существующих и определения ареала новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур с вероятностной оценкой агроклиматических показателей.

Региональная оценка агроклиматических ресурсов выполняется путем уточнения фоновой информации о климате системой микроклиматических параметров, которые удобно представлять в относительных величинах (отклонения или коэффициенты). Переход от расчетов в точке на площадь осуществляется путем установления количественных зависимостей между показателями климата и морфометрическими характеристиками рельефа (форма рельефа, глубина расчленения рельефа по вертикали, экспозиция и крутизна склонов), а также типами почв разного механического состава. Это принципиально позволяет выполнить расчетным путем детальную агроклиматическую оценку и районирование небольших территорий, не охваченных специальными микроклиматическими наблюдениями [57, 61, 64, 79, 90].

Методика регионализации агроклиматических ресурсов с учетом микроклимата разработана З.А. Мищенко [61, 63, 69, 71, 77, 79] и реализована применительно к Молдове, ряду областей России и Украины. Например, для оценки тепловых ресурсов дня и ночи на территории Молдовы она построила фоновые карты распределения $\Sigma T_{\text{д}}$ и $\Sigma T_{\text{н}}$ выше 10 °C в среднем масштабе (1:400000) для условий открытого ровного места.

Зональная изменчивость ΣT_{∂} , ΣT_n в пределах страны оказалась значительной. А именно, суммы дневных и ночных температур воздуха увеличиваются в направлении с севера на юг соответственно от 3100 °С и 2000 °С до более 3800 °С и 2500 °С. Выявлено, что разность ($\Sigma T_{\partial} - \Sigma T_n$) варьирует по территории от 1000-1100 °С до 1300-1400 °С.

Далее была выполнена типизация холмистого и низкогорного рельефов и составлена карто-схема, на которой выделено 6 мезорайонов, различающимся по базисам эрозии (т.е. ΔH_m). Они даны в виде второй нагрузки на картах с различной штриховкой для перехода к количественной оценке микроклиматической изменчивости ΣT_{∂} , ΣT_n в ведущих формах рельефа. Составлена расчетная таблица, содержащая микроклиматические параметры в виде $\Delta \Sigma T'_{\partial}$, $\Delta \Sigma T'_n$. С их помощью определены абсолютные значения $\Sigma T'_{\partial}$, $\Sigma T'_n$ для 228 экологических ниш с учетом возможных вариаций по базисам эрозии, формам рельефа и крутизне склонов в пределах страны.

Для определения экономически оправданной степени риска при размещении виноградников, садов и теплолюбивой группы однолетних культур выполнена вероятностная оценка возможных ΣT_{∂} и ΣT_n в отдельные годы относительно средних многолетних значений. На рис. 2.10 представлены номограммы обеспеченности для расчета вероятностных характеристик климатических ΣT_{∂} , ΣT_n на территории Молдовы.

В поле графика имеется ряд линий с вероятностью этих показателей от 5 до 95%. Зная средние многолетние значения ΣT_{∂} и ΣT_n , можно определить обеспеченность тепловых ресурсов дня и ночи в любом пункте. Если известны биологические суммы дневных и ночных температур ($\Sigma T_{\partial \delta}$, $\Sigma T_{n \delta}$) той или иной культуры, то с помощью номограмм можно оценить их теплообеспеченность в конкретной местности.

Например, на рис. 2.10 скобками указаны пределы биологических сумм дневных и ночных температур воздуха для четырех групп сортов винограда разной скороспелости. В благоприятных местоположениях (за исключением нижних частей склонов, их подножий и дна долин) обеспеченность теплом сортов очень раннего срока созревания высокая и составляет 80 – 100% (т.е. получение урожая винограда обеспечено здесь 8-10 раз в 10 лет). Для сортов среднеспелых теплообеспеченность в северных районах не превышает 30 – 50%, в центральных она возрастает до 60 – 80% и только на юге достигает 90 – 100%. Сорта средне-поздние не обеспечены теплом не только на севере страны, но и в центральных районах, где их теплообеспеченность по ΣT_{∂} , ΣT_n не превышает 30-50%. В юго-восточных районах эти сорта обеспечены теплом на 70 – 80% и только в

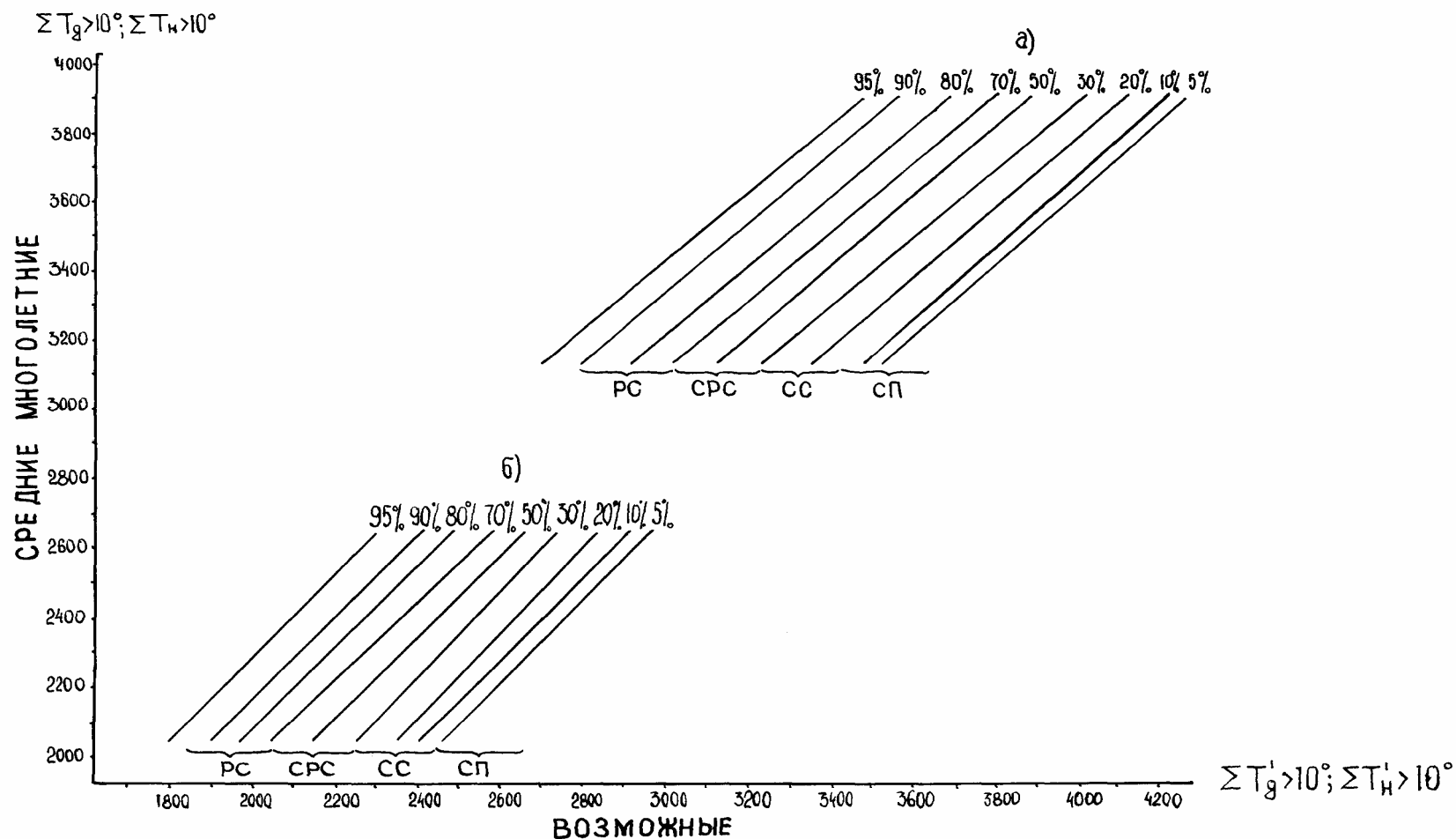


Рис 2.10. Номограммы обеспеченности для расчета вероятностных характеристик тепловых ресурсов дня (а) по ΣT_d и ночи (б) по ΣT_n на территории Молдовы. Биологические суммы температур ($\Sigma T_{дб}$, $\Sigma T_{нб}$ выше 10°C) для сортов винограда по срокам созревания: РС – раннеспелые; CPC – среднераннеспелые; CC – среднеспелые; СП – среднепоздние

южном районе они обеспечены теплом на 90 – 100% (т.е. можно получать урожай ягод винограда 8 – 9 раз в 10 лет).

Позднее аналогичные разработки были выполнены применительно к территории Одесской области Украины. Задача решалась в три этапа. Сначала был создан банк данных по показателям термического режима к тепловых ресурсов дня и ночи для 19-ти метеорологических станций, равномерно освещающих территорию области. Средние многолетние значения T_{∂} , T_n были определены для каждого месяца с апреля по октябрь по соответствующим уравнениям связи между: T_{∂} и \bar{T}_{\max} ; T_n и T_{\min} . Далее для каждой станции были построены графики неполного годового хода T_{∂} , T_n . С их помощью определены: даты перехода T_{∂} и T_n через 10 °С весной и осенью ($D_{\partial в}$, $D_{\partial о}$, $D_{н в}$, $D_{н о}$); продолжительность теплого периода с T_{∂} и T_n выше 10 °С (N_{∂} , N_n); суммы активных дневных и ночных температур воздуха выше 10 °С (ΣT_{∂} , ΣT_n).

Для сравнительной оценки показателей тепловых ресурсов дня и ночи с традиционными в виде сумм средних суточных температур воздуха (ΣT_c) и продолжительности теплого периода с T_c выше 10 °С (N_c) установлены взаимосвязи между ΣT_{∂} и ΣT_c , ΣT_n и ΣT_c , N_{∂} и N_c , N_n и N_c . В качестве исходной информации использованы многолетние данные метеорологических станций не только Одесской области, но и Молдовы, которая по климатическим условиям близка к рассматриваемой территории.

Уравнения прямолинейной регрессии имеют следующий вид

$$\Sigma T_{\partial} = 1,02 \Sigma T_c + 390,1, \quad r = 0,87 \quad (2.29)$$

$$\Sigma T_n = 0,65 \Sigma T_c + 270,7, \quad r = 0,87 \quad (2.30)$$

$$N_{\partial} = 1,2 N_c - 18,0, \quad r = 0,85 \quad (2.31)$$

$$N_n = 0,98 N_c - 20,6. \quad r = 0,79 \quad (2.32)$$

Коэффициенты корреляции (r) колеблются в пределах 0,78 – 0,87. Это свидетельствует о достаточно высокой тесноте связей между рассмотренными показателями тепловых ресурсов.

В табл. 2.11 дана количественная оценка соотношений ΣT_{∂} , ΣT_n с ΣT_c , а также ΣT_{∂} с ΣT_n на территории Одесской области. Из нее наглядно видно, что разность в виде $(\Sigma T_{\partial} - \Sigma T_c)$ повсеместно положительная. Это свидетельствует о том, что ΣT_{∂} превышают ΣT_c в пределах области на 400 – 800 °С. Разность в виде $(\Sigma T_n - \Sigma T_c)$ везде отрицательная, т.е. ΣT_n оказывается на – 600, – 1200 °С ниже ΣT_c . Условный показатель

$K_1 = \Sigma T_{\partial} / \Sigma T_n$, характеризующий превышение тепла днем по сравнению с теплом ночью, а также степень континентальности климата, заметно варьирует на равнинных землях с холмистым рельефом от 1,42 до 1,87. В прибрежных районах Черного моря или крупных водоемов значения K_1 снижаются до 1,10-1,20 (ст. Одесса, порт; Белгород-Днестровский, Приморский курорт).

Таблица 2.11. Количественная оценка соотношений ΣT_{∂} , ΣT_n с ΣT_c выше 10 °С и ΣT_{∂} с ΣT_n в различных районах Одесской области

Станция	ΣT_c , °С	$(\Sigma T_{\partial} - \Sigma T_c)$	$(\Sigma T_n - \Sigma T_c)$	$(\Sigma T_{\partial} - \Sigma T_n)$	K_1
Любашевка	2960	491	-773	1264	1,58
Котовск	2905	491	-685	1096	1,49
Затишье	3060	388	-629	1017	1,42
Сербка	3210	373	-1293	1666	1,87
Раздельная	3205	474	-678	1152	1,46
Одесса АМГС	3185	533	-735	1268	1,52
Сарата	3280	881	-939	1820	1,78
Болград	3395	827	-849	1676	1,66
Измаил	3515	579	-785	1364	1,50

На втором этапе исследований выполнено комплексное агроклиматическое районирование показателей тепловых ресурсов дня и ночи. В качестве картографической основы использована физико-географическая карта среднего масштаба (1:500000). На карте выделено 8 мезорайонов по суммам дневных и ночных температур воздуха выше 10 °С, характеризующих условия открытого ровного места (Рис. 2.11).

Далее, применив методику уплотнения агроклиматической информации, были определены для каждого мезорайона значения сопутствующих показателей тепловых ресурсов дня и ночи: продолжительность теплого периода с T_{∂} выше 10 °С (N_{∂}); продолжительность теплого периода с T_n выше 10 °С (N_n). к карте прилагается легенда в виде табл. 2.12.

Наглядно видно, что ΣT_{∂} и ΣT_n на территории Одесской области увеличиваются в направлении с севера на юг. Например, в мезорайоне 1 суммы дневных и ночных температур воздуха не превышают 3300 °С и 2200 °С, а на юге (мезорайон 8) они возрастают до 4000 – 4100 °С и более 2600 °С. Повсеместно ΣT_{∂} оказались на 450 – 550 °С выше, а ΣT_n на 680 – 850 °С ниже чем традиционные суммы средних суточных температур воздуха выше 10 °С (ΣT_c).

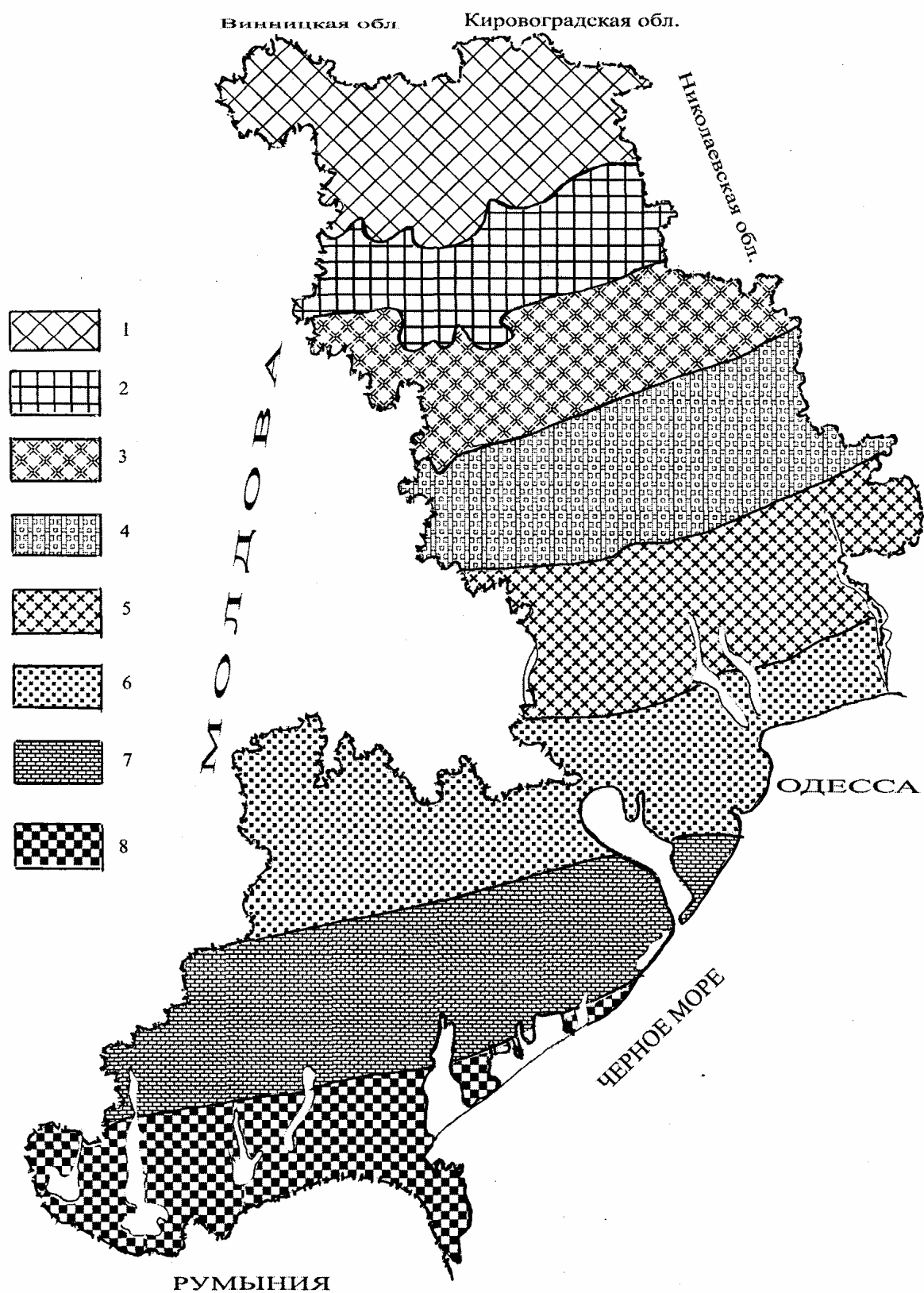


Рис. 2.11. Комплексное агроклиматическое районирование показателей тепловых ресурсов дня и ночи на территории Одесской области.
Мезорайоны 1 – 8 (см. табл. 2.13)

**Таблица 2.12. Агроклиматическая оценка мезорайонов в Одесской области
по тепловым ресурсам дня и ночи**

Мезорайон	$\Sigma T_{\partial}, ^\circ\text{C}$	$\Sigma T_{H}, ^\circ\text{C}$	N_{∂} , дни	N_H , ночи	$(\Sigma T_{\partial} - \Sigma T_H)$
1	≤ 3300	≤ 2200	186 – 188	146 – 148	1100
2	3300 – 3400	2200 – 2250	188 – 192	148 – 151	1100 – 1150
3	3400 – 3500	2250 – 2300	192 – 196	151 – 155	1150 – 1200
4	3500 – 3600	2300 – 2400	196 – 200	155 – 158	1200
5	3600 – 3700	2400 – 2450	200 – 204	158 – 161	1200 – 1250
6	3700 – 3800	2450 – 2500	204 – 209	161 – 165	1250 – 1300
7	3800 – 4000	2500 – 2600	209 – 212	165 – 168	1300 – 1400
8	4000 – 4100	> 2600	212 – 215	168 – 170	1400 – 1500

Зональные различия в ΣT_{∂} и ΣT_n в пределах области значительны и составляют соответственно 700 – 800 °С и 400 – 500 °С. Суммы дневных температур оказываются больше сумм ночных температур в мезорайоне 1 на 1000 – 1100 °С, а на юге в мезорайоне 8 на 1400 – 1500 °С. Продолжительность теплого периода с T_{∂} выше 10 °С (N_{∂}) увеличивается в направлении с севера на юг от 186 до 215 дней. А продолжительность теплого периода с T_n выше 10 °С изменяется в том же направлении от 146 до 170 ночей.

На территории Одесской области значительные площади земельных угодий расположены в условиях слабо-всхолмленного и холмистого рельефа. Поэтому представляет научный и практический интерес количественная оценка мезо и микроклиматической изменчивости ΣT_{∂} и ΣT_n в разных местоположениях рельефа по сравнению с открытым ровным местом. Для этой цели использована расчетная схема мезо и микроклиматической изменчивости сумм дневных и сумм ночных температур воздуха выше 10 °С в холмистом и горном рельефе на территории СНГ, представленная в § 2.4.

Расчеты абсолютных значений ΣT_{∂} и ΣT_n для ведущих форм микрорельефа в зависимости от базисов эрозии (ΔH_m) выполнены с помощью табл. 2.9 и формул 2.24 и 2.25 (см. §2.4). Результаты этой работы представлены в табл. 2.13, которая является второй легендой к агроклиматической карте (рис. 2.11). Наглядно видно, что во всех мезорайонах имеют место значительные различия в ΣT_{∂} и ΣT_n в разных местоположениях рельефа по сравнению с открытым ровным местом. Эти различия увеличиваются с возрастанием базисов эрозии (ΔH_m) и уклонов местности.

В пределах области днем вершины открытых холмов и водораздельные плато за счет усиления ветрового потока и турбулентности воздушных масс оказываются на 50 – 150 °С холоднее, а замкнутые узкие долины и котловины со слабым воздухообменом на 100 – 150 °С теплее открытого ровного места на равнинных землях. Ночью соотношения в ресурсах тепла изменяется на обратное. А именно, вершины холмов оказываются на 100 – 250 °С теплее, а замкнутые долины и котловины на 150 – 250 °С холоднее нормальных местоположений, соответствующих условиям открытого ровного места.

Например, в мезорайоне 2 в холмистом рельефе ΣT_{∂} и ΣT_n на открытых вершинах составляют 3200 – 3250 °С и 2450 – 2500 °С, а в замкнутых долинах 3450 – 3550 °С и 2050 – 2100 °С. На юге в мезорайоне 8 абсолютные значения ΣT_{∂} , ΣT_n увеличиваются во всех местоположениях. В условиях холмистого рельефа ΣT_{∂} и ΣT_n на открытых вершинах

Таблица 2.13. Оценка тепловых ресурсов дня и ночи по ΣT_{∂} , $\Sigma T_{н}$ выше 10 °С в различных мезорайонах с учетом микроклимата

Мезорайон	Тип рельефа	Параметр	Вершина, верх склона	Середина склона	Широкая долина	Узкая долина, котловина	Вершина – котловина, °С
2	СВР	ΣT_{∂} $\Sigma T_{н}$	3250 – 3300 2300 – 2450	3250 – 3350 2250 – 2350	3350 – 3450 2100 – 2150	3400 – 3500 2050 – 2150	-150, -200 +250, +350
	ХР	ΣT_{∂} $\Sigma T_{н}$	3200 – 3250 2450 – 2500	3250 – 3300 2300 – 2400	3400 – 3500 2050 – 2100	3450 – 3550 2050 - 2030	-250, -300 +400, +450
5	СВР	ΣT_{∂} $\Sigma T_{н}$	3550 – 3600 2500 – 2600	3550 – 3650 2450 – 2500	3650 – 3750 2300 – 2350	3700 – 3800 2250 – 2300	-150, -200 +250, +300
	ХР	ΣT_{∂} $\Sigma T_{н}$	3500 – 3550 2600 – 2700	3550 – 3650 2500 – 2600	3700 – 3850 2250 – 2300	3750 – 3850 2200 – 2250	-250, -300 +400, +450
8	СВР	ΣT_{∂} $\Sigma T_{н}$	3950 – 4000 2700 – 2750	3950 – 4050 2650 – 2700	4050 – 4200 2500 – 2550	4100 – 4250 2450 – 2500	-150, -250 +250, +250
	ХР	ΣT_{∂} $\Sigma T_{н}$	3900 – 3950 2800 – 2850	3950 – 4050 2700 – 2750	4100 – 4200 2400 – 2450	4150 – 4250 2400 - 2400	-250, -300 +400. +450

Примечание. СВР – слабо-всхолмленный рельеф с $\Delta H_{м} \leq 50$ м; ХР – холмистый рельеф с $\Delta H_{м} \approx 60 - 150$ м.

возрастают до 3900 – 3950 °С и 2800 – 2850 °С, а в замкнутых долинах соответственно до 4150 – 4250 °С и 2400 – 2450 °С.

Диапазон микроклиматических различий в ресурсах тепла значителен и составляет в холмистом рельефе днем 250 – 350 °С, а ночью 400 – 450 °С. Полученные материалы являются научной основой для оптимизации размещения однолетних и многолетних культур в пределах каждого мезорайона Одесской области. Они также могут быть использованы для составления микроклиматических карт тепловых ресурсов расчетным путем с целью научного обоснования микрорайонирования культурных растений на территориях отдельных хозяйств.

3 АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ДЕЯТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ПОЧВЫ С УЧЕТОМ МИКРОКЛИМАТА

3.1. Состояние изученности теплового режима почвы и деятельной поверхности в странах СНГ

Климат почвы является, важной составной частью географической среды, оказывающей непосредственное влияние на сельскохозяйственное производство, рост и урожайность растений, на проведение полевых работ. В то же время становится вполне доступным регулирование климата почвы – температурного, водного и воздушного режимов различных почв. Большие и систематические исследования элементов климата почвы проводились на территории бывшего СССР, начиная с 30-х годов двадцатого столетия как на сети агрометеорологических станций так и научными учреждениями. За последние тридцать лет появилось много новых работ, имеющих существенное значение в познании климата почвы и его регулирования. Однако большинство работ и даже отдельные монографии посвящены изучению либо водного режима почв, либо температурного режима почв [3, 18, 28, 37, 52, 73, 91].

Постановка вопроса о климате почвы принадлежит виднейшим почвоведом, которые отмечали, что атмосферно-климатические условия не тождественны почвенно-климатическим условиям и что последние зависят как от климата атмосферы, так и от самой почвы. По существу П.А. Костычев впервые выдвинул вопрос о климате почвы, рассматривая его как преломление атмосферного климата через специфические особенности и свойства почвы. В.В. Докучаев показал значимость влаги и температуры почвы в почвообразовательном процессе.

В области агроклиматологии вопрос о климате почвы и почвенной климатологии впервые поднял П.И. Колосков. По его определению, климат почвы есть совокупность внутрипочвенных явлений годовой и суточной цикличности, влияющих на жизнь и продуктивность почвы. По его мнению "Почвенная климатология" должна заниматься изучением формирования и развития почвенного климата, его географического распределения, картографированием показателей климата почв отдельных регионов, а также разработкой теории и практики управления почвенным климатом. Позднее А.М. Шульгин [112] уточнил и развил понятие о климате почвы. Под ним следует понимать многолетний режим температуры и влажности почвы, почвенного воздуха и других элементов, зависящих от комплекса природных условий и производственной деятельности человека.

Почвенный климат имеет много общего с климатом атмосферы. Обоим присущи суточный и годовой ход их элементов, распределение в

пространстве, изменение во времени, связь с окружающими явлениями природы. Наряду с этим почвенный климат имеет и специфические особенности. Первая особенность почвенного климата связана со средой его формирования. Атмосферный климат представляет собой физические явления, протекающие в воздушной оболочке земли (т.е. в смеси газов), почвенный климат формируется в почве, которая является био-органоминеральной системой, имеющей свои законы развития. Вторая особенность почвенного климата обусловлена наличием растительного и снежного покрова, корней растений и микроорганизмами, оказывающих большое влияние на жизнь почвы и ее климат. Третьей особенностью почвенного климата является значительное влияние на него деятельности человека. Четвертая особенность заключается в большой изменчивости почвенного климата как во времени, так и в пространстве. Это обусловлено тем, что почва неоднородна по своему составу и свойствам даже на малых площадях, в том числе на территориях отдельных хозяйств [24, 36, 68, 77].

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

По масштабам проявления климата почвы различают: 1) климат почв природных и почвенных зон и подзон (макроклимат почвы); 2) климат почвооднородной природной территории (ландшафта), который можно назвать местным климатом почвы; 3) микроклимат ограниченных территорий, где проявляются все особенности местного климата почвы, меняющиеся на малых площадях под влиянием различия в почвенном покрове и его механическом составе, а также в сложном рельефе растительного покрова и др.

Огромное значение имеет почвенный климат для земледелия. Прорастание семян большинства культурных растений зависит от температуры и влажности почвы. Образование узлов кущения зерновых культур, интенсивность и продолжительность кущения этих растений связаны с температурой и влажностью поверхностных слоев почвы. Почвенный климат оказывает большое влияние на темпы роста и развития технических культур, включая подсолнечник, а также овощных культур и сеяных трав. Климат поверхностных слоев почвы играет решающую роль в перезимовке озимых растений и многолетних трав. Почвенный климат оказывает значительное влияние также и на продуктивность культурных растений, эффективность обработки пахотного слоя почвы и всего

комплекса воздействий на почву, сроки проведения полевых работ весной и осенью во многом зависят от почвенного климата.

Таким образом, климат почвы можно рассматривать как природный ресурс территории и компонент природной среды. Остановимся на рассмотрении научных достижений по изучению теплового режима различных почв, а также деятельной поверхности в теплое время года. В этом направлении к настоящему времени выполнены глубокие исследования по температурному режиму и ресурсам тепла в пахотном слое почвы в различных регионах России, Беларуси, Украине, а также в странах Балтии [23, 28, 36, 39, 112 и др.]. Изучены тепловые свойства почвы и энергетический механизм формирования температурного режима различных почв с охватом сезонов года. Согласно исследованиям М.И. Будыко [13] и других авторов, основным источником тепла, поступающего в почву, является лучистая энергия Солнца, которая поглощается поверхностью почвы, превращается в тепловую энергию и передается в верхние, а затем в более глубокие слои. При излучении почвой ночью расход тепла превышает приход, поверхность почвы охлаждается, и это охлаждение также передается в верхние слои и глубже. Таким образом, поверхность почвы, поглощающая и излучающая тепловую энергию, регулирует тепловой режим почвы.

Приход и расход лучистой энергии на поверхности земли (деятельная поверхность) выражаются следующим уравнением радиационного баланса:

$$R = Q(1 - A) - E_{эф}, \quad (3.1)$$

где R – радиационный баланс, Q – суммарная солнечная радиация, A – альбедо, $E_{эф}$ – эффективное излучение земли (разность между собственным излучением земли и встречным излучением атмосферы).

Остаточная радиация приводит к нагреванию почвы и воздуха, часть ее расходуется на испарение с поверхности почвы и растений, на таяние снега и на биологические процессы – фотосинтез, дыхание и др. Тепловой баланс поверхности почвы выражают следующим уравнением:

$$R = LE + P + B, \quad (3.2)$$

где R – радиационный баланс деятельной поверхности LE – количество тепла, расходуемое на испарение; P – количество тепла, идущее на нагревание воздуха; B – тепло, расходуемое на нагревание почвы. Поток тепла в почву или из почвы (B) определяет нагревание и охлаждение различных почв.

Важнейшими тепловыми характеристиками почвы являются объемная теплоемкость (C_n), коэффициент теплопроводности (λ) и

коэффициент температуропроводности (a). Эти величины связаны между собой уравнением

$$a = \frac{\lambda}{C_n}. \quad (3.3)$$

В почвах с малым коэффициентом температуропроводности суточные и годовые колебания температуры затухают на меньших глубинах, чем на почвах с более высоким коэффициентом a . Коэффициент температуропроводности зависит от влажности почвы и содержания в ней воздуха. Объемная теплоемкость (C_n) растет вместе с увеличением влажности почвы.

Согласно исследованиям Н.А. Качинского [37], механический состав почвы является одним из важнейших признаков при качественной оценке земли, в связи с чем имеет большое агроклиматическое значение. Им создана классификация почв, различающихся по механическому составу на тяжелосуглинистые, глинистые, среднесуглинистые, легкосуглинистые, супесчаные, песчаные и др. Тяжелосуглинистые и глинистые почвы выделены в группу почв с наиболее тяжелым механическим составом. Для них характерна высокая влагоемкость при малой водопроницаемости и недостаточное содержание воздуха. По температурно-влажностному режиму эти почвы относятся к категории холодных и переувлажненных.

По сравнению с глинистыми почвами среднесуглинистые и легкосуглинистые почвы отличаются более благоприятными водно-физическими свойствами. При хорошей водопроницаемости они способны удерживать воду, содержат достаточное количество воздуха. Почвы богаты питательными веществами и считаются лучшими по условиям тепло и влагообеспеченности для сельского хозяйства.

Супесчаные почвы относятся к почвам легкого механического состава. При хорошей водопроницаемости они отличаются небольшой влагоемкостью и содержат много воздуха. По условиям термического режима – это теплые почвы и менее увлажненные, чем средние суглинки.

Песчаные почвы плохо удерживают воду, отличаются повышенной водопроницаемостью при малой влагоемкости. Поэтому песчаные почвы сухие, содержат много воздуха. По условиям термического режима песчаные почвы относятся к категории наиболее теплых почв. Они легки в обработке и для условий севера являются весьма ценными почвами.

Установлено, что почва отличается большим разнообразием теплофизических свойств, так как неоднородна по механическому составу и типу не только в зональном разрезе, но и на близкорасположенных участках. Поэтому в 60 – 70-ые годы проведены многочисленные исследования, посвященные количественной оценке термического режима

различных почв, как на равнинных землях, так и в условиях холмистого рельефа [5, 22, 24, 46, 57, 63, 68, 91, 112].

Например, Архипова Е.П. [57] количественно оценила температуру основных типов почв с мая по август и составила карты географического распределения температуры поверхности почвы за теплый период для территории бывшего СССР. Ею были составлены карты распределения средней месячной температуры суглинистой почвы под черным паром на глубине 5 и 10 см, а также картосхемы разностей между температурами пахотных слоев песчаной и суглинистой почвы в мае, июне, июле и августе для той же территории. Наиболее теплыми на 2 – 3 °С оказались песчаные почвы по сравнению со среднесуглинистыми почвами.

Более обобщающие исследования по тепловому режиму почв на территории бывшего СССР были выполнены В.Н. Димо [28]. Ею составлены карты распределения температуры почвы на глубине 20 см в самый теплый и самый холодный месяц, годовой амплитуды температуры почвы и разработана классификация температурного режима почвы. Для этой цели составлена весьма схематическая карта сумм активных температур почвы на глубине 20 см за теплый период с температурой воздуха выше 10 °С. На ней выделено 10 макрорайонов с интервалом в 800 °С. Суммы температур почвы изменяются в направлении с севера на юг от 400 °С до 6800 °С. Причем они оказались значительно выше сумм температуры воздуха на уровне будки.

Ею введен коэффициент, выражающий степень нагреваемости почвы (K_n). Он определяется по формуле

$$K_n = \frac{\sum T_n > 10^\circ \text{C}}{\sum T_c > 10^\circ \text{C}}, \quad (3.4)$$

где $\sum T_n$ - сумма температур почвы на глубине 20 см выше 10 °С; $\sum T_c$ - суммы среднесуточных температур воздуха выше 10 °С. Следует заметить, что все оценки по тепловому режиму почвы даны в усредненном виде без учета механического состава.

Весьма интересные и подробные исследования по термическому режиму и тепловым ресурсам почв разного механического состава были проведены рядом автором с последующим картографированием и районированием термических показателей в пределах ряда административных областей и регионов России [22, 24, 34, 36, 39, 57, 112].

Например, И.А. Гольцберг [22] впервые выполнила комплексное районирование показателей тепловых ресурсов почв разного механического состава на территории Вологодской области. Для этой цели были использованы следующие показатели почвы на глубине 10 – 20 см:

даты начала и конца вегетационного периода с температурой почвы (T_n) выше 10 °С; продолжительность теплого периода ($N_{\text{тп}}$), суммы температуры почвы за теплый период с T_n выше 10 °С. В качестве картографической основы использовались почвенная карта в рабочем масштабе 1:1500000. Это позволило выделить ряд мезорайонов не классическим методом проведения изолиний, а с выделением площадей с разным механическим составом почв.

Позднее аналогичные разработки были выполнены Н.Г. Горышиной [24], П.Х. Карингом [36]. В.С. Клыпучо [23], Слядневым [39] и др. применительно к Санкт – Петербургской, Псковской и Новосибирской областям, северо-западу России, включая Карелию и Эстонию. При этом помимо количественной оценки сумм температур различных почв на глубине 5, 10, 20 см, учитывались продолжительность теплого периода, а также составляющие теплового баланса.

Одним из наиболее важных климатических показателей, определяющих интенсивность физико-географических процессов и непосредственно влияющих на жизнь растений является температура деятельной поверхности. Ее учет важен при исследовании процессов фотосинтеза, дыхания и транспирации растений, а также для уточнения агроклиматических расчетов, связанных с оценкой тепловых ресурсов на ограниченных территориях. Поэтому в 70 – 80ые годы прошлого столетия были проведены обширные исследования по температуре деятельной поверхности и самих растений [13, 57, 62, 63, 80, 112 и др.]

Например, З.А. Мищенко [57, 63] выполнила сравнительную оценку прямого и расчетного методов определения температуры деятельной поверхности в суточном ходе на основе экспериментальных исследований. Применив метод теплового баланса, она составила фоновые карты радиационного нагрева деятельной поверхности днем ($T_{\partial w} - T_{\partial}$) по сравнению с T_{∂} в воздухе на территории бывшего СССР с мая по август. Ею также дана количественная оценка микроклиматической изменчивости $T_{\partial w}$ и ΣT_{∂} за теплый период с T_{∂} выше 10 °С в холмистом рельефе на северных и южных склонах крутизной 5, 10, 15, 20° в пределах СНГ.

На территории Украины исследования по термическому режиму и тепловым ресурсам на поверхности и в пахотном слое почвы проводились фрагментарно и в весьма ограниченном виде. Поэтому в данной главе ставится задача восполнить этот пробел, принимая во внимание актуальность проведения исследований по почвенному климату и его влияния на продуктивность сельскохозяйственных культур.

3.2. Сравнительная оценка показателей ресурсов тепла в воздухе, пахотном слое почвы и методы их расчетов

К агроклиматическим показателям, отличающихся чувствительностью к микроклимату, т.е. к неоднородностям деятельной поверхности, несомненно относятся характеристики климата почвы. Поэтому представляет научный и практический интерес количественная оценка термического режима и тепловых ресурсов различных почв в слое 0 – 20 см на территории Украины.

Для этой цели был создан банк данных по основным показателем климата почвы разного механического состава с использованием многолетних наблюдений за температурой почвы на 150 метеорологических станциях страны с марта по ноябрь [82, 98]. Анализ этих данных позволил выявить географические особенности годового хода температуры на поверхности почвы ($T_{\text{пп}}$) и на и на глубинах 10, 20 см ($T_{\text{п}}$, $T'_{\text{п}}$) в сравнении с годовым ходом средней месячной температуры воздуха ($T_{\text{с}}$).

Во всех регионах сохраняется общая закономерность: наиболее высокие температуры в теплое время года наблюдаются на поверхности почвы, наиболее низкие – в воздухе на уровне будки, т.е. на высоте 2 м от поверхности почвы. Крутизна всех кривых годового хода температуры возрастает в направлении с севера на юг с увеличением прихода солнечной радиации, а также с запада на восток с возрастанием степени континентальности климата. Как видно из рис. 3.1, на севере (ст. Глухов) в июле $T_{\text{пп}}$, $T_{\text{п}}$, $T'_{\text{п}}$ и $T_{\text{с}}$ не превышают соответственно 24,0 °С, 23,6, 20,8 и 18,6 °С. На юге (ст. Бехтеры) значения $T_{\text{пп}}$, $T_{\text{п}}$, $T'_{\text{п}}$ и $T_{\text{с}}$ увеличиваются до 29,0 °С, 27,4, 25,8 и 23,0 °С. Географическая изменчивость термических показателей на всех уровнях составляет 5-4 °С.

На рис. 3.2 представлены аналогичные данные для характеристики западного и восточного районов, расположенных примерно на одной широте. На западе (ст. Городок) $T_{\text{пп}}$, $T_{\text{п}}$, $T'_{\text{п}}$ и $T_{\text{с}}$ в июле не превышают 24,0 °С, 21,0 20,2 и 18,8 °С. На востоке (ст. Луганск) эти термические характеристики увеличиваются соответственно до 27,0 °С, 24,8 23,8 и 22,0 °С. Таким образом, с возрастанием континентальности климата летом температура на поверхности почвы и на глубинах 10, 20 см увеличивается на 6-4 °С, а температура воздуха на уровне будки изменяется только на 3 °С. В обоих случаях диапазон термических различий между температурой на поверхности почвы и в воздухе составил летом 5-6 °С, а весной и осенью 3-4 °С.

С помощью рабочих графиков годового хода температуры почвы, построенных для каждой станции Н.В. Кирнасовской были определены: а) даты перехода температуры почвы через 10 °С весной и осенью ($D_{\text{вп}}$, $D_{\text{оп}}$) на поверхности почвы и на глубинах 10, 20 см; б) продолжительность

теплого периода с $T_{\text{пп}}$, $T_{\text{п}}$ и $T'_{\text{п}}$ выше 10°C , т.е. на разных уровнях почвы ($N_{\text{пп}}$, $N_{\text{п}}$, $N'_{\text{п}}$); в) сумма активных температур выше 10°C на поверхности почвы и на ее глубинах ($\Sigma T_{\text{пп}}$, $\Sigma T_{\text{п}}$, $\Sigma T'_{\text{п}}$).

Неполные данные расчетов представлены в табл. 3.1 в сравнении с традиционными показателями тепловых ресурсов, рассчитанных по средней суточной температуре воздуха, выявлено, что повсеместно продолжительность теплого периода и суммы температур уменьшаются с увеличением глубины почвы наибольшие значения этих показателей характерны для поверхности почвы, а наименьшие – для глубины 20 см. Установлено также, что показатели тепловых ресурсов на всех уровнях почвы значительно выше, особенно на поверхности почвы и на глубине 10 см, чем в воздухе на уровне будки.

При сравнимости почвенного покрова тепловые ресурсы в пахотном слое почвы возрастают более чем в 1,5 раза в направлении с севера на юг страны. Например, в северных районах (станция 1, 2, 3) на супесчаных и легкосуглинистых почвах продолжительность теплого периода с $T_{\text{п}}$ выше 10°C на поверхности почвы и на глубине 20 см не превышают соответственно 154-167 дней и 150-158 дней. Суммы температур почвы на этих уровнях – $\Sigma T_{\text{пп}}$ и $\Sigma T'_{\text{п}}$ составляют 2766-2956 $^{\circ}\text{C}$ и 2489-2487 $^{\circ}\text{C}$. В южных районах (станция 7, 8, 9) на легкосуглинистых и среднесуглинистых почвах) продолжительность теплого периода на поверхности почвы и на глубине 20 см увеличивается соответственно до 195-212 дней и 194-210 дней. Значительно возрастают здесь и суммы температуры почвы. На поверхности почвы и на глубине 20 см они составляют 4130-4500 $^{\circ}\text{C}$ и 3800-4260 $^{\circ}\text{C}$. Наглядно видно, что $\Sigma T_{\text{пп}}$ и $\Sigma T_{\text{п}}$ во всех регионах оказываются в зависимости от механического состава почвы соответственно на 400 – 1000 $^{\circ}\text{C}$ и 200 – 800 $^{\circ}\text{C}$ выше чем $\Sigma T_{\text{с}}$ в воздухе на уровне будки.

Для получения комплексной оценки вышеуказанных показателей почвенного климата и сокращения трудоемких работ по картографированию каждого из них применена методика уплотнения климатической и агроклиматической информации, разработанная З.А. Мищенко [63, 55]. Суть ее заключается в установлении количественных зависимостей между известными и искомыми агроклиматическими показателями. В данном случае были установлены прямолинейные зависимости между: $\Sigma T_{\text{п}}$ на глубине 10 см с суммой $\Sigma T_{\text{с}}$ (сумма активных температур воздуха выше 10°C); $\Sigma T'_{\text{п}}$ на глубине 20 см с $\Sigma T_{\text{с}}$; продолжительностью теплого периода с $T_{\text{п}}$ выше 10°C на глубине почвы 10 см ($N_{\text{п}}$) и $N_{\text{пп}}$ (продолжительностью теплого периода со средней суточной температурой воздуха); $N'_{\text{п}}$ на глубине 20 см и $N_{\text{пп}}$. Объем выборки составил 150 станций, характеризующих равнинные земли вне влияния морей и территорий с горным рельефом.

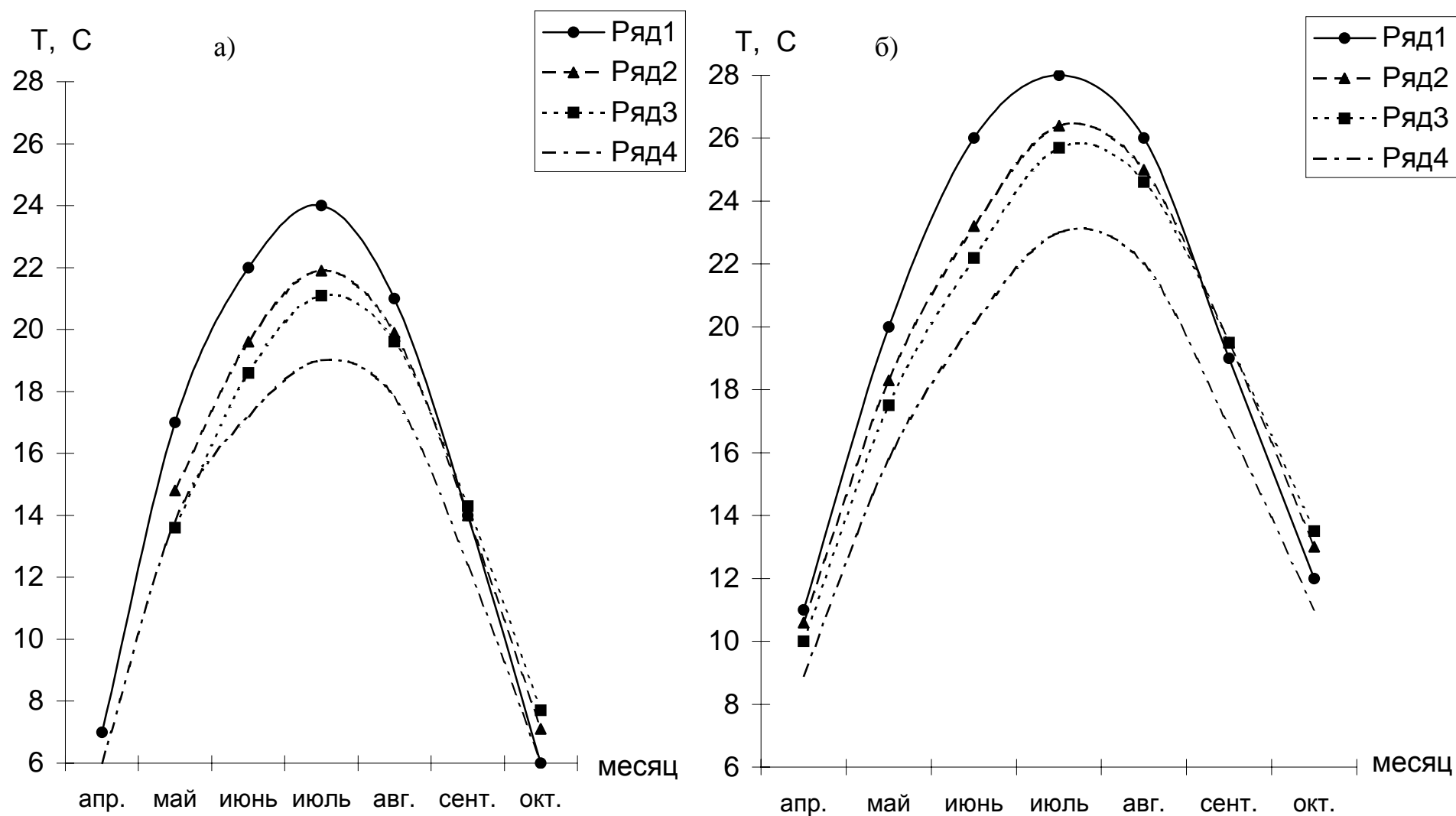


Рис. 3.1. Годовой ход температуры на поверхности легкосуглинистой почвы (1), на глубинах 10, 20 см (2, 3) и в воздухе (4): а) ст. Глухов; б) ст. Бехтеры

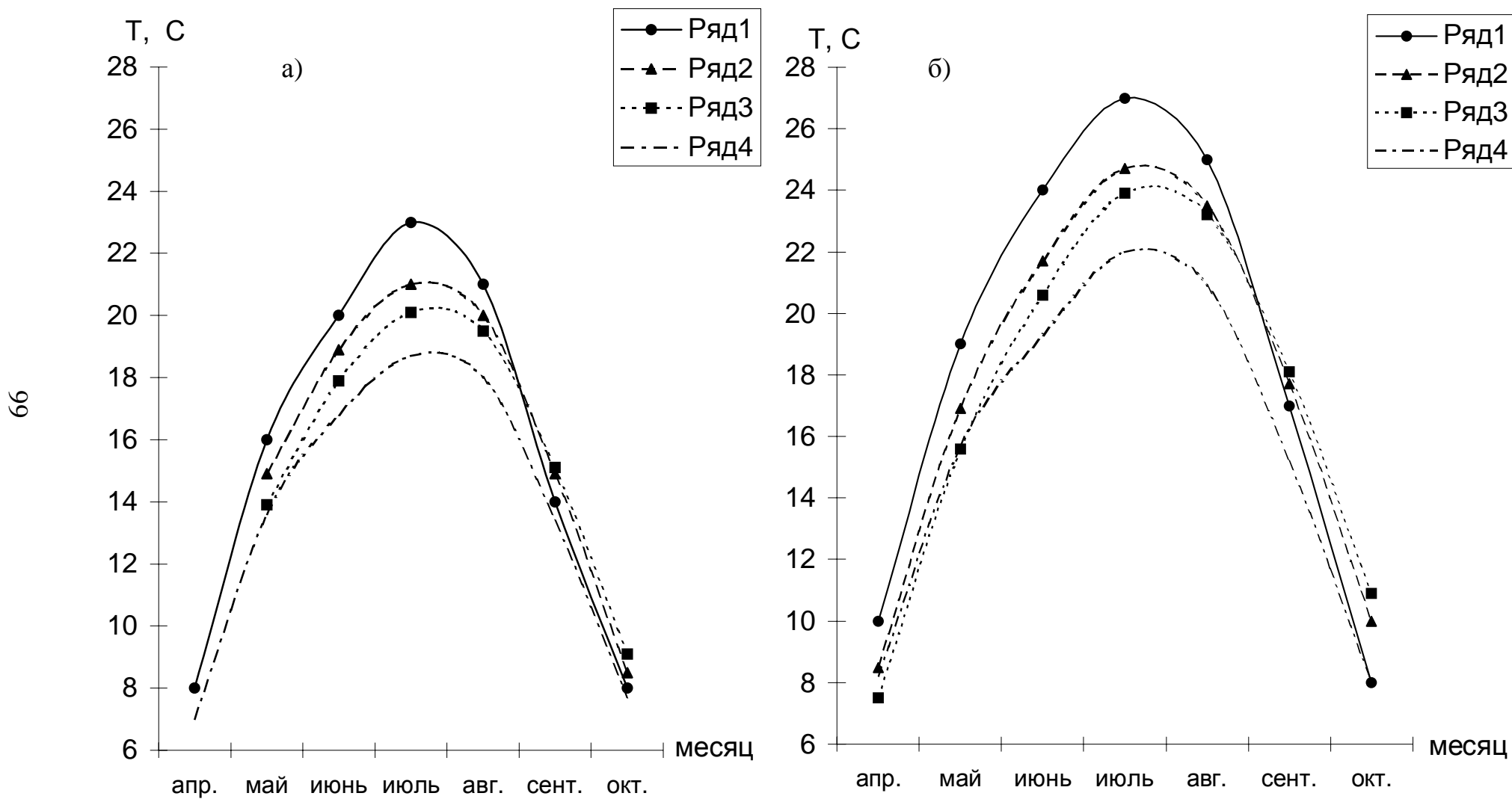


Рис. 3.2. Годовой ход температуры на поверхности тяжелосуглинистой почвы (1), на глубинах 10, 20 см (2, 3) и в воздухе (4): а) ст. Городок, б) ст. Луганск

Таблица 3.1. Агроклиматические показатели тепловых ресурсов почвы и в воздухе в различных районах Украины

Область, станция	Слой почвы	Показатели почвы				Показатели воздуха			
		Д _{вп}	Д _{оп}	N _п	ΣT _п >10 °C	Д _в	Д _о	N _{тп}	ΣT _с >10 °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Волынская, Любешев	0	20.04	4.10	167	2956	26.04	1.10	157	2495
	10	30.04	6.10	159	2789				
	20	4.05	8.10	157	2687				
Черниговская, Семеновка	0	22.04	30.09	161	2836	28.04	27.09	151	2495
	10	30.04	1.10	154	2613				
	20	3.05	8.10	158	2487				
Сумская, Хутор Михайловский	0	25.04	26.09	154	2766	29.04	26.09	149	2370
	10	3.05	2.10	152	2581				
	20	5.05	3.10	150	2489				
Хмельницкая, Городок	0	21.04	6.10	168	3000	27.04	4.10	159	2540
	10	1.05	9.10	162	2010				
	20	2.05	10.10	161	2712				
Черкасская, Умань	0	18.04	9.10	174	3357	25.04	5.10	162	2880
	10	21.04	11.10	173	3200				
	20	24.04	14.10	172	3120				
Донецка, Артемовск	0	15.04	9.10	177	3684	21.04	8.10	169	3025
	10	27.04	13.10	170	3290				
	20	30.04	16.10	169	3205				

Продолжение табл. 3.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Херсонска, Бехтеры	0	11.04	23.10	195	4129	19.04	20.10	183	3355
	10	14.04	24.10	193	3949				
	20	16.04	26.10	194	3813				
Крымская, Почтовое	0	3.04	24.10	204	4161	20.04	25.10	187	3161
	10	10.04	30.10	203	4072				
	20	12.04	30.10	201	3953				
Крымская, Никитский сад	0	6.04	4.11	212	4490	15.04	12.11	210	3885
	10	11.04	6.11	209	4407				
	20	12.04	8.11	210	4265				

Построены соответствующие графики связи между выше указанными термическими показателями тепловых ресурсов. На них разными знаками были обозначены почвы разного механического состава: песчаные, супесчаные, легкий суглинок, тяжелый суглинок, глинистые. Данные всех станций достаточно плотно легли рядом. Но в нижней части графиков связи разместились песчаные и супесчаные почвы, преобладающие в северо-западных и северных районах Украины. В верхней части этих графиков разместились тяжелосуглинистые и глинистые почвы, характерные для южных и юго-восточных районов.

Рассчитаны соответствующие уравнения зависимостей между: ΣT_n и ΣT_c , $\Sigma T'_n$ и ΣT_c ; N_n и N_{mn} , N'_n и N_{mn} . Они имеют следующий вид:

$$\Sigma T_n = 1,224 \cdot \Sigma T_c - 214,4, \quad r=0,97 \quad (3.5)$$

$$\Sigma T'_n = 1,18 \cdot \Sigma T_c - 173,1, \quad r=0,95 \quad (3.6)$$

$$N_n = 1,07 \cdot N_{mn} - 3,54, \quad r=0,93 \quad (3.7)$$

$$N'_n = 1,125 \cdot N_{mn} - 12,77, \quad r=0,94, \quad (3.8)$$

Коэффициенты корреляции (r) составляют 0,93-0,97, что указывает на высокую тесноту связей между показателями тепловых ресурсов почвы и приземного слоя воздуха.

Представляет научный и практический интерес рассмотрение взаимосвязи между показателями теплового режима на поверхности почвы и в воздухе на уровне будки. Для этой цели построены графики зависимости между: ΣT_{mn} и ΣT_c ; N_{mn} и N_{tp} . Как видно из рис. 3.3 и 3.4 между этими агроклиматическими показателями также существует тесная взаимосвязь. Наглядно видно, что при ΣT_{mn} равной 2850 °С ΣT_c не превышает 2400 °С, а при ΣT_{mn} равной 4300 °С ΣT_c увеличивается до 3440 °С. При N_{mn} равной 160 дням, значения N_{tp} не превышают 152 дня, а при N_{mn} равной 210 дней, N_{tp} составляет 198 дней.

Рассчитаны уравнения зависимости между ΣT_{mn} и ΣT_c ; N_{mn} и N_{tp} . Они имеют следующий вид:

$$\Sigma T_{mn} = 1,32 \cdot \Sigma T_c - 284,7; \quad r = 0,97 \quad (3.10)$$

$$N_{mn} = 1,08 \cdot N_{mn} - 4.73. \quad r = 0,92 \quad (3.11)$$

Коэффициенты корреляции (r) колеблются в пределах 0,92-0,97, что характеризует достаточно высокую тесноту связей между этими

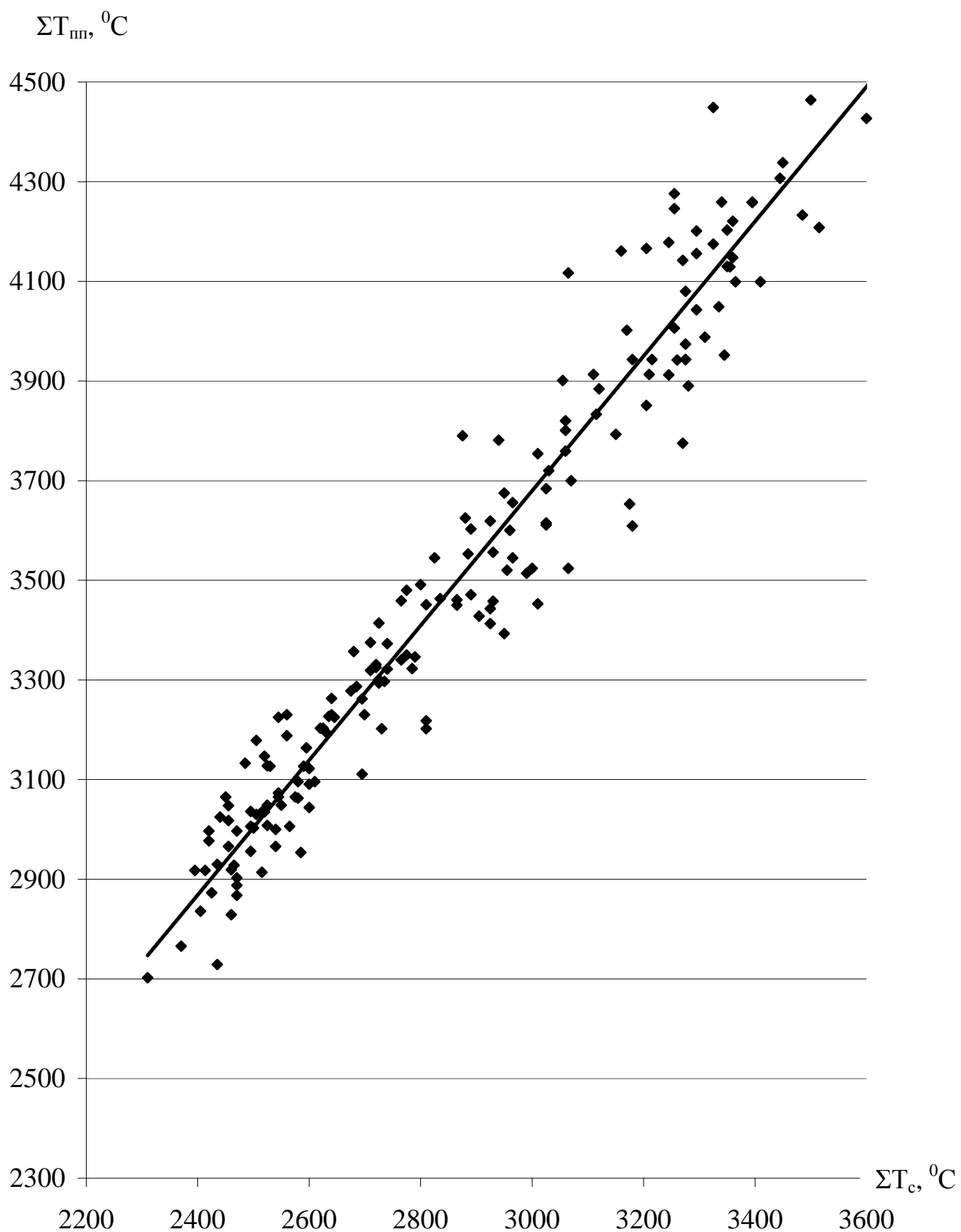


Рис. 3.3. Зависимость между суммами активных температур на поверхности почвы (ΣT_{III}) и суммами температур воздуха (ΣT_c) за теплый период с T_c выше $10 ^\circ\text{C}$

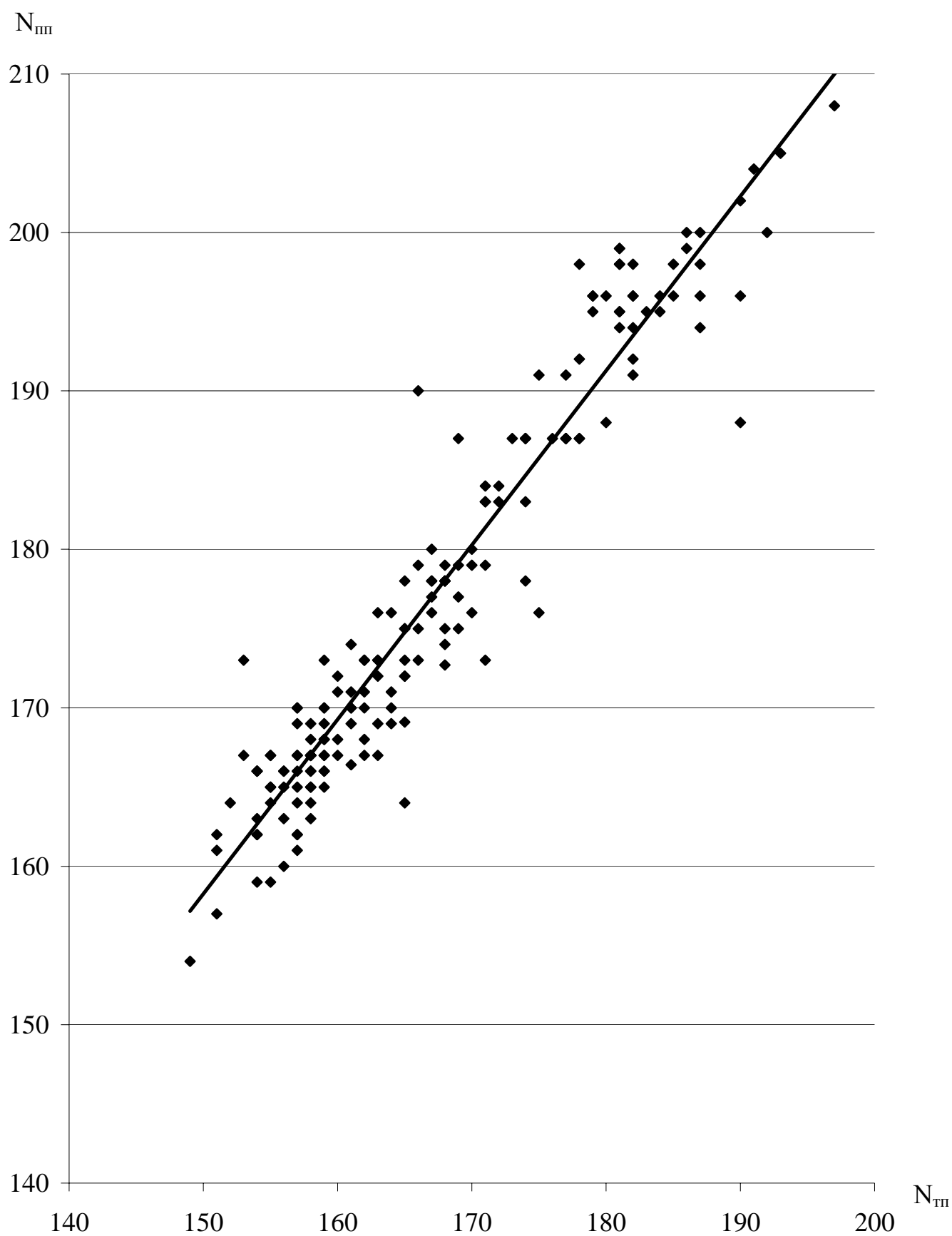


Рис. 3.4. Зависимость между продолжительностью теплого периода (дни) на поверхности почвы ($N_{\text{поверх}}$) и в воздухе ($N_{\text{воздух}}$) с $T_{\text{с}}$ выше 10°C

термическими показателями. Полученные уравнения связи между показателями теплового режима в воздухе, на поверхности и в пахотном слое почвы (3.5 – 3.10) в последующем были использованы для осуществления комплексного районирования ресурсов тепла в биологически-активном слое воздуха и почвы на территории Украины.

3.3. Комплексное районирование тепловых ресурсов в биологически-активном слое воздуха и почвы с учетом микроклимата

3.3.1. Агроклиматическое районирование показателей тепловых ресурсов почвы на территории Украины.

Следующая задача заключается в комплексном районировании показателей тепловых ресурсов в приземном слое воздуха и поверхностных слоях почвы. Для ее решения применена методика составления фоновых климатических и агроклиматических карт, разработанная И.А. Гольцберг [21] и З.А. Мищенко [63, 70]. На первом этапе были выделены на физико-географической карте Украины (рабочий масштаб 1:2000000) макрорайоны по основному показателю – суммам температуры почвы выше 10 °С на глубине 10 см, характеризующие условия открытого ровного места. При этом принимались во внимание данные отдельных станций, расположенных на средних суглинках. На втором этапе были определены отклонения $\Sigma T_{\text{п}}$ на ряде станций, расположенных на почвах разного механического состава от изолиний на карте. Это позволило количественно оценить микроклиматическую изменчивость $\Sigma T_{\text{п}}$ на песчаных, супесчаных, тяжелосуглинистых и глинистых почвах.

Далее для каждого макрорайона по формулам 3.5 – 3.10 и графикам связи определены значения для сопутствующих показателей климата почвы: $N_{\text{п}}$, $\Sigma T'_{\text{п}}$, $N'_{\text{п}}$, $\Sigma T_{\text{гп}}$, $N_{\text{гп}}$, $\Sigma T_{\text{с}}$ и $N_{\text{гп}}$. Результаты этой работы представлены на рис. 3.5 и табл. 3.2, которая является количественной легендой к выделенным макрорайонам на агроклиматической карте. Такой методический прием фактически позволяет осуществить комплексное районирование тепловых ресурсов на территории Украины по восьми показателям пахотного слоя почвы и воздуха на уровне будки (т.е. на высоте 2 м от поверхности почвы).

На агроклиматической карте выделено девять макрорайонов, существенно различающихся по тепловым ресурсам. Значения всех показателей возрастают в направлении с севера и северо-запада на юг и юго-восток страны. Например, суммы температур почвы на глубине 10 и 20 см ($\Sigma T_{\text{п}}$, $\Sigma T'_{\text{п}}$) в 1-ом и 2-ом макрорайонах не превышают 2600-2800 °С и 2500-2700 °С. Продолжительность теплого периода с $T_{\text{п}}$ выше 10 °С на

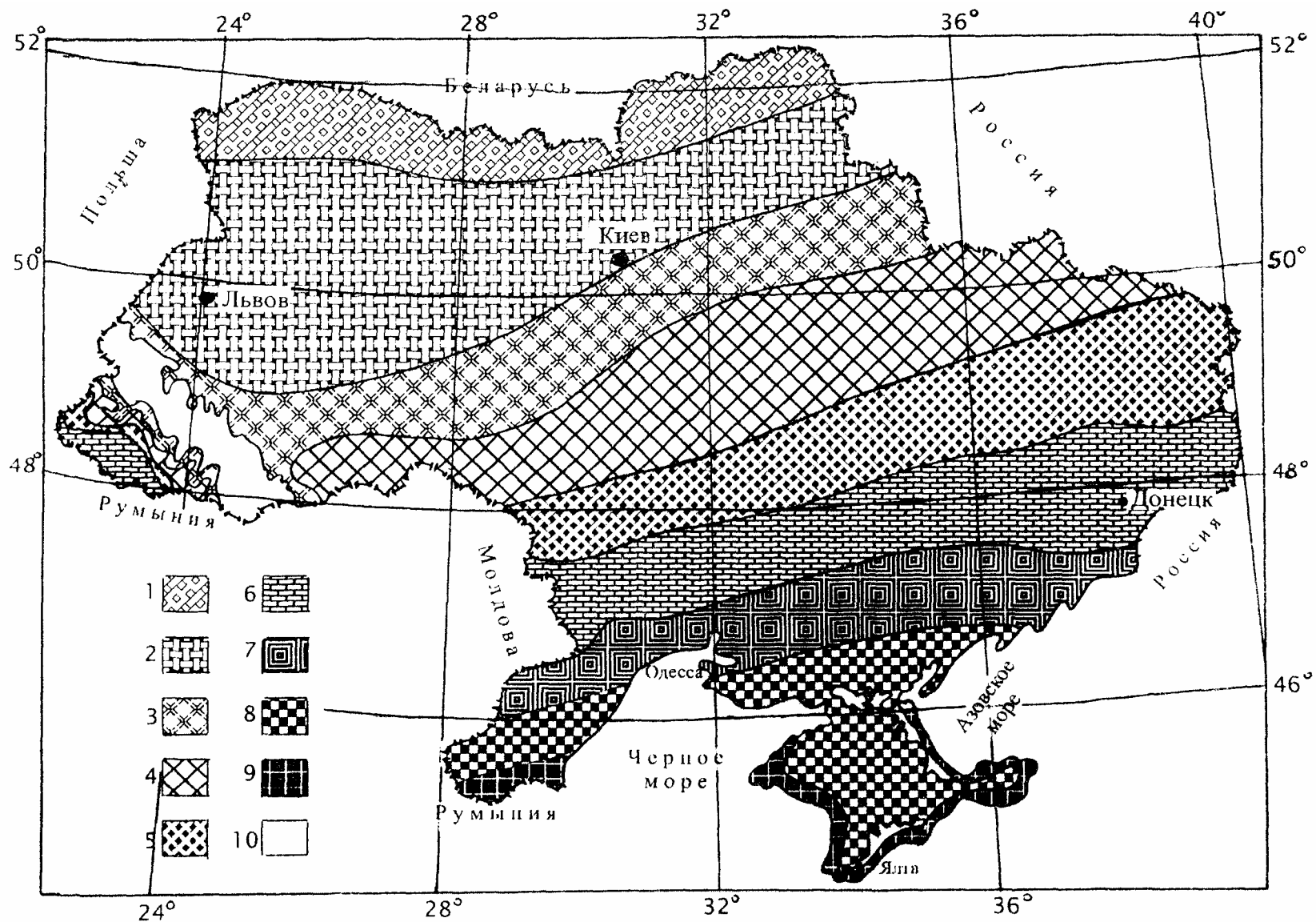


Рис. 3.5. Агроклиматическое районирование тепловых ресурсов в пахотном слое почвы и в воздухе на уровне будки.
Макрорайоны: 1 – 9 (см. в табл. 3.2.), 10 – горные районы

Таблица 3.2. Агроклиматическая оценка показателей тепловых ресурсов почвы на глубинах 10 см. и 20 см. и на поверхности почвы в различных макрорайонах Украины

Макрорайон	$\Sigma T_{п}, ^\circ C$	$N_{п}, \text{дни}$	$\Sigma T'_{п}, ^\circ C$	$N'_{п}, \text{дни}$	$\Sigma T_{пп}, ^\circ C$	$N_{пп}, \text{дни}$	$\Sigma T_{с}, ^\circ C$	$N_{тп}, \text{дни}$
1. Крайний северный, холодный	<2600	<155	<2540	<154	<2750	<155	<2300	<148
2. Северо-западный, относительно холодный	2600-2800	155-161	2540-2735	154-160	2750-2970	155-162	2300-2465	148-154
3. Центральный, прохладный	2800-3000	161-167	2735-2930	160-166	2970-3190	162-167	2465-2630	154-159
4. Центральный, умеренно прохладный	3000-3200	167-172	2930-3125	166-172	3190-3405	167-172	2630-2795	159-164
5. Центральный, умеренно теплый	3200-3400	172-177	3125-3320	172-177	3405-3625	164-169	2795-2960	172-178
6. Центральный, теплый	3400-3600	177-182	3320-3515	177-183	3625-3840	178-183	2960-3125	169-174
7. Южный, теплый	3600-3800	182-188	3515-3710	183-189	3840-4060	183-189	3125-3290	174-179
8. Южный, очень теплый	3800-4000	188-193	3710-3905	189-195	4060-4280	188-194	3290-3455	188-194
9. Южный, жаркий	4000-4200	193-200	3905-4100	195-197	4280-4470	194-197	3495-3600	184-187

глубине почвы 10 и 20 см (N_n , N'_n) в этих макрорайонах составляет 155-161 день и 152-158 дней.

В степных районах юга (макрорайоны 8, 9) значения этих показателей весьма существенно увеличиваются и составляют по ΣT_n и $\Sigma T'_n$ 3800-4000 °С, 4000-4200 °С и 3710-3900 °С, 3900-4100 °С. Соответственно продолжительность теплого периода на глубине почвы 10 и 20 см в этих макрорайонах составляет 188-193 дня, 193-200 дней и 189-195 дней, 195-197 дней. Диапазон географических различий в ΣT_n и N_n , $\Sigma T'_n$ и N'_n весьма значителен и составляет 1200-1400 °С и 40-45 дней, 1100-1300 °С и 35-40 дней.

Еще значительно изменяются на территории Украины тепловые ресурсы на поверхности среднесуглинистых почв. Как видно из рис. 3.5 и табл. 3.2, $\Sigma T_{\text{пп}}$ и $N_{\text{пп}}$ в северных районах (1,2 макрорайоны) не превышают 2750-2970 °С и 155-162 дня. На юге (макрорайоны 8,9) $\Sigma T_{\text{пп}}$ и $N_{\text{пп}}$ возрастают соответственно до 4000-4300 °С, 4300-4470 °С и 188-194, 194-197 дней. Диапазон географических различий составляет по $\Sigma T_{\text{пп}}$ 1530-1500 °С и по $N_{\text{пп}}$ 39-35 дней. Для сравнения в последних двух графах табл. 3.5 даны значения показателей тепловых ресурсов в воздухе на уровне будки. В северных районах значения ΣT_c и $N_{\text{тп}}$ не превышают 2300-2465 °С и 148-154 дня. В южных степях эти показатели увеличиваются до 3495-3600 °С и 184-187 дней.

Выявлена важная для сельскохозяйственного производства закономерность. На всех уровнях почвы (0, 10, 20 см) ресурсы тепла оказались значительно выше традиционного показателя в виде суммы активных температур воздуха выше 10 °С. Наглядно видно, что $\Sigma T_{\text{пп}}$ и ΣT_n превышают ΣT_c в северных районах страны (макрорайоны 1,2) на 450 °С и 300 °С. В центральных районах (макрорайоны 4,5) $\Sigma T_{\text{пп}}$ и ΣT_n оказались выше ΣT_c на 600 °С и 400 °С. На юге (макрорайоны 8,9) различия между $\Sigma T_{\text{пп}}$ и ΣT_c , ΣT_n и ΣT_c увеличились до 780 °С и более 500 °С. Это обусловлено радиационным нагревом деятельной поверхности и прилежащих слоев почвы по сравнению с воздухом на уровне будки, т.е. составляющими теплового баланса [13, 63].

Для сравнительной оценки нами определены коэффициенты нагреваемости среднесуглинистой почвы на ее поверхности и на глубинах 10 см и 20 см в виде

$$K_{nn} = \frac{\Sigma T_{nn}}{\Sigma T_c} \cdot 100\%; \quad K_n = \frac{\Sigma T_n}{\Sigma T_c} \cdot 100\%; \quad K'_n = \frac{\Sigma T'_n}{\Sigma T_c} \cdot 100\%. \quad (3.11)$$

Расчеты выполнены для 9-ти макрорайонов, выделенных на карте (рис. 3.5). Установлено, что все коэффициенты нагреваемости почвы увеличиваются в направлении с севера на юг (табл.3.3).

Таблица 3.3. Оценка нагреваемости почвы на ее поверхности и глубинах 10, 20 см в ряде макрорайонов Украины

макрорайон	$K_{пп}, \%$	$K_{п}, \%$	$K'_{п}, \%$
1, 2	19-20	12-13	10-11
4, 5	21-22	14-15	11-12
8, 9	25-26	15-16	12-13

Повсеместно суммы температур на поверхности почвы оказались выше ΣT_c в 1, 2 макрорайонах на 19-20 %, в 4, 5 макрорайонах на 21-22 %, а в 8, 9 макрорайонах на 25-26 %. За теплый период с $T_{п}$ выше 10 °С почва на глубине 10 см и 20 см оказалась теплее воздуха на уровне будки: в 1, 2 макрорайонах на 12-13 % и 10-11 %; в 4, 5 макрорайонах на 14-15 % и 11-12 %; в 8,9 макрорайонах на 15-16 % и 12-13 %.

3.3.2. Оценка микроклиматической изменчивости тепловых ресурсов почвы под влиянием механического состава.

Территория Украины отличается большой пятнистостью почв разного механического состава, обуславливающих значительные различия в их тепловом режиме. Согласно исследованиям В.Г Крикунова [46], В.П Кузьмичева и А.И Серого на картосхеме гранулометрического состава (по отношению физического песка к физической глине) выделено семь классов различных почв: глина легкая, суглинок тяжелый, суглинок средний, суглинок легкий, супесь, щебнистые почвы. Эти данные были положены в основу количественной оценки микроклиматической изменчивости основного показателя тепловых ресурсов в виде сумм температуры почвы на глубине 10 см ($\Sigma T_{п}$ выше 10 °С) с учетом разного механического состава. Для этой цели данные станций были сгруппированы по механическому составу. Далее были определены отклонения данных по суммам температуры почвы для каждой группы станций от изолиний на агроклиматической карте (рис. 3.5). Это позволило определить в осредненном виде микроклиматические параметры ($\Delta \Sigma T_{nm}$) для почв разного механического состава:

$$\Delta \Sigma T_{nm} = (\Sigma T_{nm} - \Sigma \bar{T}_n), \quad (3.12)$$

где ΣT_{nm} – сумма температур почвы разного механического состава; $\Sigma \bar{T}_n$ – фоновая сумма температур почвы выше 10 °С на глубине 10 см для среднесуглинистой почвы.

Результаты этой работы в не полном объеме даны в табл. 3.4. Из нее видно, что наиболее теплыми являются песчаные (пп), супесчаные (спп) и легкосуглинистые почвы (лсп) по сравнению со среднесуглинистыми почвами (ссп), а наиболее холодными – тяжелосуглинистые (тсп) и глинистые почвы (гп) независимо от плодородия почв.

Например, песчаные почвы оказались теплее среднесуглинистых почв на 180-420 °С (ст. Покошичи, Сарны), супесчаные почвы – на 135-340 °С (ст. Киев, Любешев), а легкосуглинистые почвы – на 130-310 °С (ст. Прилуки, Каменец-Подольский). Глинистые почвы (в основном легкие) оказались холоднее среднесуглинистых почв за теплый период на 130 – 360 °С (ст. Артемовск, Белогорск), а тяжелосуглинистые почвы соответственно на 195-425 °С (ст.Беловодск, Дебальцево).

Таблица 3.4. Отклонения сумм температур почвы выше 10 °С на глубине 10 см ($\Delta\Sigma T_n$) от фоновых $\Sigma\bar{T}_n$ в различных районах

Станция	Тип почвы	$\Sigma\bar{T}_n, ^\circ\text{C}$	$\Sigma T_{nm}, ^\circ\text{C}$	$\Delta\Sigma T_n, ^\circ\text{C}$
Сарны	пп	2480	2903	423
Покошичи	пп	2590	2768	178
Полесское	пп	2590	2913	323
Ковель	пп	2600	2931	331
Тетерев	пп	2660	2983	323
Любешев	спп	2450	2789	339
Чернигов	спп	2600	2861	261
Житомир	спп	2700	2916	216
Киев	спп	2780	2913	133
Борисполь	спп	2810	3061	251
Глухов	лсп	2610	2931	321
Прилуки	лсп	2810	2940	130
Яготин	лсп	2900	3060	160
Каменец-Подольский	лсп	3000	3307	307
Чигирин	лсп	3150	3411	261
Артемовск	гп	3420	3289	-131
Хлопковое	гп	3950	3808	-142
Симферополь	гп	3980	3768	-212
Белогорск	гп	3980	3617	-363
Клепинино	гп	3920	3798	-122
Беловодск	тсп	3340	3145	-195
Донецк	тсп	3500	3246	-254
Дебальцево	тсп	3450	3026	-425
Дарьевка	тсп	3500	3137	-363
Волноваха	тсп	3560	3300	-260

Осредненная оценка микроклиматической изменчивости тепловых ресурсов почвы на глубине 10 см под влиянием механического состава на равнинных землях с привязкой к макрорайонам, выделенным по ΣT_n выше 10°C на агроклиматической карте (рис.3.5), представлена в табл. 3.5. Из нее видно, что песчаные и супесчаные почвы оказались на 260°C и 200°C теплее среднесуглинистых почв. На глинистых, тяжелосуглинистых почвах имеет место недобор тепла за период с T_n выше 10° равный – 240°C и – 160°C по сравнению со среднесуглинистой почвой. Диапазон микроклиматических изменений в ресурсах тепла за период с T_n выше 10°C на почвах разного механического состава на малых площадях составил 500°C и более. Эти различия сравнимы с зональной изменчивостью ΣT_n выше 10°C на значительной территории Украины.

Например, на севере (макрорайон 2) ΣT_n на глубине 10 см составила $2600-2800^\circ\text{C}$ на среднесуглинистых почвах; на песчаных почвах она увеличилась до $2860-3060^\circ\text{C}$; на тяжелосуглинистых почвах ресурсы тепла понизились до $2360-2560^\circ\text{C}$. На крайнем юге страны (макрорайон 9) фоновые значения ΣT_n для среднесуглинистых почв выросли до $4000-4200^\circ\text{C}$. При этом ресурсы тепла на песчаных почвах увеличились до $4260-4460^\circ\text{C}$, а на тяжелосуглинистых почвах – уменьшились и не превышают $3760-3960^\circ\text{C}$. В соответствии с микроклиматической изменчивостью тепловых ресурсов в пахотном слое почвы значительно варьирует и продолжительность теплого периода с T_n выше 10°C за счет различий в механическом составе. На песчаных и супесчаных почвах N_n может быть на 1-2 недели длиннее, а на глинистых и тяжелосуглинистых на 1-2 недели короче по сравнению с продолжительностью теплого периода на среднесуглинистых почвах.

Выявлена большая устойчивость в пространстве относительных характеристик ресурсов тепла на почве глубиной 10 см ($\Delta\Sigma T_{nm}$), как на территории Украины, так и в других регионах СНГ [21, 28, 57, 60, 65, 116]. Это позволяет рассматривать $\Delta\Sigma T_{nm}$ как микроклиматические параметры для определения сумм температур на почвах разного механического состава на ограниченных территориях (административная область, район, отдельное хозяйство) по формуле

$$\Sigma \bar{T}_{nm} = \Sigma \bar{T}_n + \Delta\Sigma T_{nm}, \quad (3.13)$$

где $\Sigma \bar{T}_{nm}$ - средняя многолетняя сумма температур почвы на глубине 10 см разного механического состава; $\Sigma \bar{T}_n$ - то же на среднесуглинистой почве; $\Delta\Sigma T_{nm}$ - отклонение сумм температур почвы разного механического состава от ΣT_n выше 10°C на среднесуглинистой почве.

Результаты научных разработок по тепловому режиму пахотного слоя различных почв могут быть использованы для решения ряда прикладных

**Таблица 3.5. Микроклиматическая изменчивость сумм температур почвы выше 10 °С (глубина 10 см)
разного механического состава в пределах макрорайонов Украины**

Макрорайон	$\Sigma T_{\text{п}} > 10^{\circ}\text{C}, \Sigma T_{\text{пм}} > 10^{\circ}\text{C}$					
	пп	спп	лсп	ссп	тсп	гп
а) Относительно среднего суглинка						
1-9	+260	+200	+160	0	-240	-160
б) Абсолютные значения						
1	<2860	<2800	<2760	<2600	<2360	<2440
2	2860-3060	2800-3000	2760-2960	2600-2800	2360-2560	2440-2640
3	3060-3260	3000-3200	2960-3160	2800-3000	2560-2760	2640-2840
4	3260-3460	3200-3400	3160-3360	3000-3200	2760-2960	2840-3040
5	3460-3660	3400-3600	3360-3560	3200-3400	2960-3160	3040-3240
6	3660-3860	3600-3800	3560-3760	3400-3600	3160-3360	3240-3440
7	3860-4060	3800-4000	3760-3960	3600-3800	3360-3560	3440-3640
8	4060-4260	4000-4200	3960-4160	3800-4000	3560-3760	3640-3840
9	4260-4460	4200-4400	4160-4360	4000-4200	3760-3960	3840-4040

Примечание. Знак плюс означает увеличение, знак минус уменьшение $\Sigma T_{\text{пм}}$ по сравнению с $\Sigma T_{\text{п}}$ на среднесуглинистой почве.

задач в области агроклиматологии. К их числу относятся: обоснование оптимальных сроков сева и уборки урожая культур на почвах разного механического состава; детальная оценка и районирование ресурсов тепла на ограниченных территориях с большой пятнистостью почв по механическому составу для рационального размещения сельскохозяйственных культур; уточнение региональных моделей "Климат-урожай" в пределах административной области или небольшого района.

3.4. Оценка мезо и микроклиматической изменчивости теплового режима деятельной поверхности на различных склонах

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

Днем температура освещенных Солнцем листьев различных растений выше температуры воздуха. Наиболее сильный перегрев растений наблюдается в ясную погоду со слабым ветром, когда листья, ориентированные перпендикулярно солнечным лучам, могут быть на 5 – 12 °С теплее воздуха на уровне будки. Ночью различия в температуре "деятельная поверхность - воздух" сильно сглаживаются и меняют знак. При значительном радиационном выхолаживании в ясные тихие ночи наружные листья и ветки растений могут быть на 1,5 – 3 °С холоднее воздуха.

Согласно экспериментальным исследованиям З.А. Мищенко [57, 63] разность ($T_w - T$) существенно различается, особенно днем, в разных местоположениях сложного рельефа, а также под влиянием орошения. Как видно из рис. 3.6, в казахском Мелкосопочнике (Цуриковка) летом в малооблачную погоду температура поверхности почвы на южном склоне на 19 °С, на вершине холма на 17 °С и у подножия склона на 12 °С выше чем температура воздуха на уровне будки.

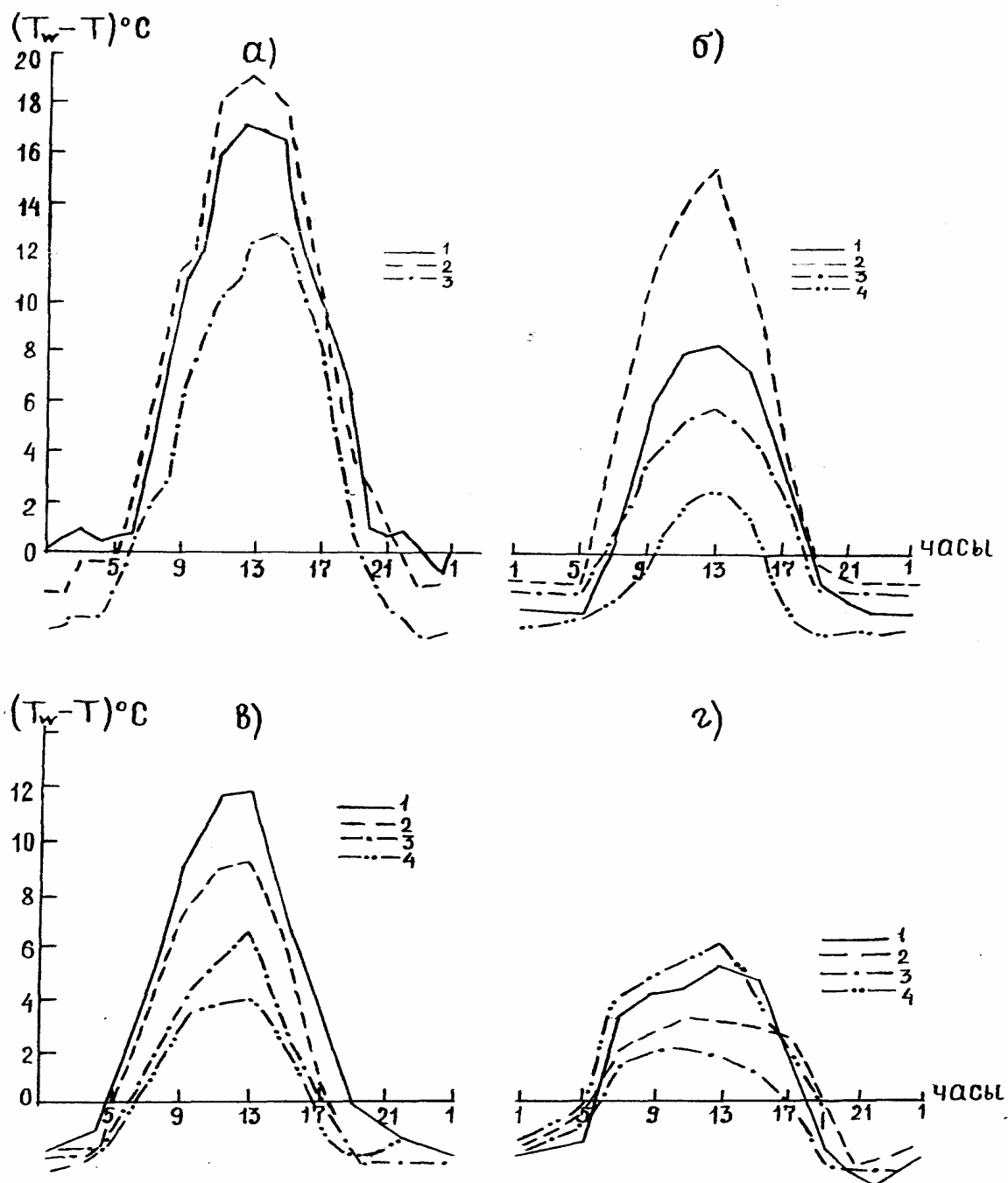


Рис. 3.6. Суточный ход разности температур деятельной поверхности и воздуха $(T_w - T)^{\circ}\text{C}$

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

В условиях средне-горного рельефа Заилийского Ала-Тау (Талгар) деятельная поверхность оказалась теплее воздуха на южном склоне (картофель) на 14 °С, на ровном листе (сеяная трава) на 5 °С и на северном склоне на 3 °С. В Московской области (Узуново) разность ($T_w - T$) на сеяной траве оказалась равной на вершине 12 °С, а в увлажненной пойме только 6 – 7 °С. В Молдове (Тирасполь) до полива освещенные солнцем листья винограда и томатов оказались выше на 5 – 6 °С, листья перца на 4 – 5 °С, а баклажан на 2 – 3 °С чем температура воздуха на уровне будки.

Своеобразный суточный ход разности "почва-воздух", "лист-воздух" тесно связан с особенностями теплового баланса, который определяет зональные и микроклиматические различия в энергетических ресурсах разных местоположений. Лучистая энергия, поглощенная деятельной поверхностью, расходуется в основном на суммарное испарение, теплообмен с окружающим воздухом и нижележащими слоями почвы. днем при положительном радиационном балансе (R) и затратах тепла на испарение (LE) меньше его величины ($T_w - T$) всегда положительна. При отрицательном радиационном балансе ночью деятельная поверхность становится холоднее воздуха за счет потери тепла через излучение.

наиболее надежным в климатологических расчетах T_w является метод теплового баланса, предложенный М.И. Будыко [13]. Метод основан на использовании уравнения теплового баланса подстилающей поверхности, которое после преобразования членов, характеризующих радиационный баланс и турбулентный теплообмен, можно представить в виде:

$$R - 4s\delta T^3(T_w - T) = LE + \rho C_p D(T_w - T) + B. \quad (3.14)$$

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

$$(T_w - T) = \frac{R - LE - B}{\rho C_p D + 4s\delta T^3}, \quad (3.15)$$

где ($T_w - T$) – разность между температурой естественной подстилающей поверхностью и температурой воздуха на уровне будки в среднем за сутки; R - радиационный баланс, вычисленный при определении эффективного излучения по температуре воздуха; LE - затрата тепла на испарение; B - теплообмен в почве; D - коэффициент внешней диффузии; C_p - удельная

теплоемкость воздуха при постоянном давлении; s - коэффициент, характеризующий свойства излучающей поверхности, принятый равным 0,95; δ - постоянная Стефана-Больцмана.

Позднее З.А. Мищенко [63, 68, 80] предложила для агроклиматической оценки термического режима и тепловых ресурсов деятельной поверхности днем такие показатели как: $(T_{\partial w} - T_{\partial})$, $T_{\partial w}$, $\Sigma T'_{\partial w}$, $N_{\partial w}$ за теплый период с T_{∂} выше 10 °С. Для этой цели была разработана и реализована методика расчетов вышеуказанных показателей для условий открытого ровного места и для склонов различной экспозиции и крутизны в пределах территории бывшего СССР.

Суть ее заключается в следующем. Все параметры, входящие в формулу 3.6, рассчитывались для 13^{ти} часов по средним многолетним наблюдениям на актинометрических и теплобалансовых станциях с апреля по октябрь. Далее на основе установленной тесной взаимосвязи между T_{∂} и T^{13} , $T_{\partial w}$ и T_{∂} был обеспечен переход для получения массовых данных по $(T_{\partial w} - T_{\partial})$, $T_{\partial w}$ и $\Sigma T_{\partial w}$ для 225 станций. Как видно из табл. 3.6 абсолютные значения дневной разности $(T_{\partial w} - T_{\partial})$ примерно в 1,5 – 2 раза больше чем $(T_w - T)$ в среднем за сутки. Этот факт указывает на преимущество использования $T_{\partial w}$, $(T_{\partial w} - T_{\partial})$ и $\Sigma T_{\partial w}$ для биоклиматических обобщений.

Таблица 3.6. Разность средних суточных $(T_w - T)$, средних дневных температур деятельной поверхности $(T_{\partial w} - T_{\partial})$ и воздуха на уровне будки, °С

Станция	$(T_{\partial w} - T_{\partial})$				$(T_w - T)$			
	V	VI	VII	VIII	V	VI	VII	VIII
Архангельск	7,6	6,3	5,4	3,7	4,6	4,3	4,0	3,0
Великие Яцки	3,9	5,6	6,2	4,8	3,0	3,2	2,0	1,3
Москва	5,1	5,8	5,3	4,5	2,6	2,0	2,0	1,3
Одесса	11,0	10,0	13,4	13,4	5,0	5,3	5,6	6,3

На основе созданного банка данных были построены фоновые карты распределения радиационного нагрева деятельной поверхности днем в виде разности $(T_{\partial w} - T_{\partial})$ на территории СНГ с мая по август. Было установлено, что на равнинных землях $(T_{\partial w} - T_{\partial})$ увеличивается с севера на юг и юго-восток весной в три раза, а летом более чем в 2 раза. Например, в мае превышение $T_{\partial w}$ над T_{∂} в северных районах России составляет 2 – 4 °С, на юге Украины 5 – 6 °С, а на юге Средней Азии 10 °С и более. В июне разность $(T_{\partial w} - T_{\partial})$ в северных и центральных районах Росси

увеличивается до 6 °С, на юге Украины до 10 °С и более, а на юге Средней Азии до 12 – 14 °С.

Для количественной оценки микроклиматической изменчивости показателей теплового режима деятельной поверхности в формулу 3.16 вводились значения радиационного баланса (R_c) для северных и южных склонов крутизной 5, 10, 15, 20°. Радиационный баланс искомого склона для каждого месяца с апреля по октябрь определен по формуле

$$R_c^{13} = R^{13} \cdot K_R, \quad (3.16)$$

где K_R - соответствующий переходный коэффициент, представляющий собой отношение R_c/R (см. глава 1).

При этом сделано предположение, что отношение

$$\frac{\bar{R}_c}{\bar{R}} = \frac{R_c^{13}}{R}, \quad (3.17)$$

где \bar{R}_c и \bar{R} - радиационный баланс в среднем за сутки на искомом склоне и на горизонтальной поверхности. Методика перехода от $(T_{wc} - T)^{13}$ к $(T_{\partial wc} - T_{\partial})$ и от T_{wc}^{13} к $T_{\partial wc}$ подробно изложено в ранее опубликованных работах [55, 63, 80].

Расчеты дневной температуры деятельной поверхности для ровного места ($T_{\partial w}$) и различных склонов ($T'_{\partial w}$) определялись по формулам вида:

$$T_{\partial w} = T_{\partial} + (T_{\partial w} - T_{\partial}), \quad (3.18)$$

$$T'_{\partial w} = T_{\partial} + (T_{\partial w} - T_{\partial}) \pm \Delta T'_{\partial w}, \quad (3.19)$$

где $\Delta T'_{\partial w} = (T'_{\partial w} - T_{\partial w})$; T_{∂} - средняя дневная температура воздуха на уровне будки за искомый месяц; $(T_{\partial w} - T_{\partial})$ - радиационный нагрев деятельной поверхности днем на открытом ровном месте.

Неполные результаты расчетов представлены в табл. 3.7. например, июле T_{∂} и $T_{\partial w}$ составляют на севере в Архангельске 15,8 °С и 21,2 °С, а южнее в Киеве они увеличиваются до 21,4 и 26,7 °С. В южной степи T_{∂} и $T_{\partial w}$ в Одессе в июле возрастают до 23,7 и 37,4 °С, а на юго-востоке в Гурьеве они увеличиваются до 27,0 и 40,6 °С. Рассмотренные данные показывают, насколько изменится существующее представление о тепловых ресурсах и теплообеспеченности культурных растений в том или ином районе, если учитывать радиационный нагрев деятельной

Таблица 3.7. Средние дневные температуры воздуха (T_{∂}) и деятельной поверхности ($T_{\partial w}$) в различных районах ЕЧ СНГ

Станция	$T_{\partial}, ^\circ\text{C}$				$T_{\partial w}, ^\circ\text{C}$			
	V	VI	VII	VIII	V	VI	VII	VIII
Архангельск	6,1	12,6	15,8	14,8	13,7	18,9	21,2	18,5
Вологда	12,2	15,2	18,9	16,4	17,7	20,5	24,0	21,5
Москва	14,6	18,0	20,4	18,6	19,7	23,8	25,7	23,1
Пемза	15,6	19,5	21,9	20,4	20,6	24,4	29,7	27,4
Киев, обс.	16,6	19,3	21,4	20,8	20,3	23,2	26,7	27,7
Харьков	17,5	20,4	22,7	21,9	22,8	25,2	31,6	31,2
Одесса, ун.	17,0	20,9	23,7	22,9	28,0	30,8	37,4	36,3
Волгоград	18,7	23,3	26,2	25,0	28,5	32,3	39,0	37,2
Сочи, оп. ст.	18,0	21,5	24,9	24,1	28,4	28,4	35,3	35,6
Гурьев	19,5	24,2	27,0	25,3	30,1	38,4	40,6	39,6

поверхности днем, а в дальнейшем и конкретных растительных сообществ.

Анализ полученных материалов по микроклиматической изменчивости дневной температуры деятельной поверхности позволяет сделать следующее заключение. Весной, летом и осенью южные склоны днем теплее, а северные заметно холоднее открытого ровного места. Причем микроклиматические различия возрастают с увеличением крутизны склонов. Наименьшие различия в термическом режиме деятельной поверхности на склонах и ровном месте наблюдаются в середине лета, а наибольшие – ранней весной и осенью (табл. 3.8).

Например, в июне, когда Солнце стоит высоко различия в $T_{\partial w}$ на южных и северных склонах невелики и составляют при крутизне склонов 10 и 20° соответственно 1,0 – 1,5 °C и 2,5 – 3,0 °C. Весной и осенью четко выражена географическая изменчивость микроклиматических различий в $T_{\partial w}$ за счет экспозиции и крутизны склонов. Например, в Архангельске диапазон различий в $T_{\partial w}$ между южными и северными склонами крутизной 10 и 20° составляют соответственно 2 – 3 °C и 4 – 5 °C. В центральной полосе России (Москва) эти микроклиматические различия увеличиваются соответственно до 3 – 4 °C и 7 – 8 °C. В южной степи Украины (Одесса) диапазон различий в $T_{\partial w}$ между южными и северными склонами крутизной 10 и 20° возрастает до 4 – 6 °C и 8 – 11 °C.

На основе климатологических обобщений расчетов $T_{\partial wc}$ для склонов и фоновых карт радиационного нагрева на равнинных землях с зонами увлажнения выполнено комплексное районирование пространственной изменчивости ($T_{\partial w} - T_{\partial}$) с учетом экспозиции и крутизны склонов на территории СНГ (рис. 3.7). В качестве показателя увлажнения

Таблица 3.8. Дневная температура деятельной поверхности (°C) на северных и южных склонах разной крутизны (α) по сравнению с ровным местом

Станция	Месяц	Северный склон, α				Ровное место	Южный склон, α			
		5°	10°	15°	20°		20°	15°	10°	5°
Архангельск	V	12,6	12,2	11,9	11,2	13,8	15,6	15,2	14,8	14,3
	VII	91,2	20,3	20,0	18,8	21,5	23,0	22,6	22,2	21,8
	IX	9,6	8,6	7,8	7,1	10,4	13,4	12,6	11,9	11,2
Москва	V	8,3	7,3	6,0	5,5	9,4	12,9	12,2	11,2	10,1
	VII	25,0	24,7	24,3	23,7	25,7	27,0	26,7	26,3	26,1
	IX	15,0	14,6	13,4	12,2	16,8	20,8	19,6	18,4	17,5
Одесса	V	19,1	17,6	16,6	15,2	19,8	23,6	22,6	21,6	20,5
	VII	36,8	36,1	35,7	34,7	37,1	38,6	38,2	37,6	37,4
	IX	30,4	29,3	27,1	26,0	32,6	37,9	36,6	35,6	34,6
Тбилиси	V	22,0	20,9	19,6	18,8	22,7	25,9	25,2	24,4	23,4
	VII	44,3	43,4	42,6	42,2	44,6	48,0	47,5	47,0	46,5
	IX	34,6	33,1	32,1	29,5	36,4	42,9	40,6	38,9	38,4

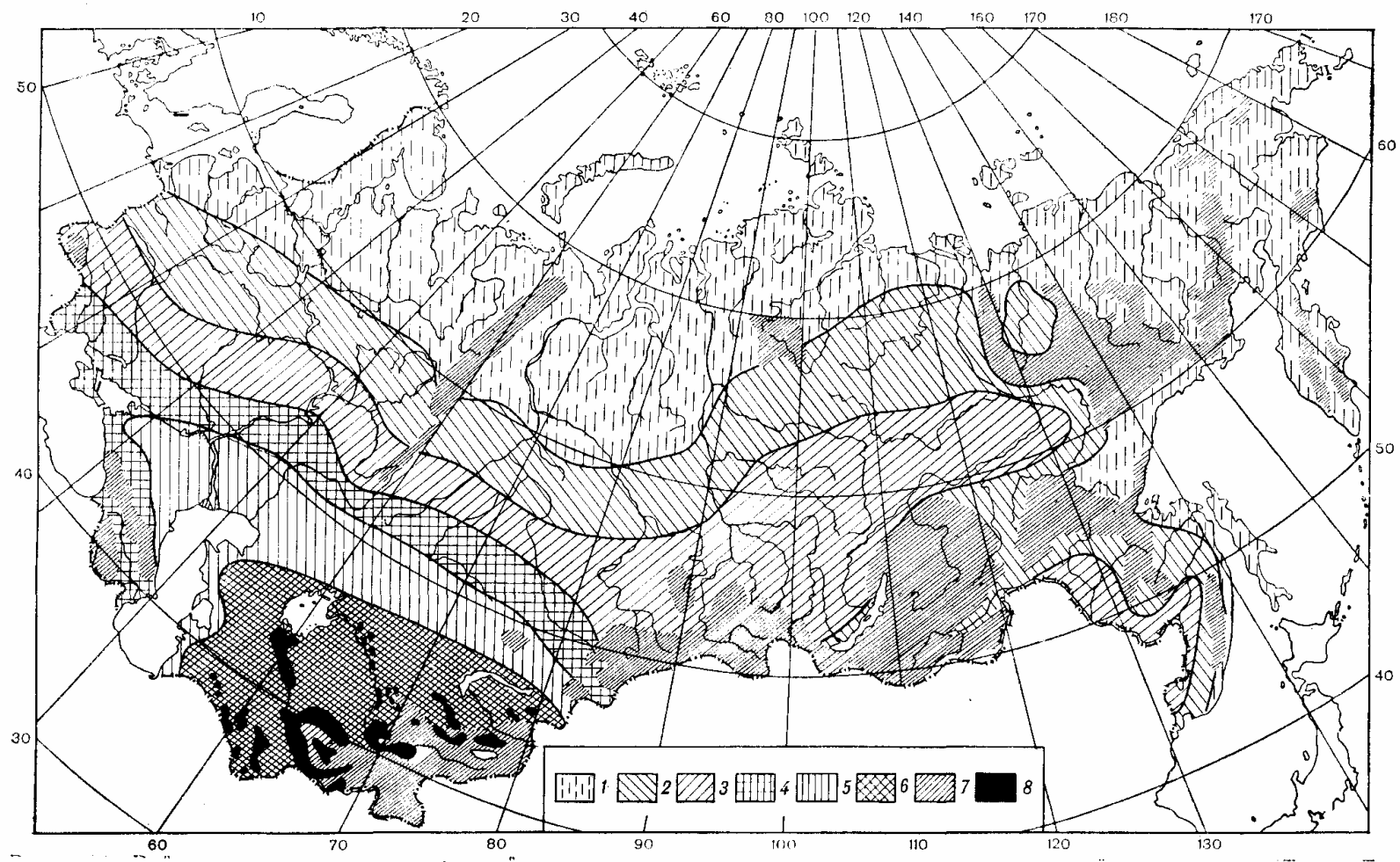


Рис. 3.7. Комплексное районирование пространственной изменчивости радиационного нагрева деятельной поверхности ($T_{dw} - T_{\delta}$) за теплый период с T_{δ} выше 10°C с учетом экспозиции и крутизны склонов на территории СНГ. Районы 1-6 (см. табл. 3.9); 7 – горы высотой 1500 м и выше; 8 – орошаемые оазисы

использована безразмерная величина, характеризующая отношение фактического испарения к испаряемости, т.е. E/E_0 . К карте прилагается легенда в виде табл. 3.9.

Таблица 3.9. Средняя многолетняя разность дневных температур деятельной поверхности (°С) между южными и северными склонами крутизной 10°, 20°

Зона увлажнения	E/E_0	Весна		Осень	
		Крутизна склона, α			
		10	20	10	20
I. Избыточного	$> 0,9$	> 2	3 – 4	2 – 3	4 – 5
II. Достаточного	0,9 – 0,7	2 – 3	4 – 5	3 – 4	5 – 6
III. Слабо-засушливая	0,7 – 0,5	> 3	5 – 6	> 4	6 – 8
IV. Засушливая	0,5 – 0,3	3 - 4	6 – 7	4 – 5	8 – 10
V. Сильно-засушливая	0,3 – 0,1	> 4	> 7	> 5	10 – 12
VI. Сухая	$< 0,1$	4 – 5	7 – 8	5 – 6	12 – 14

На рассматриваемой территории выделено шесть макрорайонов значительно отличающихся по диапазону микроклиматических различий в T_{dwc} между южными и северными склонами весной и осенью. Причем осенью эти различия выражены максимально. Например, в зоне достаточного увлажнения весной и осенью южные склоны крутизной 10° и 20° теплее северных на 2 – 4 °С и 4 – 6 °С теплее северных. В сильно-засушливой зоне диапазон микроклиматических различий между южными и северными склонами той же крутизны увеличиваются до 4 – 5 °С и 7–12 °С.

К агроклиматической карте (рис. 3.7) прилагается расчетная номограмма, позволяющая определять величины радиационного нагрева деятельной поверхности днем на северных и южных склонах крутизной 5, 10, 15 и 20°, а также на открытом ровном месте в различных зонах увлажнения (рис. 3.8). наглядно видно, что микроклиматические различия в термическом режиме склонов имеют четко выраженную географическую изменчивость. Диапазон различий в нагреве деятельной поверхности днем по сравнению с воздухом на уровне будки между южными и северными склонами возрастает от зоны избыточного увлажнения до сухой. Дополнительное тепло, получаемое южными склонами крутизной 10 и 20°, составляет по сравнению с ровным местом в разных регионах СНГ 3 – 7% и 7 – 11%, а недобор тепла на северных склонах достигает соответственно 4 – 8% и 8 – 15%.

Для планирования предпосевных работ и сроков сева сельскохозяйственных культур, а также изыскательских работ, важное

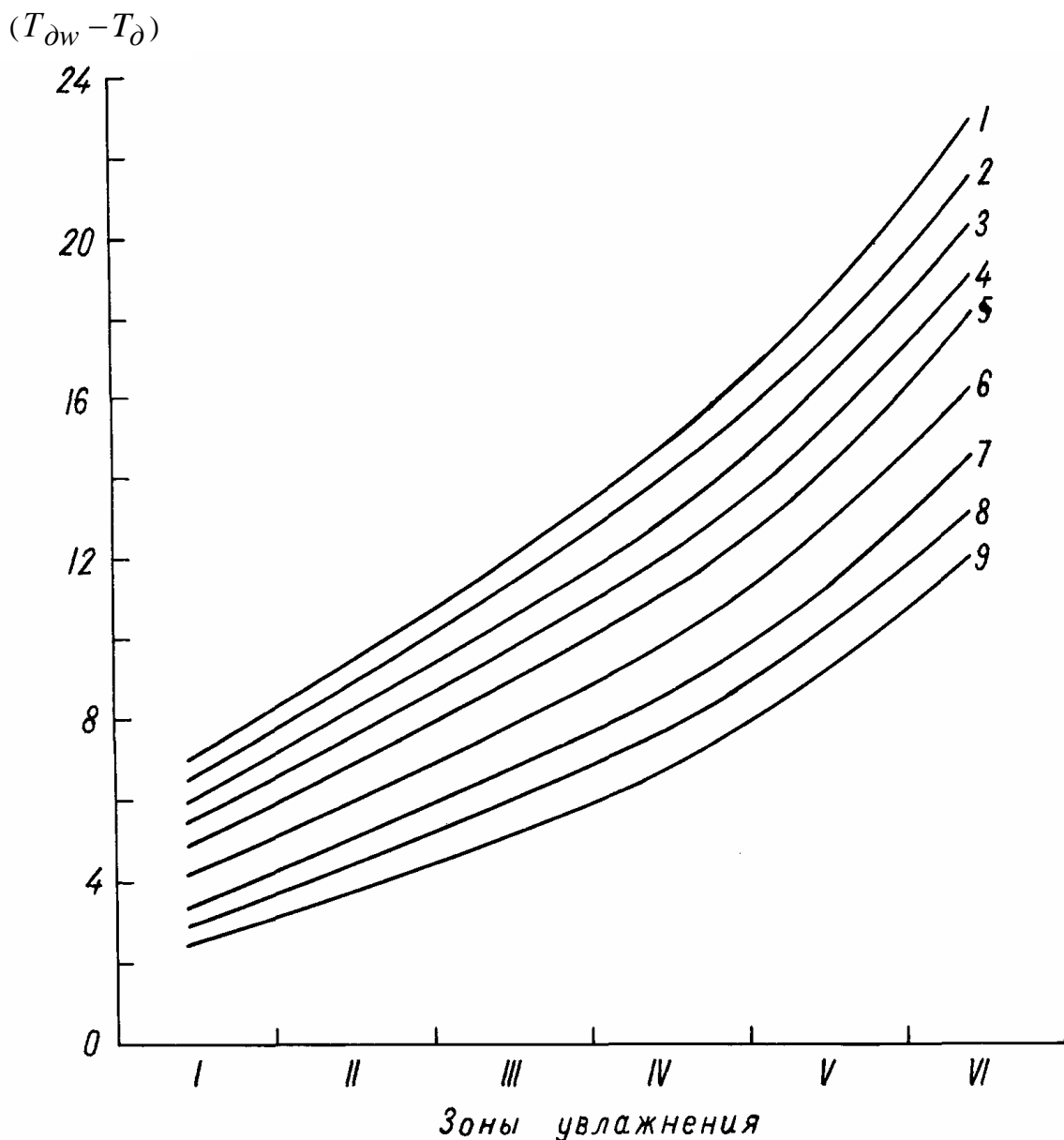


Рис. 3.8. Номограмма для расчета радиационного нагрева деятельной поверхности ($^{\circ}\text{C}$) на равнинных и склоновых землях (весной и летом) в зависимости от зон увлажнения в пределах СНГ. Южные склоны крутизной: 1-20, 2-15, 3-10, 4-5 $^{\circ}$; 5 – открытое ровное место; северные склоны крутизной: 6-5, 7-10, 8-15, 9-20 $^{\circ}$

значение имеет установление дат схода снежного покрова весной на склонах разной экспозиции по сравнению с ровным местом. Полученные данные по дневной температуре деятельной поверхности на склонах были использованы для оценки возможного изменения даты схода устойчивого снежного покрова на северных и южных склонах.

Установлено, что в северных районах России южные склоны крутизной 10 и 15-20° освобождаются от снега на 4 – 8 и на 10 – 15 дней раньше чем на северных. На юге Украины на южных склонах крутизной 10 и 15 - 20° снег сходит примерно на 9 – 11 и 18 – 22 дня раньше чем на северных склонах той же крутизны. Следовательно и наступление дат мягко-пластичного состояния почвы будет значительно варьировать на склонах различной экспозиции и крутизны по сравнению с аналогичными средними многолетними датами на открытом ровном месте [56, 63]

Введение нового показателя теплообеспеченности для сельскохозяйственной оценки климата – суммы дневных температур естественной подстилающей поверхности ($\Sigma T_{\partial w}$) за период с T_{∂} выше 10 °С позволяет раскрыть реально существующую в природе пестроту тепловых ресурсов, возникающей на малых площадях под влиянием экспозиции и крутизны склонов.

Расчеты сумм температуры деятельной поверхности для открытого ровного места ($\Sigma T_{\partial w}$) и различных склонов ($\Sigma T'_{\partial w}$) выполнены по формулам вида:

$$\Sigma T_{\partial w} = \Sigma T_{\partial} + [(T_{\partial w} - T_{\partial}) \cdot N_1 + (T_{\partial w} - T_{\partial}) \cdot N_2 + \dots + (T_{\partial w} - T_{\partial}) \cdot N_7] \quad (3.20)$$

$$\Sigma T'_{\partial w} = \Sigma T_{\partial w} + [(T'_{\partial w} - T_{\partial w}) \cdot N_1 + (T'_{\partial w} - T_{\partial w}) \cdot N_2 + \dots + (T'_{\partial w} - T_{\partial w}) \cdot N_7] \quad (3.21)$$

где T_{∂} - средняя дневная температура воздуха; $(T_{\partial w} - T_{\partial})$ – радиационный нагрев деятельной поверхности на ровном месте; $\Sigma T'_{\partial w}$ - тоже для северных и южных склонов крутизной 5, 10, 15, 20°; $(T'_{\partial w} - T_{\partial w})$ - разность между $T'_{\partial w}$ на искомом склоне и $T_{\partial w}$ на ровном месте; $N_1, N_2, \dots N_7$ - число дней в месяцах с апреля по октябрь.

Неполные результаты расчетов, охватывающих различные регионы территории СНГ, представлены в табл. 3.10. Наглядно видно, что абсолютные значения дневных сумм температуры деятельной поверхности на склонах и ровном месте возрастают в 6 -7 раз в направлении с севера России на юг и юго-восток Средней Азии. В этом же направлении увеличивается и микроклиматическая изменчивость $\Sigma T'_{\partial w}$ на северных и южных склонах.

В северных районах (Туруханск, Архангельск) превышение сумм тепла на южном склоне по сравнению с ровным местом не превышает 100 – 150 °С и 150 – 250 °С (первые цифры характеризуют склоны крутизной 10°, вторые крутизной 20°). Недобор радиационного тепла на северных склонах составляет соответственно 100 – 200 °С и 200 – 350 °С.

Таблица 3.10. Суммы дневных температур деятельной поверхности за теплый период с T_{∂} выше 10 °С на северных и южных склонах крутизной 10, 20° и ровном месте в различных регионах СНГ

Станция	$\Sigma T'_{\partial w}$		$\Sigma T_{\partial w}$	$\Sigma T'_{\partial w}$		Разность относительно ровного места, °С			
	Северный склон		Ровное место	Южный склон		Северный склон		Южный склон	
	20°	10°		10°	20°	20°	10°	10°	20°
Туруханск	1210	1340	1440	1530	1600	- 230	- 100	90	160
Архангельск	1500	1740	1870	1970	2060	- 280	- 130	100	190
Верхоянск	1860	2020	2130	2240	2350	- 270	- 110	110	220
Якутск	2710	2890	3070	3210	3360	- 360	- 180	140	290
Москва	2810	3020	3220	3370	3530	- 410	- 200	150	310
Рига	2820	3050	3270	3450	3630	- 450	- 220	180	360
Новосибирск	2980	3180	3390	3570	3740	- 410	- 210	180	350
Владивосток	3280	3680	3990	4270	4550	- 710	- 310	280	560
Одесса	5040	5440	5750	6050	6250	- 710	- 310	300	500
Алма-Ата	5930	6320	6660	6950	7230	- 730	- 340	290	570
Тбилиси	7000	7350	8100	8690	8880	- 1100	- 750	590	780
Ташкент	8250	8660	8990	9280	9660	- 740	- 330	290	670
Ашхабад	9040	9430	10010	10320	10700	- 970	- 580	310	690

Примечание. Знак плюс означает увеличение $\Sigma T'_{\partial w}$ на южных склонах, а знак минус – уменьшение $\Sigma T'_{\partial w}$ по сравнению с открытым ровным местом.

В средней полосе России (Москва, Новосибирск) дополнительное тепло, получаемое днем южными склонами составляет 150 – 200 °С и 250 – 400 °С при недоборе тепла на северных склонах в пределах 200 – 300 °С и 350 – 500 °С. В южных районах ЕЧ СНГ (Одесса, Тбилиси) превышение $\Sigma T'_{\partial w}$ на южных склонах составляет 300 – 590 °С и 500 – 780 °С, а недобор тепла на северных склонах крутизной 10 и 20° возрастает до 310 – 750 °С и до 710 – 1100 °С. Не меньшие различия в теплообеспеченности склонов характерны и для юго-восточных районов СНГ (Ташкент, Ашхабад). Здесь на орошаемых землях превышение $\Sigma T'_{\partial w}$ на южных склонах крутизной 10 и 20° составляет 290 – 310 °С и 670 – 700 °С, а недобор тепла на северных склонах достигает 330 – 580 °С и 740 – 970 °С по сравнению с ровным местом (табл. 3.10).

Полученные материалы по микроклиматической изменчивости ресурсов тепла на уровне деятельной поверхности позволяет сделать вывод о том, что $T_{\partial w}$ и $\Sigma T_{\partial w}$ являются важными показателями теплового режима и теплообеспеченности растений. Их использование весьма перспективно для агроклиматического районирования тепловых ресурсов в пределах ограниченных территорий разного масштаба (административная область, район, отдельное хозяйство) со сложным рельефом.

Для этой цели З.А. Мищенко [63, 68, 80] разработала методику комплексного агроклиматического районирования тепловых ресурсов с учетом микроклимата и реализовала ее на примере Вологодской, Оренбургской и иркутской областей России. На соответствующих картах макрорайоны выделены по ΣT_c и ΣT_{∂} выше 10 °С. Далее для каждого макрорайона были определены суммы дневных температур деятельной поверхности выше 10 °С с охватом склонов разной экспозиции (с, сз, св, ю, юз, юв, з, в) крутизной 5, 10, 15, 20°, включая открытые ровные участки. Пространственная интерполяция этих данных с последующим выделением мезорайонов осуществлена с помощью морфометрических карт экспозиции и крутизны склонов.

Сравнительная оценка тепловых ресурсов по ΣT_c , ΣT_{∂} с $\Sigma T_{\partial w}$ в других районах СНГ показала, что ΣT_{∂} на 10 – 30% больше традиционного показателя тепла в виде ΣT_c выше 10 °С, а $\Sigma T_{\partial w}$ - на 30 -70% больше ΣT_{∂} на уровне будки. Суммарный эффект от агроклиматической оценки тепловых ресурсов на уровне деятельной поверхности выражается прибавкой тепла в северных и центральных районах России примерно на 40 – 50%, а в юго-восточных районах средней Азии – на 80 – 90% по сравнению с ΣT_c в воздухе на уровне будки.

Материалы по $(T'_{\partial w} - T_{\partial})$, $T_{\partial w}$, $\Sigma T'_{\partial w}$ и продолжительности теплого периода с $T_{\partial w}$ выше 10 °С ($N_{\partial w}$) позволяют дать научное обоснование различного поведения культурной и дикой растительности на равнинных и

склоновых землях в пределах территории СНГ. Эти показатели могут быть использованы для составления расчетным путем микроклиматических карт тепловых ресурсов на территориях отдельных хозяйств со сложным рельефом в рабочем масштабе 1:10000 и до 1:25000, если имеется морфометрическая основа для картирования.

При этом можно решить ряд практических задач по обеспечению запросов сельского хозяйства:

1) оптимизация размещения однолетних и многолетних культур и научное обоснование микрорайонирования их в условиях сложного рельефа;

2) проведение микроклиматических экспертиз по реконструкции старых и закладке новых виноградников и садов;

3) определение оптимальных сроков сева сельскохозяйственных культур по датам схода снежного покрова на склонах различной экспозиции и крутизны;

4) определение дифференцированных сроков уборки видов и сортов сельскохозяйственных культур на полях со сложным рельефом.

4. АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕСУРСОВ ВЛАГИ И ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ В БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОМ СЛОЕ ВОЗДУХА

4.1. Методы расчетов показателей ресурсов влаги и влагообеспеченности на равнинных землях

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

В полевых условиях суммарный расход растениями складывается из транспирации и испарения с поверхности почвы (суммарное испарение). Суммарный расход воды при оптимальном водоснабжении растений не может расти беспредельно, так как этот процесс связан с затратой тепла. Согласно исследованиям Будыко М.И. [13], максимально возможное испарение (испаряемость) ограничивается в основном величиной радиационного баланса. Под испаряемостью следует понимать максимально возможное испарение с обильно увлажненной поверхности почвы или водоема при данных метеорологических условиях.

Под влагообеспеченностью растений понимают степень удовлетворения потребности сельскохозяйственных культур в воде, т.е. соответствие количества воды, сохраняющегося в почве, количеству, необходимому растению для нормального роста и развития. Таким образом, для определения влагообеспеченности растений ресурсы влаги (осадки, запасы продуктивной влаги в почве) надо сравнивать с потребностью конкретных растений во влаге. Сравнение потребности растений во влаге с фактическим водопотреблением (через разность или отношение) может служить агроклиматическим показателем влагообеспеченности данной территории для возделывания сельскохозяйственных культур.

Основными показателями режима увлажнения территории для последующей оценки влагообеспеченности культурных растений являются: количество осадков, запасы продуктивной влаги в почве, испаряемость, суммарное испарение, условные показатели увлажнения или коэффициенты увлажненности. В настоящее время выявлены географические особенности зонального распределения вышеуказанных показателей на территории бывшего СССР, составлена серия климатических карт; имеется массовый материал по ряду показателей увлажнения в климатических и агроклиматических справочниках [1, 2, 3, 31, 45, 82, 97, 98 и др.]. Это позволяет дос-

точно надежно определить влагообеспеченность растений, возделываемых на равнинных землях.

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

Оценка влагообеспеченности растений по эмпирическим методам.

Эмпирические методы основаны на предположении, что водопотребление конкретного сорта растения, в основном, определяется погодными условиями и его биологическими особенностями. Основными факторами, характеризующими потребность растений в воде, являются солнечная радиация, температура воздуха, дефицит влажности воздуха и некоторые другие показатели. Так, И.А. Шаров [62] предлагает рассчитывать оптимальное водопотребление культуры E_o по формуле:

$$E_o = e \sum T + 4b, \quad (4.1)$$

где $\sum T$ – сумма температур воздуха за период вегетации; e – коэффициент водопотребления культуры, рассчитанный на 1°C ; b – число дней вегетационного периода конкретной культуры

Согласно Н.Н. Иванову [62] испаряемость (мм) можно рассчитать за конкретный месяц или за вегетационный период по формуле:

$$E_o = 0,0018(T_c + 25)^2 \cdot (100 - h), \quad (4.2)$$

где T_c – средняя суточная температура воздуха за конкретный месяц; h – средняя месячная относительная влажность воздуха;

Широкое признание получил биофизический метод, предложенный А.М. Алпатьевым [9]. В качестве основного элемента климата, определяющего величину оптимального водопотребления равного испаряемости, автор выбрал дефицит влажности воздуха. Вторым компонентом в уравнении является биологический коэффициент испарения (K_ϕ), учитывающий ритмы развития растений, ход накопления биомассы и качественные изменения самих растений. Особенности фитолимата. Расчетное уравнение имеет вид:

$$E_o = K_\phi \cdot \sum d, \quad (4.3)$$

где E_o – потребность растений во влаге, численно равная суммарному испарению фитоценоза при оптимальном режиме увлажнения, (мм); K_6 – биологический коэффициент данной культуры (безразмерная величина), который в среднем за вегетационный период может быть принят равным 0,65; $\sum d$ – сумма дефицитов влажности воздуха (мм или мб).

Расчеты показали, что биологические коэффициенты меняются в зависимости от почвенно-климатических условий района, особенностей фитоценоза в ходе вегетации. Как видно из табл. 4.1 значения K_6 существенно изменяются в течении вегетационного периода конкретных культур и составляют в первую декаду после всходов 0,4 - 0,5, в пятую – 0,7 - 0,9 и в девятую – 0,4-0,6.

Таблица 4.1. Биологические коэффициенты (K_6) для расчета влагопотребности ряда культур по декадам их вегетации

Декада от всходов	K_6 для яровых злаков в лесной зоне	K_6 для яровых злаков в степной зоне	K_6 для подсолнечника в степной зоне	K_6 для картофеля в лесостепной и степной зонах
1	0,5	0,5	0,4	0,5
3	0,7	0,7	0,6	0,7
5	0,7	0,9	0,8	0,7
7	0,6	0,8	0,7	0,6
9	0,5	0,5	0,4	0,6

Используя метод Алпатьева А.М., влагообеспеченность растений вычисляют как разность между потребностью конкретного растения во влаге и фактическим испарением (E). Последняя величина может быть вычислена по формуле сокращенного водного баланса:

$$E = \sum r - F + (W_H - W_K), \quad (4.4)$$

где $\sum r$ – количество осадков за рассчитываемый период (мм); F – поверхностный сток (мм); W_H, W_K – запасы продуктивной влаги на начало и конец вегетации (мм). Поскольку поверхностный сток в период активной вегетации растений практически бывает мал, им обычно пренебрегают. Территорию, для которой разность между фактическим и оптимальным испарением ($E - E_o$) не превышает ± 50 мм, относят к оптимальным условиям увлажнения. Районы с отрицательной разностью более 50 мм – к зоне недостаточного увлажнения, а районы с положительной разностью более 50 мм – к зоне избыточного увлажнения.

Во втором издании агроклиматических справочников "Агроклиматические ресурсы области" [31, 45, 62] в пределах СНГ влагообеспеченность растений рассчитана по формулам 4.3 и 4.4 через отношение E к E_o . При этом влагообеспеченность определяется по формуле:

$$V_k = \frac{E}{E_o} \cdot 100\% , \quad (4.5)$$

где V_k – влагообеспеченность конкретной культуры, выраженная в процентах.

Оценка влагообеспеченности растений по теоретическим методам.

К числу этих методов следует отнести комплексный метод, разработанный М.И.Будыко [13]. При этом рассматриваются две стадии испарения с почвы. Первая из них соответствует оптимально увлажненной почве, при которой испарение равно испаряемости, а вторая – недостаточно увлажненной почве, с влажностью ниже критической, при которой испарение оказывается ниже испаряемости. Было установлено, что величина возможного испарения (т.е. испаряемости) при оптимальном увлажнении почвы пропорциональна дефициту влажности воздуха, рассчитанному по температуре испаряющей поверхности. Исходя из этого, автор для расчета испаряемости предложил формулу

$$E_o = \rho D(q_s - q), \quad (4.6)$$

где ρ – плотность воздуха; D – интегральный коэффициент диффузии; q_s – удельная влажность насыщенного водяным паром воздуха, рассчитанная по температуре испаряющей поверхности; q – удельная влажность воздуха в психрометрической будке.

Для определения величины q_s необходимо знать температуру испаряющей поверхности, что представляет наибольшую трудность. Зубенок Л.И. [35], развивая методику М.И. Будыко, преобразовала его формулу, в результате чего величину испаряемости для каждого месяца можно определить по среднему месячному значению дефицита влажности воздуха, определенному по температуре воздуха, с учетом поправки, зависящей от характера почвенно-климатических условий (тундра, лес, лесостепь, степь).

Комплексный метод определения испарения основан на совместном решении уравнений теплового и водного балансов и экспериментально установленной зависимости скорости испарения от влажности почвы. При этом сделано заключение о равенстве испарения E испаряемости E_o при

влажности метрового слоя почвы W выше некоторого критического значения W_o и пропорциональности испарения испаряемости и влажности почвы W при W ниже критического значения W_o . Будыко М.И. выразил это следующим образом:

$$E = E_o \text{ при } W \geq W_o, \quad (4.7)$$

$$E = E_o \cdot \frac{W}{W_o} \text{ при } W < W_o, \quad (4.8)$$

где W – количество продуктивной влаги в активном для растений слое почвы; W_o – критическое значение продуктивной влажности почвы, при котором и выше которого $E = E_o$.

Средние месячные влагозапасы метрового слоя почвы находятся как $W = \frac{W_1 + W_2}{2}$, где W_1 и W_2 – влажность почвы в начале и в конце расчетного месяца. Для определения критической влажности почвы W_o используется уравнение 4.8 в соответствии с которым $W_o = \frac{E_o}{E} \cdot W$.

Суммарное испарение определяется либо из уравнения водного баланса 4.4, либо методом теплового баланса по формуле

$$E = \frac{1}{L}(R - P - B), \quad (4.9)$$

где R – радиационный баланс подстилающей поверхности; P – турбулентный поток тепла между подстилающей поверхностью и атмосферой; B – поток тепла в почву; L – скрытая теплота парообразования.

Ресурсы влаги или влагообеспеченность по методу автора можно определять как разность $(E_o - E)$ между оптимальным и фактическим водопотреблением за один и тот же расчетный период. При положительном знаке эта разность (дефицит испарения) представляет собой климатическую норму орошения. Для сопоставления условий увлажнения различных территорий удобнее использовать безразмерный показатель влагообеспеченности в виде отношения E/E_o (относительное испарение). В этом случае влагообеспеченность сельскохозяйственных культур (V) в конкретном районе определяется по формуле 4.5.

Представляют интерес и другие методы оценки влагообеспеченности, основанные на теоретических положениях [43, 62]. Так С.И. Харченко, используя элементы водного и теплового балансов для расчета оптимального водопотребления E_o предложил формулу вида:

$$E_o = \frac{\beta(R_o - P_o)W_{hн.в.}}{L\gamma}, \quad (4.10)$$

где R_o – радиационный баланс; P_o – поток тепла в почву; L – скрытая теплота испарения; $W_{hн.в.}$ – запасы влаги в расчетном слое почвы при наименьшей влагоемкости; γ – параметр, вычисленный как разность между наименьшей влагоемкостью и влажностью завядания; β – коэффициент, зависящий от фазы развития растений и состояния деятельной поверхности.

Ресурсы влаги по Харченко С.И. оцениваются коэффициентом влагообеспеченности (η), представляющим собой отношение водного баланса корнеобитаемого слоя почвы к оптимальному водопотреблению (испаряемости):

$$\eta = \frac{X + (W_{hн} - W_{hk}) + K_h - I_h - f_{нов}}{E_{он}}, \quad (4.11)$$

где X – атмосферные осадки; $W_{hн}$ и W_{hk} – начальные и конечные влагозапасы в слое почвы толщиной h ; K_h – приход влаги за счет восходящего потока капиллярной, пленочной и парообразной влаги или подпитывание корнеобитаемого слоя почвы за счет грунтовых вод; I_h – инфильтрация влаги (расход ее за счет нисходящего потока); $f_{нов}$ – поверхностный сток; $E_{он}$ – оптимальное водопотребление культуры.

Из других методов теоретического направления следует указать на метод, разработанный А.Р.Константиновым [43]. Он также оценивает влагообеспеченность как разность между испаряемостью и фактическим испарением ($E_o - E$). В основе метода лежит схема расчета фактического испарения по градиентным данным. Построив эмпирические зависимости, автор заменил величины градиентов скорости ветра, температуры и влажности воздуха температурой (T_B) и упругостью водяного пара (e), измеренными на уровне будки, т.е. на высоте 2 м.

По этим данным было определено фактическое испарение луга, которое относят к территории, окружающей ту или иную метеостанцию. Далее были построены графики перехода от величины испарения с луга к величинам испарения с сельскохозяйственных полей, занятых зерновыми культурами. Доказана идентичность величин испаряемости разных подстилающих поверхностей (сельскохозяйственное поле, паровое поле, водоем) при условии значительных размеров испаряющей поверхности и оптимальном увлажнении почвы.

Построенный на основе теории турбулентного обмена, этот метод выгодно отличается от других доступностью и простотой, ибо в результате ряда замен и упрощений, расчеты испарения и испаряемости в нем осуществляются по температуре и влажности воздуха, полученным по данным метеостанций без проведения трудоемких градиентных наблюдений.

Оценка влагообеспеченности растений по условным показателям увлажнения.

Рядом ученых предложены условные показатели увлажнения, называемые коэффициентами или индексами. Большинство из них представляют собой отношение ресурсов влаги (осадки, влагозапасы в почве) к потребности растений во влаге, рассчитанной через испаряемость. Последняя определяется по температуре и ее суммам, дефициту влажности воздуха или другим параметрам.

Селянинов Г.Т. [93] предложил показатель увлажнения (гидротермический коэффициент) рассчитывать по формуле:

$$ГТК = \frac{\sum r}{\sum T_c : 10} , \quad (4.12)$$

где $\sum r$ – количество осадков в теплый период; $\sum T_c$ – сумма среднесуточных температур воздуха выше 10°C за период вегетации культур (обычно за май, июнь, июль, август), уменьшенная в 10 раз, условно характеризует испаряемость.

Автор выявил большую устойчивость определенных значений ГТК на границах основных природных зон и на географических границах сельскохозяйственных культур. Например, граница леса и степи совпадает с изолинией ГТК, равной 1,0; северная граница пустыни – с изолинией 0,5 и т.д. Гидротермический коэффициент, равный 2,0 и более, характеризует условия избыточного увлажнения; 1,5 – условия оптимального увлажнения; 1,0 – условия недостаточного увлажнения; 0,7 – условия неустойчивого земледелия; 0,5 и менее – очень сухую зону, где необходимо орошение при возделывании культурных растений.

Относительный показатель увлажнения, предложенный Н.Н.Ивановым [62] рассчитывается по формуле:

$$K_y = P / f , \quad (4.13)$$

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

Этот показатель был применен Э.Л. Хершкович [4]. При агроклиматическом районировании картофеля на территории стран Восточной Европы.

Показатель увлажнения, предложенный Д.И. Шашко [110], рассчитывается по формуле:

$$Md = P / \sum d, \quad (4.14)$$

где P – количество осадков за год; $\sum d$ – сумма средних суточных дефицитов влажности воздуха за год, являющаяся показателем испаряемости.

Величина Md , равная 0,45, указывает на соответствие в пределах года осадков и испаряемости; при Md больше 0,45 осадки превышают испаряемость; Md более 0,60 указывает на формирование избыточного увлажнения. Наоборот, величины Md менее 0,45 являются показателями недостаточного увлажнения; Md менее 0,15 указывает на крайне засушливые условия.

Заслуживает внимание предложенный М.И. Будыко [13] радиационный индекс сухости, который рассчитывается по формуле:

$$K_c = \frac{R}{Lr}, \quad (4.15)$$

где R – радиационный баланс подстилающей поверхности; L – скрытая теплота испарения; r – годовое количество осадков.

Применение этого индекса затруднено ограниченностью данных по радиационному балансу. Однако автор показал возможность определения радиационного баланса подстилающей поверхности по суммам температур воздуха выше 10 °С. Показатель K_c является наиболее физически обоснованным и находит применение, как в странах СНГ, так и в дальнем Зарубежье.

4.2. Сравнительная оценка влагообеспеченности по дефициту испарения и относительному испарению в пределах СНГ и в Украине

В 60^{ых} годах прошлого столетия М.И. Будыко [13] предложил комплексный метод определения годового хода испарения, основанный на совместном решении уравнений теплового и водного балансов и экспериментально установленной зависимости испарения от влажности почвы. Этот метод позволяет рассчитать испарение (E) по известным величинам испаряемости (E_0) и осадков. Для нахождения испаряемости он предложил метод, учитывающий основные факторы, определяющие испаряемость – радиационный баланс, температуру и влажность воздуха.

Позднее Л. И. Зубенок [35] при помощи указанных методов выполнила расчеты в годовом ходе испарения и испаряемости для 500 пунктов, равномерно освещающих территорию бывшего СССР. Эти данные для

средних многолетних условий были ею использованы для построения серии мелкомасштабных карт распределения E , E_0 , а также карт дефицита испарения $(E_0 - E)$ и относительного испарения (E/E_0) на рассматриваемой территории.

Полученные материалы позволяют выявить географические закономерности распределения показателей ресурсов влаги и влагообеспеченности растений - E , E_0 , $(E_0 - E)$ и E/E_0 в среднем за год так и отдельно по месяцам с охватом весны, лета, осени. Например, из рис. 4.1 видно, что Арктическая зона характеризуется значениями испарения меньше 15 см/год. Исключение представляет Кольский полуостров, где под влиянием теплого течения Гольфстрим E увеличивается до 25 см/год. На значительной территории России, расположенной в климатической зоне умеренных широт годовое испарение увеличивается по направлению к югу от 15 – 20 см до 45 см, достигая в бассейне р. Кубани (юг Краснодарского края) 60 – 65 см/год.

На Украине в средней части бассейна р. Днепра и в бассейне р. Припяти испарение превышает 55 см/год. Во все стороны этой области испарение уменьшается: к северу и северо-востоку – вследствие уменьшения энергетических ресурсов, а к югу и юго-востоку – вследствие увеличения засушливости климата. Наибольшие значения годового испарения наблюдаются в субтропической зоне Грузии, где в обильно увлажненной Рионской низменности оно достигает 80 см и более, а на побережье черного моря испаряется более 90 см/год. На территории Куро-Аракской низменности недостаток увлажнения лимитирует испарение. Поэтому здесь испаряется менее 30 см/год.

На территории Казахстана по мере возрастания сухости климата к югу годовое испарение уменьшается от 35 до 20 см. На юге средней Азии годовое испарение только в предгорьях превышает 20 см/год, а на значительной части Туранской низменности, в песках Каракум, где осадки немногим более 10 см/год, испарение практически равно осадкам.

Внутригодовое распределение суммарного испарения для всей территории СНГ и стран Балтии характеризуется максимумом в теплое время года и минимумом в холодное. Например, в апреле географическая изменчивость месячных значений испарения на ЕЧ СНГ не превышает 4 – 6 см/мес. А именно, в северных районах и в лесной зоне России E не превышает 1 – 2 см/мес. В степных районах Краснодарского края и на юге Украины испарение увеличивается до 7 см/мес. В июле на той же территории испарение возрастает в направлении с севера на юг от 3 – 5 см/мес до 11 – 13 см/мес.

На территории, где в холодный период года радиационный баланс отрицателен и вследствие этого испаряемость близка к нулю, испарение практически отсутствует, длина такого периода в умеренных широтах

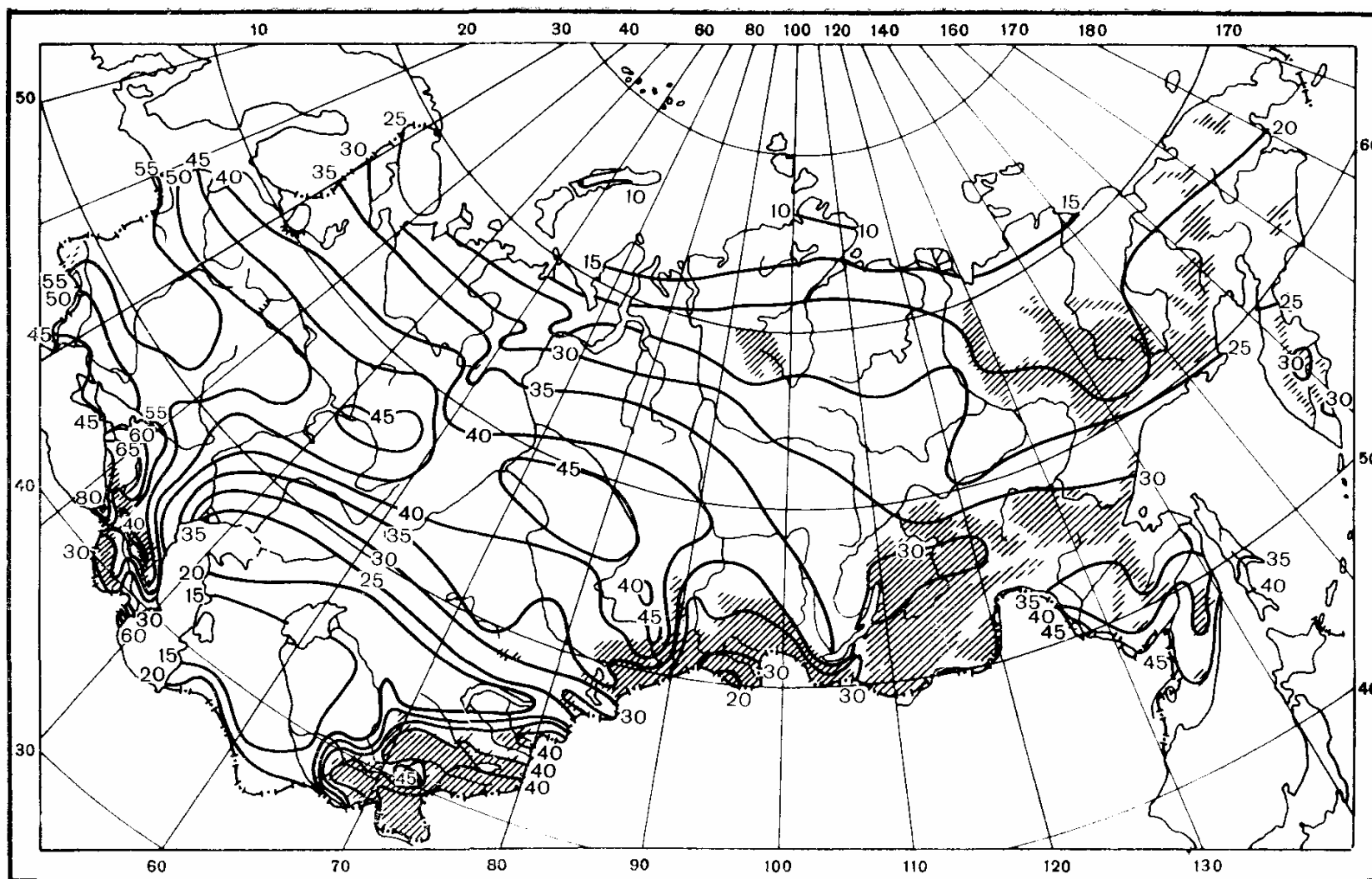


Рис. 4.1. Среднее годовое испарение (см) на территории СНГ и стран Балтии

изменяется от 3 - 4 месяцев на ЕЧ СНГ до 5 - 6 месяцев на АТ СНГ. На крайнем севере России продолжительность этого периода составляет 5 – 7 месяцев. Отсюда следует, что для преобладающей части территории СНГ, включая Украину, годовые суммы испарения по существу характеризуют испарение за теплый период.

Для оценки временной изменчивости годового хода испарения в отдельные годы Л.И. Зубенок [35] выполнила расчеты суммарной вероятности для 19-ти пунктов, охватывающих территорию ЕЧ СНГ, а также Западную Сибирь, Калмыкию и Казахстан. В результате этой работы была составлена расчетная табл. 4.1. С ее помощью можно определять обеспеченность возможных значений суммарного испарения относительно средних многолетних значений (\bar{E}).

Таблица 4.1. Годовое испарение E (см/год) различной обеспеченности (%) в разных регионах СНГ

Станция	\bar{E} , см/год	Обеспеченность, %								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90
Смоленск	48,6	55	54	53	52	50	49	47	42	35
Курск	57,9	71	66	63	59	56	54	52	51	50
Борисполь	46,7	53	51	49	48	47	46	44	42	40
Полтава	46,2	56	50	48	47	46	45	44	42	38
Куйбышев	49,6	62	58	54	50	48	47	46	45	38
Курган	44,7	50	49	48	47	46	44	43	41	37
Омск	40,8	48	47	45	43	41	39	37	35	33
Челябинск	48,9	60	56	53	50	48	47	45	42	39
Караганда	46,7	58	54	53	50	47	43	40	38	36
Тернополь	52,0	61	58	55	53	52	50	48	46	44
Днепропетровск	51,0	67	62	54	50	47	46	45	44	40
Аскания-Нова	42,2	52	46	45	42	40	39	38	37	36
Оренбург	42,0	53	48	46	44	42	40	38	35	32
Калмыково	24,6	33	30	28	26	25	24	22	19	15

Из табл. 4.1 видно, что повсеместно обеспеченность годового испарения выше средней многолетней величины мало, а обеспеченность испарения ниже средней многолетней величины велико. Например, в средней полосе России (ст. Курск) при \bar{E} равном 57,9 см на 90% (9 раз в 10 лет) обеспечено испарение не ниже 50 см и только 1 раз в 10 лет оно может быть равным 71 см. В южных степях Украины (ст. Аскания-Нова) при \bar{E} равном 42,2 см/год на 90% обеспечено значение испарения не ниже 32 см, но только один раз в 10 лет (10% обеспеченность) оно может быть равным 52 см/год. Диапазон различий в годовых значениях испарения обеспечен-

ностью в 10% и 90% на рассматриваемой территории колеблется в пределах 8 – 14 см/год.

Аналогичные разработки выполнены для месячных значений суммарного испарения за теплый период с апреля по сентябрь или октябрь. Полученная информация об обеспеченности месячных значений испарения использовалась для установления зависимости между средним испарением (\bar{E}) и испарением разной обеспеченности. Эта зависимость для месяцев при условиях достаточного увлажнения (индекс сухости ($E_0/r \leq 1,2$)) - на рис. 4.2а, при условиях недостаточного увлажнения (индекс сухости $3,0 > E_0/r > 1,2$) – на рис. 4.2б. С помощью номограмм обеспеченности можно определять месячное значение суммарного испарения заданной обеспеченности (E_s) в зависимости от средней многолетней месячной величины \bar{E} .

Значения испаряемости дают представление о верхнем пределе испарения с сумм, когда оно не лимитируется недостатком влаги в почве. Вследствие этого материалы по испаряемости (E_0) могут иметь самостоятельное значение (помимо того, что данные по испаряемости широко используются в методах расчета суммарного испарения, при изучении условий увлажнения суши, в схемах расчета норм орошения). По вышеуказанным причинам значения испаряемости неоднократно картировались как для суши Земного шара, так и для отдельных континентов и стран [1, 3, 11, 35, 40, 43 и др.].

На годовой карте испаряемости распределение E_0 в пределах территории бывшего СССР в целом носит зональный характер. А именно, в северных районах испаряемость за год не превышает 20 – 30 см. в центральных районах России увеличивается до 40 – 60 см. В южных районах России и Украины E_0 возрастает до 80 – 90 см, а в Закавказье – до 100 – 120 см/год. Наибольшие значения годовой испаряемости характерны для юга Средней Азии, где E_0 достигает 150 – 170 см. Географическая изменчивость испаряемости за год на рассматриваемой территории велика и составляет 150 см.

В годовом ходе наибольшая испаряемость наблюдается летом. например, в июле в северных районах России E_0 не превышает 5 – 7 см/мес; в центральных районах ЕЧ СНГ увеличивается до 10 – 13 см. В южных районах и в Украине испаряемость возрастает до 15 – 20 см/мес, а на юге Средней Азии – до 25 см. В зимние месяцы испаряемость незначительная на всей территории СНГ, кроме юга Средней Азии, низкогорной части Кавказа и Крыма, где E_0 составляет 1 – 5 см/мес.

Еще в 1950 г. А.М. Алпатьев [9] установил, что при оптимальных для растений условиях увлажнения почв суммарное испарение приближается к своей потенциально возможной величине – испаряемости.

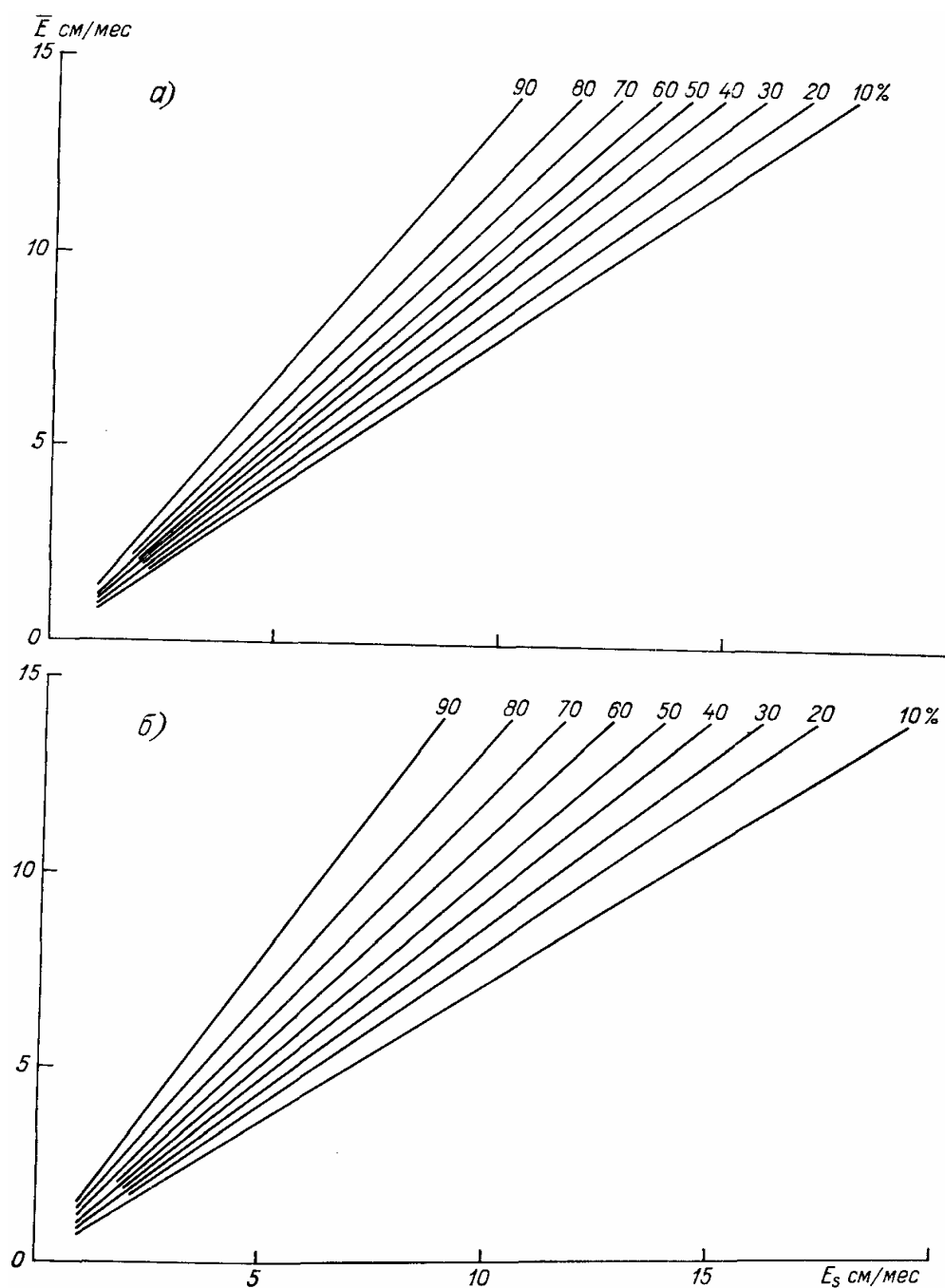


Рис. 4.2. Номограммы для определения месячного суммарного испарения разной обеспеченности на территории СНГ: а) $E_0/r \leq 1,2$; б) $3,0 > E_0/r > 1,2$

Это позволило автору сделать вывод о возможности использования испаряемости в качестве показателя оптимальной потребности сельскохозяйственных культур во влаге. С учетом этого обстоятельства разность между испаряемостью и суммарным испарением - дефицит испарения ($E_0 - E$) можно рассматривать как водный дефицит и использовать его как показатель условий увлажнения и норм орошения.

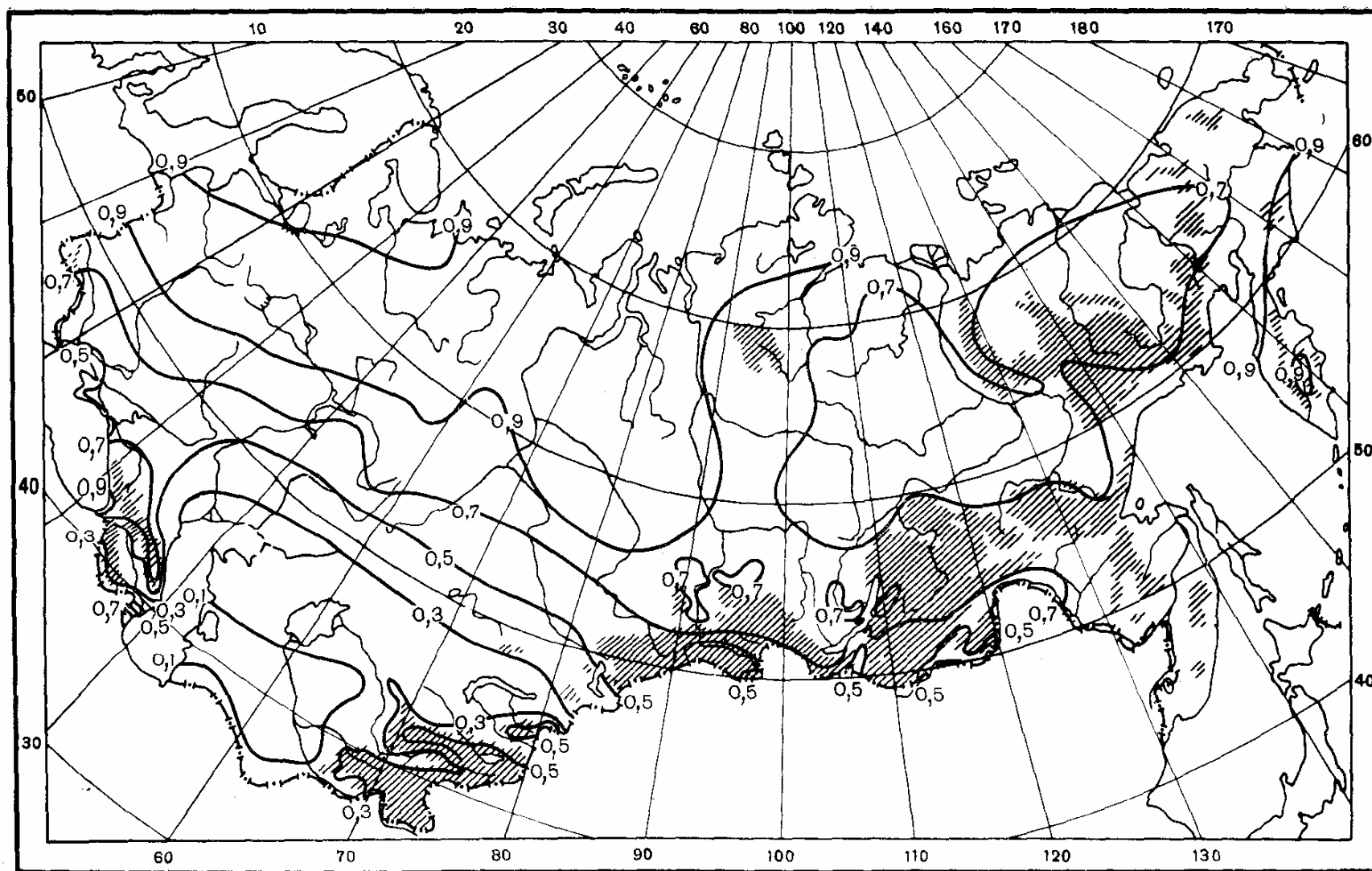


Рис. 4.3. Среднее годовое относительное испарение (E/E_0) на территории СНГ и стран Балтии

На территории СНГ в целом за год дефицит испарения меньше 5 см наблюдается на территории Беларуси и Среднего Урала, средней части Западно-Сибирской низменности, на полуострове Таймыр. Вдоль южной границы лесной зоны его величина составляет 10 – 15 см/год. С увеличением засушливости ($E_0 - E$) возрастает и на южной границе лесостепной зоны достигает 20 – 25 см/год. В южных степях России и Украины дефицит испарения превышает 40 см/год, а на юге Средней Азии составляет более 150 см/год.

Характер годового хода дефицита испарения определяется внутригодовым распределением его составляющих – испаряемости и испарения. В соответствии с ними на большей части территории СНГ максимальные дефициты испарения наблюдаются в июле-августе. Например в июле дефицит испарения в северных и центральных районах России и Беларуси не превышает 3 см/мес. по мере возрастания сухости климата увеличиваются значения ($E_0 - E$) и в южных районах ЕЧ СНГ, в том числе в Молдове, Украине и в Закавказье, дефицит испарения достигает 10 – 13 см/мес. Наибольшие значения дефицита испарения характерны для юга Средней Азии, где он достигает в июле 19 – 22 см/мес.

Для сопоставления условий увлажнения различных территорий удобнее пользоваться безразмерным показателем влагообеспеченности растений в виде E/E_0 . Как видно из рис. 4.3, распределение среднего годового относительного испарения на территории СНГ носит неравномерный характер. А именно, обширная территория лесной зоны ЕЧ СНГ, включая Западно-Сибирскую низменность, характеризуется показателем увлажнения E/E_0 большим 0,9. Это означает, что здесь испарение близко к испаряемости в течении всего года. Далее к югу с возрастанием сухости климата значительно ухудшается условия увлажнения и показатель E/E_0 понижается до 0,7 – 0,5 (южные районы Молдовы и Украины). На юге средней Азии относительное испарение понижается до 0,3 – 0,1.

От мая к июлю влагообеспеченность резко уменьшается в пределах территории СНГ. В июле на значительной территории России, кроме Западной Сибири, значения E/E_0 превышают 0,7. На юге Молдовы и Украины влагообеспеченность снижается до 0,5 – 0,3. Такие же значения E/E_0 характерны для Казахстана, а на юге средней Азии этот показатель понижается до 0,1.

4.3. Агроклиматическая оценка и комплексное районирование показателей ресурсов влаги и влагообеспеченности на территории Украины

Классические методы оценки агроклиматических ресурсов достаточно полно представлены в опубликованных работах Г.Т. Селянинова [93,

94], Ф.Ф. Давитая [25, 26], С.А. Сапожниковой [4, 6], Д.И. Шашко [109, 110] и многих других авторов. В результате этих исследований созданы климатические и агроклиматические атласы, издан ряд монографий, содержащих, как правило, карты распределения отдельных элементов климата или карты агроклиматического районирования путем наложения друг на друга 3-4^{-х} тематических карт, содержащих основные показатели теплообеспеченности, условий увлажнения и морозоопасности.

К настоящему времени применительно к территории Украины выполнены значительные научные разработки и построен ряд агроклиматических карт в мелком масштабе (1:4 000 000) по отдельным показателям условий увлажнения и влагообеспеченности. Например, в "Агроклиматическом атласе Украинской ССР" [3] опубликована карта тепло и влагообеспеченности за вегетационный период с T_c выше 10 °С. На ней в виде изолиний дано распределение ΣT_c выше 10 °С, а цветом выделено шесть макрорайонов по относительному показателю увлажнения – ГТК. На карте условий увлажнения за год в виде изолиний дано распределение испарения с водной поверхности, т.е. испаряемости (E_0 , мм), а цветом выделено десять макрорайонов по количеству осадков (Σr) с интервалом в 50 – 100 мм.

Позднее в книге "Климат Украины" [39] были опубликованы мелко-масштабные климатические карты распределения суммарного испарения за год (E , мм) в пределах Украины, на которой выделено 13 макрорайонов, включая горные районы Карпат и Крыма. с интервалом в 25 мм. На карте суммарного испарения за лето на той же территории также выделено 13 макрорайонов с интервалом в 20 мм. На агроклиматической карте распределения количества осадков (Σr) за период активной вегетации с T_c выше 10 °С. С таким же шагом выделено 12 макрорайонов.

Не умаляя ценности вышеуказанных исследований следует признать, что они недостаточны для обеспечения современных запросов сельскохозяйственного производства на территории отдельно взятой страны, в том числе Украины. Различные отрасли сельского хозяйства нуждаются в более полной и исчерпывающей информации раздельно по показателям радиационно-тепловых ресурсов, режиму увлажнения и влагообеспеченности, а также условиям заморозко и морозоопасности. Решение задачи неразрывно связано с совершенствованием и развитием методов тематического и комплексного агроклиматического районирования в разном масштабе генерализации.

В последние годы развивается новое направление в изучении климатических и агроклиматических ресурсов на территориях разного масштаба, связанное с разработкой методики уплотнения соответствующей информации о климате. Суть метода, предложенного З.А. Мищенко [55, 59, 60, 62, 64, 66, 74], заключается в следующем. На первом этапе устанавливаются зависимости между основным и искомыми показателями: радиационно-тепловых ресурсов, режима увлажнения и влагообеспеченности растений,

условий заморозко и морозоопасности. на втором этапе осуществляется комплексное тематическое или общее районирование показателей агроклиматических ресурсов. На третьем этапе, в особенности при агроклиматическом районировании ограниченных территорий, количественно учитывается влияние микроклимата.

Этот метод позволяет сократить трудоемкие работы по составлению агроклиматических карт по отдельным показателям климата и представить потребителю в компактном виде исчерпывающую информацию как по группе родственных показателей, так и в целом по агроклиматическим ресурсам. Кроме того, такой системный подход позволяет решить различные прикладные задачи, в том числе по оптимизации размещения однолетних и многолетних культур на сортовом уровне, а также оценить их продуктивность на основе физико-статистического моделирования.

В данной работе сделана попытка применить вышеуказанный метод для количественной оценки и комплексного районирования показателей ресурсов влаги и влагообеспеченности на территории Украины. Для этой цели был создан банк данных, охватывающих основные показатели режима увлажнения за весну, лето, осень и за теплый период с T_c выше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Исходные средние многолетние данные в виде месячных значений по количеству осадков (Σr), дефициту влажности воздуха (Σd), испаряемости (E_o), суммарному испарению (E) с марта по ноябрь получены для 74 метеостанций из справочных книг по климату [97, 98, 100].

Дополнительно для 66 метеостанций выполнены расчеты E_o , E , E/E_o , $ГТК$ и Md за теплый период с T_c выше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. по формулам 4.3, 4.4, 4.5, и 4.12, 4.14. При этом использовались данные по датам начала весны и конца теплого периода осенью (D_e , D_o), суммы среднесуточных температур воздуха выше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ΣT_c), запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на начало и конец вегетационного периода (W_n, W_k). Результаты этой работы фрагментарно представлены в табл. 4.2. Наглядно видно, что показатели ресурсов влаги и условий увлажнения характеризуется значительной географической изменчивостью на рассматриваемой территории. А именно, Σr , $ГТК$, Md уменьшается в направлении с северо-запада на юг и юго-восток в 2 – 3 раза. Например, в северо-западном регионе (ст. Бережаны, Броды) Σr , $ГТК$, Md составляют за теплый период соответственно 427 – 446 мм, 1,8 – 1,9 и 0,6, а на юге (ст. Херсон, Бехтеры) их значения не превышают 228 – 190 мм, 0,7-0,6 и 0,2. С увеличением сухости климата в указанном направлении показатель влагообеспеченности E/E_o уменьшается в 2,5–3 раза, а дефицит испарения в виде $(E - E_o)$ – возрастает в 12 раз. А именно, на ст. Бережаны, Броды E/E_o и $(E - E_o)$ составляют 0,93 – 0,92 и 40 – 39 мм, а на юге (ст. Херсон, Бехтеры) E/E_o не превышает 0,37 – 0,33 при увеличении дефицита испарения $(E - E_o)$ до 516 – 503 мм.

Таблица 4.2. Агроклиматическая оценка ресурсов влаги и влагообеспеченности за теплый период с T_c выше 10 °С в различных районах Украины

№ п/п	Станция	Σr , мм	Σd , мм	E_o , мм	E , мм	$(E_o - E)$, мм	E/E_o	$ГТК$	Md
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Дубно	352	699	454	402	52	0,88	1,9	0,5
2	Бережаны	427	656	466	426	40	0,93	1,8	0,6
3	Броды	446	693	489	450	39	0,92	1,8	0,6
4	Владимир-Волинский	360	689	447	430	17	0,96	1,9	0,5
5	Ковель	368	728	473	424	49	0,89	1,7	0,5
6	Житомир	369	757	492	445	47	0,89	1,7	0,5
7	Чернигов	359	810	526	448	78	0,85	1,5	0,4
8	Конотоп	347	772	502	428	72	0,80	1,5	0,4
9	Глухов	315	734	447	386	61	0,80	1,5	0,4
10	Красноград	329	839	545	407	138	0,74	1,4	0,4
11	Золотоноша	395	883	574	415	159	0,72	1,4	0,4
12	Гайворон	327	980	637	409	228	0,64	1,3	0,3
13	Лубны	329	959	623	414	209	0,66	1,2	0,3
14	Кировоград	319	1059	688	402	280	0,58	1,1	0,3
15	Изюм	320	1134	737	397	330	0,53	1,1	0,3

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16	Первомайск	277	1156	751	362	389	0,48	0,9	0,2
17	Раздельная	275	1175	764	353	411	0,46	0,8	0,2
18	Баштанка	270	1226	798	357	441	0,44	0,9	0,2
19	Одесса	228	1129	734	392	442	0,44	0,7	0,2
20	Базарьянка	204	1021	664	293	371	0,44	0,6	0,2
21	Болград	315	1228	798	359	439	0,45	0,9	0,2
22	Вознесенск	275	1263	820	349	471	0,42	0,8	0,2
23	Пришиб	239	1282	833	321	512	0,38	0,8	0,2
24	Луганск	293	1304	846	349	497	0,41	0,9	0,2
25	Херсон	228	1268	824	308	516	0,37	0,7	0,2
26	Бехтеры	190	1157	752	249	503	0,33	0,6	0,2
27	Джанкой*	269	1220	793	365	428	0,46	0,8	0,2
28	Клепинино*	295	1218	792	359	433	0,45	0,8	0,2
29	Кировский з/с*	220	1101	716	308	408	0,43	0,7	0,2

Следующий этап работы заключается в поиске эмпирических зависимостей между количеством осадков Σr и рядом других показателей ресурсов влаги и влагообеспеченности. В число последних вошли: испаряемость (E_o), суммарное испарение (E), относительное испарение (E/E_o), дефицит испарения ($E - E_o$), условные показатели увлажнения (ΓTK , Md). Установлена прямолинейная зависимость между этими показателями за теплый период с T_c выше 10 °С. Рассчитаны соответствующие уравнения регрессии, которые имеют следующий вид:

$$E_o = 0,65 \cdot \Sigma d - 0,39; \quad r = 0,98 \quad 4.16$$

$$E_o = 1,74 \cdot \Sigma r + 1168; \quad r = 0,73 \quad 4.17$$

$$E = 0,69 \cdot \Sigma r + 187; \quad r = 0,82 \quad 4.18$$

$$E/E_o = 0,003 \cdot \Sigma r - 0,40; \quad r = 0,89 \quad 4.19$$

$$(E_o - E) = -754,9 \cdot E/E_o + 740,2; \quad r = 0,98 \quad 4.20$$

$$Md = 0,017 \cdot \Sigma r - 0,202; \quad r = 0,74 \quad 4.21$$

$$\Gamma TK = 0,004 \cdot \Sigma r - 0,006; \quad r = 0,72 \quad 4.22$$

Коэффициенты корреляции (r) между показателями ресурсов влаги колеблются в пределах $0,98 = 0,72$, что указывает на достаточно тесную взаимосвязь между ними.

Следовательно возможно использование формул 4.16 – 4.22 для уплотнения агроклиматической информации с последующим комплексным районированием ресурсов влаги и влагообеспеченности на территории Украины. Картирование выполнено по основным показателям - Σr и E/E_o за теплый период с T_c выше 10 °С. на рабочей карте в масштабе 1:2000000 по этим показателям выделено 9 макрорайонов. А далее для каждого макрорайона были определены значения: дефицита влажности воздуха (Σd), испаряемости (E_o), суммарного испарения (E), дефицита испарения ($E - E_o$), а также условных показателей увлажнения – Md и ΓTK .

Как видно из рис. 4.4 и табл. 4.3 показатели ресурсов влаги и влагообеспеченности в биологически активном слое воздуха значительно изменяются в географическом разрезе с северо-запада и запада на юго-восток и юг страны. Например, в сильно-переувлажненном низко-горном рельефе Карпат (макрорайон 1) Σr , E/E_o и дефицит ($E - E_o$) составляют соответственно 450 мм и более, 0,95 и 23 мм. Сумма дефицитов влажности воздуха Σd , E_o и E оказываются в пределах 770 мм, 500 мм и 477 мм. условный показатель увлажнения Md здесь равен 0,56, что указывает на формирование избыточного увлажнения.

В зоне достаточного увлажнения (макрорайон 5) количество осадков снижается до 360 – 330 мм, показатель влагообеспеченности E/E_o

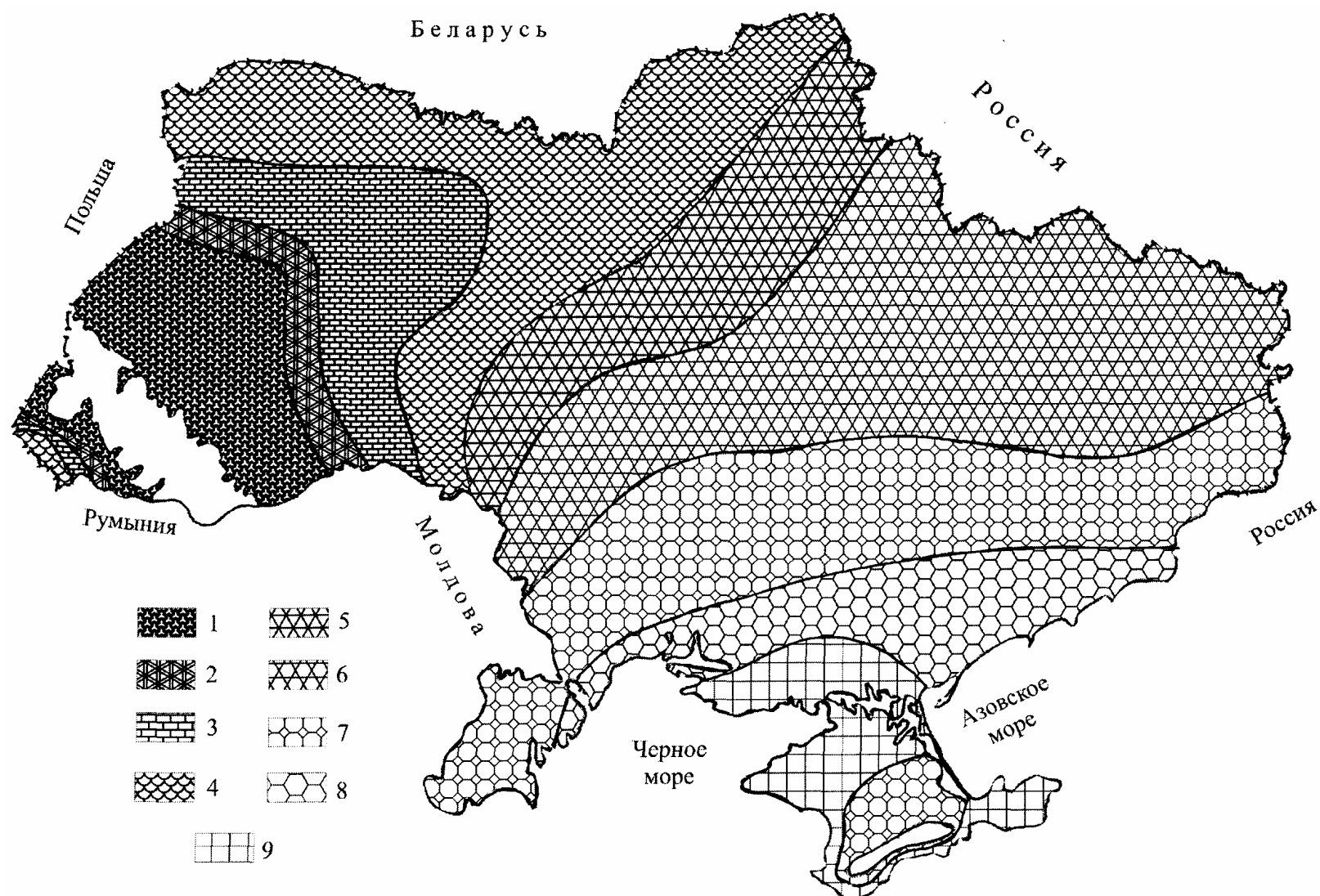


Рис. 4.4. Комплексное районирование показателей ресурсов влаги и влагообеспеченности за теплый период с T_c выше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ на территории Украины. Макрорайоны 1-9 (см. табл. 4.3)

Таблица 4.3. Агроклиматическая оценка ресурсов влаги и влагообеспеченности за теплый период с T_c выше 10 °С в пределах Украины

Макрорайон	Σr , мм	E/E_o	Σd , мм	E_o , мм	E , мм	$(E - E_o)$, мм	Md
1. Сильнопереувлажненный в низкогорном рельефе Карпат	≥ 450	0,95	< 770	≤ 500	> 477	23	0,56
2. Переувлажненный в предгорьях Карпат	450 – 420	0,95 – 0,86	770 – 840	500 – 548	477 – 457	23 – 91	0,56 – 0,50
3. Избыточно-влажный в западном регионе	420 – 390	0,86 – 0,77	840 – 910	548 – 594	457 – 436	91 – 159	0,50 – 0,46
4. Влажный на северо-западе и в Закарпатье	390 – 360	0,77 – 0,68	910 – 980	594 – 642	436 – 415	159 – 227	0,46-0,41
5. Достаточного увлажнения	360 – 330	0,68 – 0,59	980 – 1060	642 – 690	415 – 395	227 – 295	0,41 – 0,36
6. Недостаточного увлажнения	330 – 300	0,59 – 0,50	1060 – 1130	690 – 737	395 – 374	295 – 363	0,36 – 0,32
7. Слабо-засушливый	300 – 270	0,50 – 0,41	1130 – 1210	737 – 787	374 – 353	363 – 434	0,32 – 0,28
8. Засушливый на юго-востоке	270 – 240	0,41 – 0,32	1210 – 1280	787 – 830	353 – 332	434 – 498	0,28 – 0,24
9. Очень засушливый на юге	< 240	$< 0,32$	> 1280	> 830	< 332	> 498	$< 0,24$

колеблется в пределах 0,68 – 0,50, а дефицит испарения ($E - E_o$) увеличивается до 227 – 295 мм. Сумма дефицитов влажности воздуха и испаряемость возрастают до 980 – 1060 мм и 642 – 690 мм соответственно, суммарное испарение и Md в этом районе уменьшаются до 415 – 395 мм и до 0,41 – 0,36.

В засушливом на юго-востоке страны макрорайоне 8 количество осадков не превышает 270 – 240 мм, показатель влагообеспеченности E/E_o , суммарное испарение E и Md уменьшаются соответственно до 0,41 – 0,32, 353 – 332 мм и до 0,28 – 0,24. Значительно увеличиваются здесь сумма дефицитов влажности воздуха, испаряемость и дефицит испарения ($E - E_o$). Значения этих показателей колеблются в пределах 1210 – 1280 мм, 787 – 830 мм и 434 – 498 мм.

В очень засушливом макрорайоне 9 на юге страны ресурсы влаги и влагообеспеченность оказываются еще ниже. Количество осадков колеблется в пределах 240 – 220 мм, а E/E_o оказывается ниже 0,32. Испаряемость и дефицит испарения ($E - E_o$) превышают 830 мм и 498 мм. Условный показатель увлажнения Md составляет здесь 0,24 – 0,22, что указывает на формирование очень засушливых условий для возделывания большинства культурных растений. Поэтому в макрорайонах 8, 9 для получения стабильных урожаев необходимо орошение сельскохозяйственных полей.

В заключение следует отметить следующее. Агроклиматическая карта комплексного районирования показателей ресурсов влаги и влагообеспеченности с легендой к ней (рис. 4.4; табл. 4.3) содержит количественную информацию для условий открытого ровного места, т.е. равнинных земель. В условиях холмистого и низкогорного рельефа происходит перераспределение осадков в разных местоположениях. Под влиянием экспозиции и крутизны склонов существенно изменяются характеристики солнечной радиации. Это обуславливает значительную микроклиматическую изменчивость испаряемости, суммарного испарения и влагообеспеченности в виде относительного испарения E/E_o .

Поэтому при решении практической задачи в конкретной местности со сложным рельефом необходимо учитывать влияние микроклимата на изменчивость этих показателей относительно открытого ровного места. Для этой цели следует использовать разработанные Е.Н. Романовой [91] расчетные схемы, содержащие переходные коэффициенты для определения Σd , E_o , E , E/E_o в разных местоположениях рельефа или на склонах различной экспозиции и крутизны в пределах территории СНГ. Методика таких расчетов для весны, лета, осени и в среднем за теплый период с T_c выше 10 °С применительно к территории Украины опубликована также З.А.Мищенко и Г.В.Ляшенко [80] в учебном пособии „Мікрокліматологія”.

5. АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ ПО ВЛАГОЗАПАСАМ В ПОЧВЕ ПОД КУКУРУЗОЙ И ПОДСОЛНЕЧНИКОМ

5.1. Состояние изученности показателей ресурсов влаги в почве

Жизнедеятельность растений и формирование их урожаев возможно лишь при наличии в корнеобитаемом слое почвы влаги. Количество влаги, содержащееся в почве сверх влажности устойчивого завядания и участвующее в создании органического вещества, называется продуктивной влагой.

Продуктивная влага почвы является важным комплексным показателем увлажнения сельскохозяйственных полей, ибо она есть результат взаимодействия погодных, почвенных, растительных и агротехнических условий. Этот интегральный показатель включает осадки, сток, влагообмен почвы по вертикали, испарение и поэтому характеризует действительные ресурсы влаги, находящиеся в распоряжении растений.

В настоящее время достаточно детально изучены ресурсы влаги в почве с оценкой влагообеспеченности ряда сельскохозяйственных культур (зерновы яровые, зерновые озимые, кукуруза, сахарная свекла, картофель и др.) на территории СНГ, в том числе в Украине. Большой цикл исследований по ресурсам влаги в почве выполнен А.М. Алпатьевым [9], С.А.Вериго и Л.А. Разумовой [16], Л.С. Кельчевской [37], А.А. Роде [89] и другими авторами. Выявлены географические закономерности распределения средних многолетних запасов продуктивной влаги в почве под различными культурами в сезонном разрезе. Например, С.А. Вериго и Л.А. Разумова составили агроклиматические карты запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы (W , мм) под зябью весной и в критический к влаге период формирования колоса и цветка яровой пшеницы для земледельческой территории СССР. Ими определены четыре типа годового хода W и построена карта агрогидрологических зон (слабого весеннего промачивания, капиллярного промачивания, обводнения) в мелком масштабе на территории СНГ.

Сопоставление фактических запасов продуктивной влаги в корнеобитаемом слое почвы с потребностью растений в ней позволяет дать количественную оценку влагообеспеченности культурных растений. Физическое обоснование для такой оценки дано в работах М.И. Будыко [13] и Л.И. Зубенок [35]. Установлено, что отношение фактического испарения E к возможному E_o (испаряемость) характеризует отношение количества продуктивной влаги в почве W_{Π} к количеству влаги W_o , обеспечивающему наибольшее возможное испарение. Эту взаимосвязь можно выразить в виде:

$$\frac{E}{E_o} = \frac{W_{\Pi}}{W_o}. \quad (5.1)$$

В настоящие годы показатель в виде $\frac{W_{\Pi}}{W_0}$ нашел широкое применение для количественной оценки влагообеспеченности сельскохозяйственных культур по влагозапасам в корнеобитаемом слое почвы. При этом вместо W_0 применяют неполную полевую влагоемкость $W_{\text{ппв}}$. Влагообеспеченность V_{Π} сельскохозяйственных полей, занятых той или иной культурой определяют по формуле вида

$$V_n = \frac{W_n}{W_{\text{ппв}}} . \quad (5.2)$$

Например, для определения V_{Π} на весну (чаще всего на 3^ю декаду апреля) учитывают значения W_{Π} и $W_{\text{ппв}}$ в метровом слое почвы на средних суглинках.

Представляет несомненный интерес метод оценки водного режима растений, разработанный А.А. Роде [52]. Метод основан на использовании полного уравнения водного баланса поля:

$$W_0 + x + q_{\text{зр}} + q_k = E_n + E_T + W_1 + \Delta W + q_n, \quad (5.3)$$

где W_0 – запасы влаги корнеобитаемого слоя почвы в начале периода; W_1 – запасы влаги в почве расчетного периода; x – осадки; $q_{\text{зр}}$ – влага, поступающая в корнеобитаемый слой от грунтовых вод; q_k – конденсация пара; E_m – транспирация растений, q_n – поверхностный сток; ΔW – изменение влагозапасов в почве. Если расход влаги превышает ее приход, растения начинают испытывать недостаток влаги; при превышении прихода влаги в почву над расходом создаются условия для избыточного увлажнения.

Заслуживают внимания исследования по запасам влаги в почве выполненные Л.С. Кельчевской [37] применительно к территории ЕЧ России. Она количественно оценила полную полевую влагоемкость и наименьшую влагоемкость почв разного механического состава с учетом их типологических свойств; выявила географические особенности динамики режима увлажнения различных почв путем географического построения эпюр. Ею разработана методика картирования запасов продуктивной влаги на основе комплексного учета почв разного механического состава и влияния рельефа; составлен ряд карт распределения W_{Π} для зерновых культур, как для территории ЕЧ России, так и для Центрально-черноземной области.

Под руководством и при участии Л.С. Кельчевской создан "Атлас запасов влаги под озимыми и ранними зерновыми культурами на ЕЧ СССР". изданный в 1987 году. В нем содержится 35 мелкомасштабных карт запа-

сов продуктивной влаги в пахотном и метровом слое почвы на третьи декады каждого месяца осеннего периода вегетации озимых зерновых культур (озимая пшеница, озимая рожь, озимый ячмень) и весенне-летнего периода вегетации озимых и ранних яровых зерновых культур (пшеница, ячмень, овес). Впервые построено 42 номограммы обеспеченности для определения возможных W_{Π} отдельно для глинистых и суглинистых почв, а также супесчаных и песчаных почв.

В более ограниченном виде проводились комплексные исследования по климату и микроклимату различных почв с региональным подходом, включая организацию специальных наблюдений. Например, под руководством А.М. Шульгина [112] были проведены изыскания в Алтайском крае России с целью агроклиматической оценки условий произрастания зерновых культур и сахарной свеклы. составлена серия почвенно-климатических карт с использованием, главным образом, показателей почвенного климата. Например, на карте почвенно-климатических ресурсов территории выделено десять мезорайонов, различающихся по типам почв, ΣT_n на глубине 20 см, W_{Π} в метровом слое почвы, коэффициенту увлажнения ($K_{ув}$), а также по суммарному испарению (E), а также по коэффициенту влагообеспеченности растений в виде E/E_0 .

В последние годы получила развитие методика картографирования показателей теплового и водного режима различных почв в среднем и крупном масштабах с использованием почвенных и ландшафтных карт [36, 39, 57, 80, 91, 114]. Например, по научным руководством А.П. Сляднева [96] впервые создан "Почвенно-климатический атлас Новосибирской области", где представлено 98 показателей, характеризующие земельный фонд на территории области, термические и водные ресурсы, неблагоприятные явления климата а также природно-климатическое районирование для обеспечения запросов сельского хозяйства.

Почвенный климат представлен рядом карт тепловых ресурсов почвы на глубине 20 см и 40 см, а также запасами продуктивной влаги в пахотном и метровом слое почвы на период посева яровых зерновых культур, декаду колошения и на декаду восковой спелости. Здесь же содержатся микроклиматические карты, в том числе по микроклимату почв Центральной Барабы. На ней Г.М. Дзюба [39] выделил 6 микрорайонов, различающихся по десяти показателям, в том числе по интенсивности потока тепла в почву, коэффициенту теплообмена, температуре почвы на глубине 20 см и влажности различных почв в метровом слое.

Интересные исследования были проведены В.С. Клыпучто [42] по микроклиматическим ресурсам мелиорируемых земель Южной Карелии и их учету в сельском хозяйстве. Получена количественная оценка микроклиматической изменчивости радиационного и теплового балансов, температурно-влажностного режима на неосушенном и осушенном торфяниках,

а также на почвах разного механического состава в условиях всхолмленного рельефа. Им составлен ряд крупномасштабных карт и выполнено комплексное районирование агроклиматических и микроклиматических ресурсов на ограниченной территории. Мезо- и микрорайоны выделены по двенадцати показателям, в том числе по суммарной радиации, суммам температуры на поверхности почвы и на глубине 10 см, запасам продуктивной влаги, а также условиям заморозкоопасности весной и осенью и морозоопасности зимой.

Применительно к территории Украины проведен цикл исследований, посвященных агрогидрологическим условиям и влажностному режиму различных почв [3, 30, 31, 40, 45 и др.]. Например в "агроклиматическом атласе Украинской ССР" [3] представлен ряд агроклиматических карт средних многолетних запасов продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см (на период возобновления вегетации озимой пшеницы весной, на даты выхода в трубку, цветение, восковую спелость) и в слое 0-20 см (на даты посева весной ранних и поздних зерновых культур, на дату посева озимой пшеницы осенью).

В настоящее время Г.В. Ляшенко [48, 50] осуществила комплексный подход к агроклиматической оценке продуктивности сельскохозяйственных культур. Ею разработано новое агроклиматическое районирование территории Украины. Картографирование агроклиматических ресурсов выполнено с применением ГИС-технологий в программной оболочке Arc View. Составлены карты тепловых ресурсов и ресурсов влаги в виде слоев, путем синтеза которых получена комплексная карта. На ней выделено семь макрорайонов по ресурсам тепла, каждый из которых подразделяется по ресурсам влаги на подрайоны, всего 20. Количественная оценка ресурсов влаги выполнена по количеству осадков Σr), E_o , E , $ГТК$ и Md а теплый период с T_c выше 5°C и 10°C . Запасы продуктивной влаги в почве (W_n) в слое почвы 0-100 см определены по датам перехода T_c через 5°C и 10°C весной и осенью. Оценка влагообеспеченности дана по показателю $W_n/W_{нв}$ в среднем за теплые периоды с T_c выше 5°C и 10°C .

Интересные исследования выполнены В.П. Дмитренко и А.В. Круковской [47] по агроклиматической оценке условий влагообеспеченности территории Украины в период вегетации сельскохозяйственных культур. разработан новый метод агрогидрологического районирования Украины на основе объективной классификации условий атмосферного увлажнения, агрогидрологических свойств различных почв, режима грунтовых вод и рельефа местности в период вегетации сельскохозяйственных культур. На мелкомасштабной карте выделено 10 макрорайонов. Для каждого из них дана количественная оценка показателя влагообеспеченности в виде $\bar{W}/W_{нв}$ в метровом слое почвы под озимой пшеницей на третью декаду апреля, мая, июня. На основе базовой модели "погода - урожай" проведен

анализ условий влагообеспеченности озимой пшеницы и ярового ячменя с декадным шагом применительно к различным типам почв. Составлена карто-схема распределения коэффициента продуктивности озимой пшеницы в пределах страны.

5.2. Количественная оценка взаимосвязи между влагозапасами в почве и неполной полевой влагоемкостью

Одним из наиболее надежных методов оценки влагообеспеченности растений, в том числе подсолнечника, является определение ее по влагозапасам почвы на разных глубинах (0 – 20 см, 0 – 50 см, 0 – 100 см). Под водным режимом почвы следует понимать совокупность всех явлений, связанных с поступлением влаги в почву, ее передвижением, расходом из почвы и изменением ее состояния в корнеобитаемом слое почвы, а под режимом влажности почвы – ее динамику.

Согласно исследованиям А.А. Роде [89], почвенная влага разделена на следующие категории: 1) совершенно неусвояемая влага (мертвый запас); 2) весьма труднодоступная влага (часть рыхлой связанной влаги от мертвого запаса до влажности завядания); 3) условно труднодоступная влага, заключенная в пределах между величинами влажности завядания и влажности разрыва капилляров; 4) средnedоступная, подвижная влага (в пределах от влажности разрыва капилляров до величины полевой наименьшей влагоёмкости – НВ); 5) легкодоступная влага, переходящая в избыточную (она лежит в пределах от величины НВ до полной влагоёмкости – ПВ).

Все указанные категории влаги объединяются в две основные группы: 1) непродуктивную влагу (1-я и 2-я категории), 2) продуктивную влагу (3 - 5-я категории), нижним пределом которой служит влажность завядания (ВЗ). Оптимум влаги для растений лежит несколько выше влажности разрыва капилляров (ВРК) или от 65-70 % до 100 % наименьшей полевой влагоемкости (НВ). Для оценки ресурсов влаги на той или иной территории применяют запасы продуктивной влаги в почве, определяемые на начало и конец вегетационного периода конкретной культуры или на какую-то фазу его развития, с последующим их картографированием.

Влагообеспеченность растений по влагозапасам почвы обычно оценивают, сравнивая количество влаги, находящейся в почве (W_{ϕ}) с наименьшей полевой влагоёмкостью ($W_{НВ}$). Для большинства лесостепных и степных районов СНГ НВ среднесуглинистых почв при глубоком залегании грунтовых вод составляет 170-190 мм продуктивной влаги в метровом слое почвы. Сравнивая эту величину с потребностью во влаге зерновых и технических культур, весенние запасы влаги в почве ориентировано оцениваются следующим образом:

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

Однако следует иметь в виду, что значения НВ могут изменяться на легко-суглинистых почвах до 170-160 мм, на глинистых и тяжелосуглинистых до 160-140 мм, на супесчаных до 140-120 мм и на песчаных до 100-80 мм [37]. Поэтому и критерии количественной оценки влагообеспеченности растений по запасам продуктивной влаги в почве могут существенно изменяться на почвах с разным механическим составом в пределах ограниченных территорий.

В настоящее время достаточно детально изучены ресурсы влаги в почве и влагообеспеченность озимых и яровых зерновых культур в Украине. Однако аналогичные исследования применительно к другим культурам проводились в весьма ограниченном виде и носят фрагментарный характер. Поэтому в данной главе ставится и решается задача количественно оценить ресурсы влаги в почве и влагообеспеченность подсолнечника и кукурузы, а также выявить географические особенности их распределения на территории Украины с учетом микроклиматической изменчивости W_n на почвах разного механического состава.

Для этой цели были привлечены средние многолетние данные по запасам продуктивной влаги в почве под подсолнечником, опубликованные в "Довіднику з агрокліматичних ресурсів України" [31] с апреля по сентябрь по наблюдениям на 36-ти агрометеорологических станциях. Однако этих данных по W_{ϕ} оказалось недостаточно для равномерного освещения рассматриваемой территории. Пополнение недостающих данных выполнено по методу разностей, широко применяемому в климатологии. А именно, на тех же 36 станциях сравнивались между собой запасы продуктивной влаги под подсолнечником и под кукурузой в слоях почвы 0-20 см, 0-50 см и 0-100 см. Оказалось, что под подсолнечником W_n весной несколько меньше чем под кукурузой (W_k). Средняя разность составила для слоев почвы 0-20 см, 0-50 см и 0-100 см соответственно –2 мм, –3 мм и –4 мм. Таким образом, точность расчетов W_n и W_k не превышает 2 – 4 %. Это позволило дополнительно привлечь данные по запасам продуктивной влаги в почве под подсолнечником для 64 станций.

Представляет интерес рассмотрение динамики W_n с апреля по сентябрь в различных регионах страны. На рис. 5.1 и 5.2 показан сезонный ход

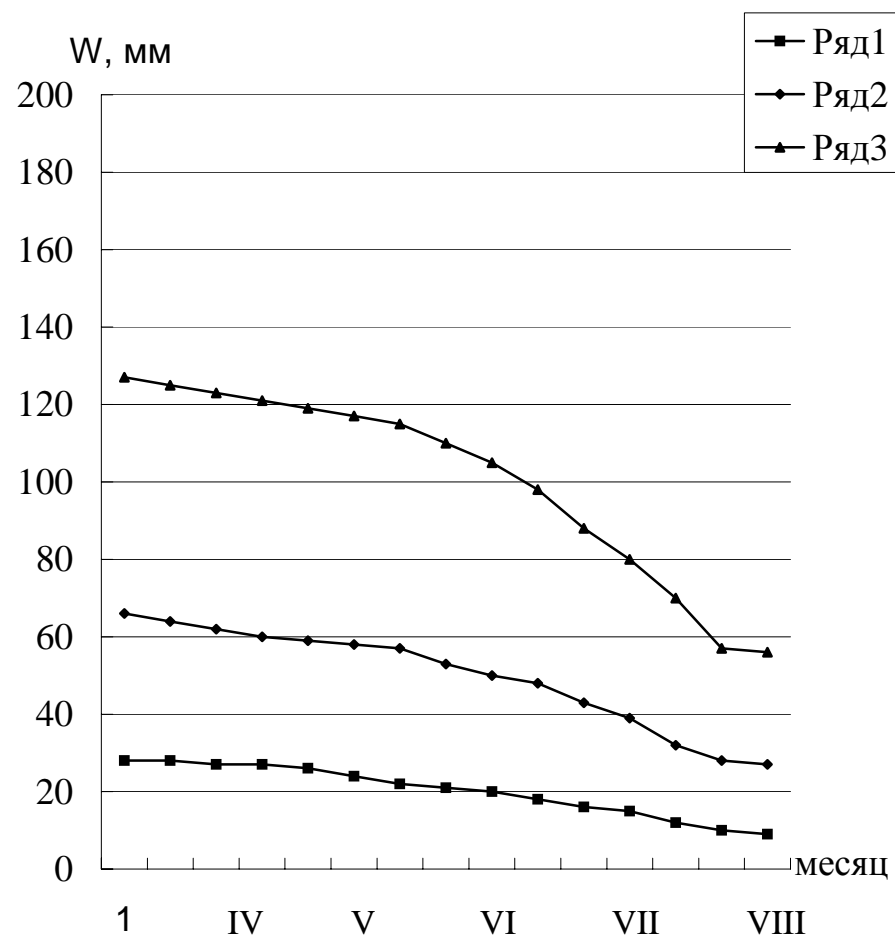
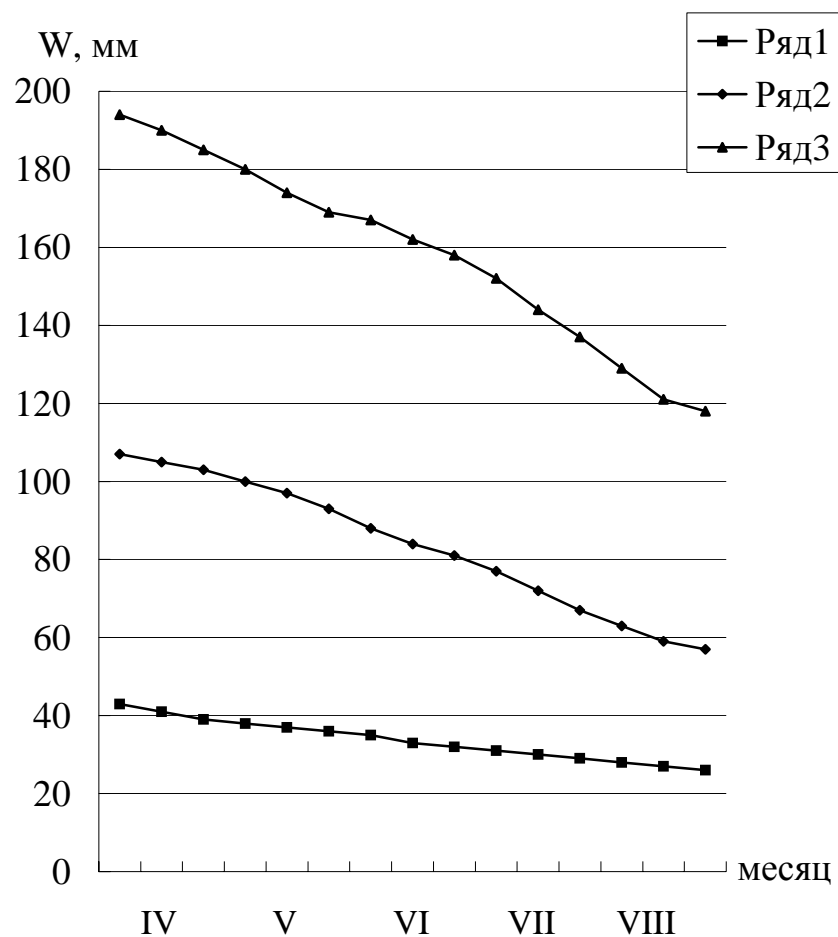


Рис. 5.1. Динамика хода запасов продуктивной влаги в почве под подсолнечником (W_n , мм) по слоям 0-20 см (1), 0-50 (2), 0-100 (3) в Сумской области (ст. Глухов) и в Одесской (ст. Измаил)

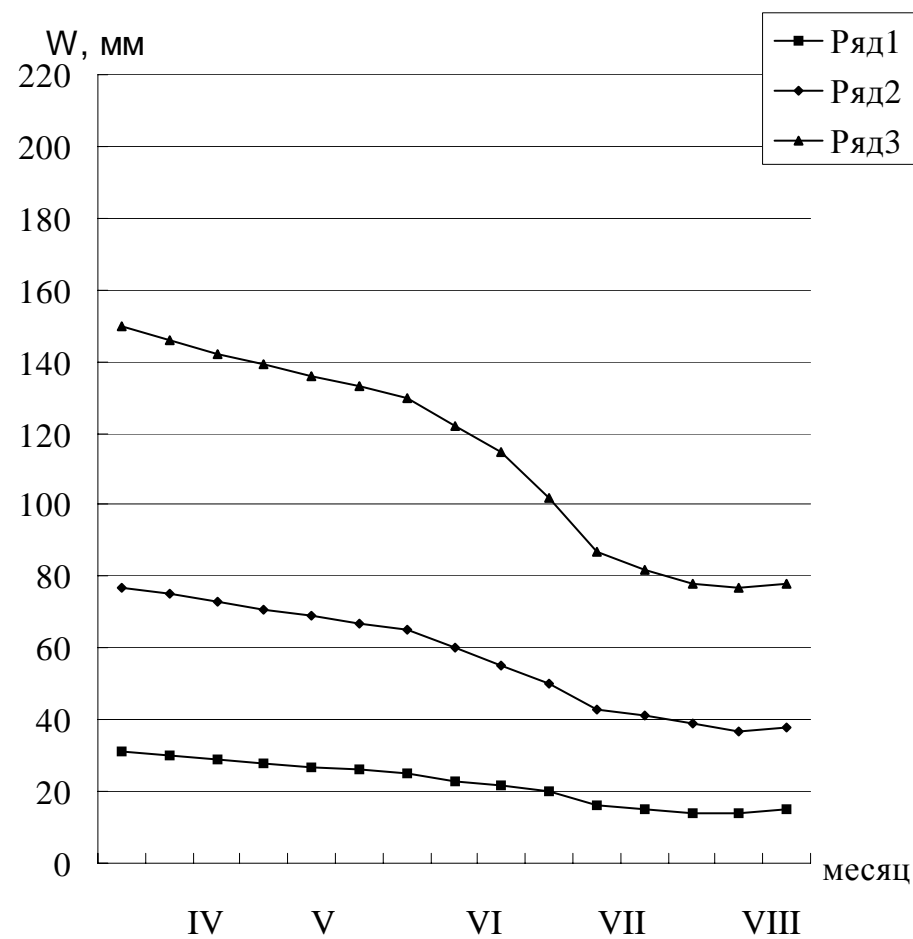
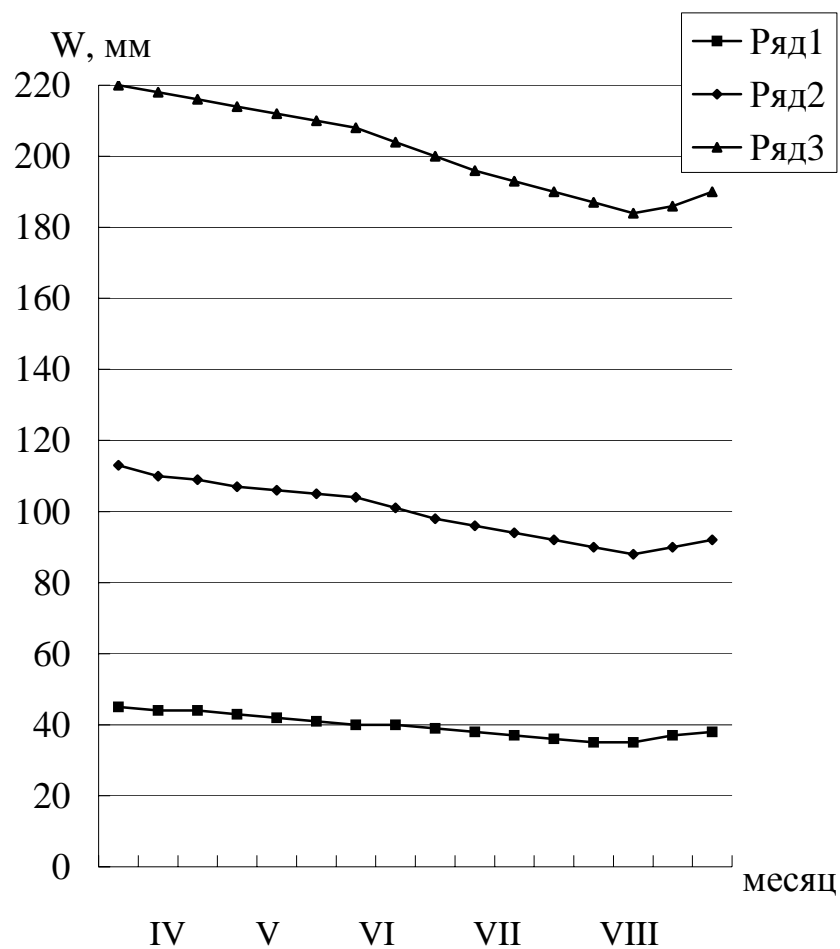


Рис. 5.2. Динамика хода ЗПВ в почве под подсолнечником (W_n , мм) по слоям 0-20 см (1), 0-50 (2), 0-100 (3) в Хмельницкой области (ст. Хмельницкий) и в Луганской (ст. Старобельск)

запасов продуктивной влаги (ЗПВ) в слоях почвы 0-20 см, 0-50, 0-100 см от весны к осени по парам пунктов, характеризующих северо-восточную Лесостепь и Южную степь (ст. Глухов и ст. Измаил), а также западную Лесостепь и Северную степь (ст. Хмельницкий и ст. Старобельск). Все пункты расположены на легкосуглинистых и среднесуглинистых почвах.

Общей закономерностью является уменьшение W_n от весны к концу лета. Осенью в сентябре прослеживается четкая тенденция к повышению запасов продуктивной влаги в почве. Весной W_n в слоях почвы 0-50 и 0-100 см на севере составили 110 мм и 190 мм, в то время как на юге они не превышали 70 мм и 130 мм. Диапазон различий в W_n между слоями почвы 0-100 см и 0-20 см составил на севере 140 мм, а на юге 100 мм. Существенные различия наблюдаются на западе и востоке страны. Как видно из рис. 5.2 весной запасы продуктивной влаги в слоях почвы 0-50 см и 0-100 см в западном регионе (ст. Хмельницкий) составили 115 мм и 220 мм, а в восточном регионе (ст. Старобельск) они не превышали соответственно 80 мм и 150 мм. Диапазон различий в W_n между слоями почвы 0-100 см и 0-20 см составил на западе 175 мм, а на востоке 120 мм.

Для комплексного районирования ресурсов влаги на территории Украины применена методика уплотнения агроклиматической информации [55, 73]. Картографирование выполнено в рабочем масштабе 1:2000000 для основного показателя – запасов продуктивной влаги под подсолнечником и кукурузой весной в слое почвы 0-100 см (W_{ne}). Далее были построены графики зависимости между W_{ne} и запасами продуктивной влаги весной в слое почвы 0-50 см (W'_{ne}). Аналогичные зависимости между запасами продуктивной влаги весной в слоях почвы 0-100 и 0-50 см получены за теплый период ($W_{тп}$ и $W'_{тп}$). Как видно из рис. 5.3, взаимосвязь между этими показателями оказалась весьма тесной.

Рассчитаны соответствующие уравнения прямолинейной регрессии и коэффициенты корреляции (r). Они имеют следующий вид:

$$W'_{пв} = 0,471 \cdot W_{пв} + 9,28, \quad r = 0,96 \quad (5.3)$$

$$W'_{тп} = 0,49 \cdot W_{тп} + 2,22. \quad r = 0,98 \quad (5.4)$$

В обоих случаях объем выборки составил 64 станции, расположенных на среднесуглинистых и легкосуглинистых почвах.

Для пополнения легенды к агроклиматической карте установлены также взаимосвязи между запасами продуктивной влаги за теплый период и на весну в слое почвы 0-50 см ($W'_{тп}, W'_{пв}$); за теплый период и на весну в слое почвы 0-100 см. Рассчитаны соответствующие уравнения и коэффициенты корреляции. Они имеют следующий вид:

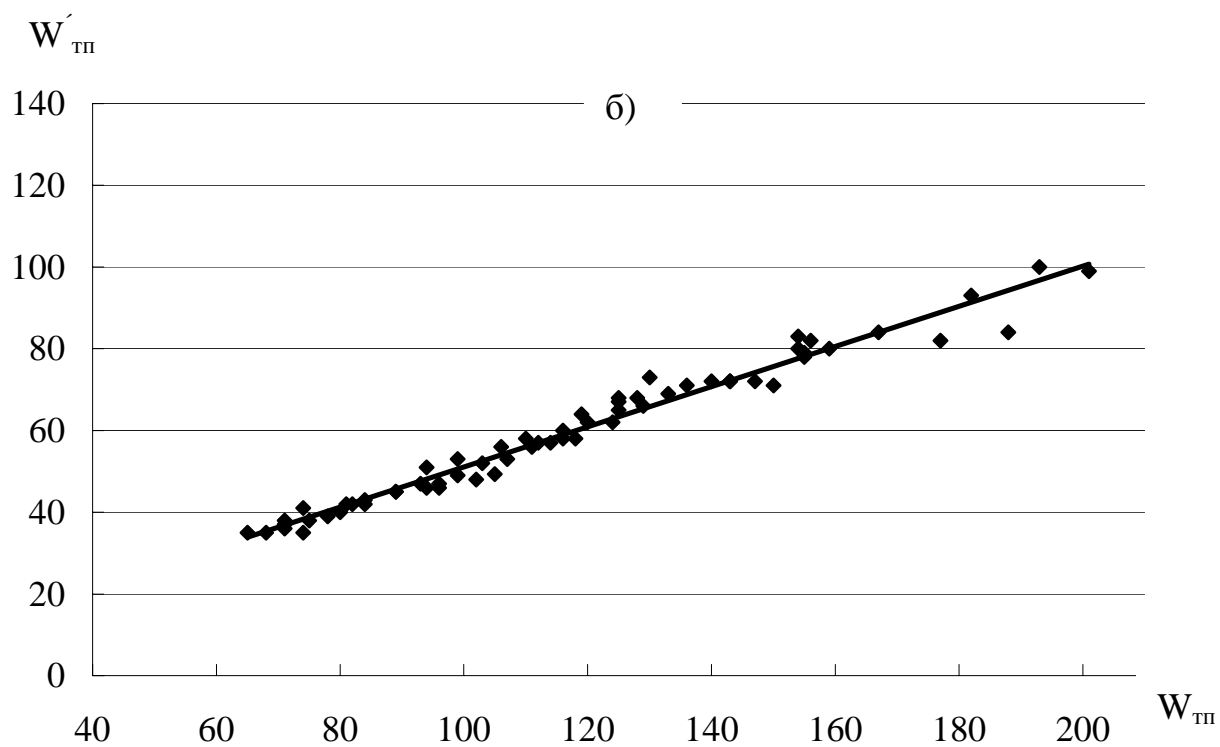
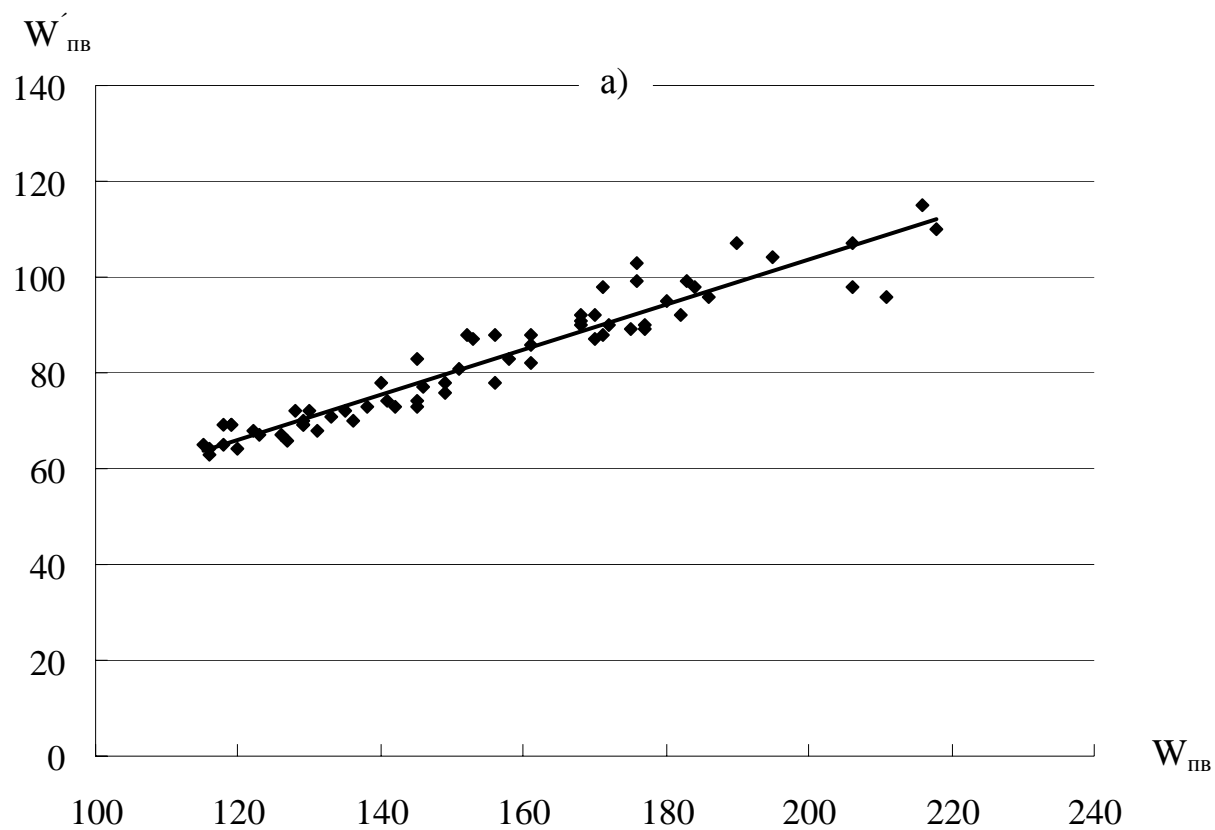


Рис. 5.3. Зависимость между запасами продуктивной влаги (мм) в слоях почвы 0-50 см и 0-100 см под подсолнечником на территории Украины весной (а) и за теплый период (б)

$$W'_{\text{ТП}} = 1,16 \cdot W'_{\text{ПВ}} - 37,5, \quad r = 0,95 \quad (5.5)$$

$$W_{\text{ТП}} = 1,17 \cdot W_{\text{ПВ}} - 65,5. \quad r = 0,96 \quad (5.6)$$

Взаимосвязь между этими показателями также оказалась весьма тесной.

Для последующей оценки влагообеспеченности подсолнечника и кукурузы установлены статистически значимые зависимости между неполной полевой влагоемкостью ($W'_{\text{НВ}}, W_{\text{НВ}}$) и запасами продуктивной влаги в слоях почвы 0-50 см и 0-100 см на весну и за теплый период. Рассчитаны соответствующие уравнения регрессии и коэффициенты корреляции (r). Они имеют следующий вид:

Весна

$$W'_{\text{НВ}} = 0,94 \cdot W'_{\text{НВ}} + 19,5, \quad r = 0,76 \quad (5.7)$$

$$W_{\text{НВ}} = 0,84 \cdot W_{\text{НВ}} + 54,7, \quad r = 0,77 \quad (5.8)$$

Теплый период

$$W'_{\text{НВ}} = 0,76 \cdot W'_{\text{ТП}} + 52,5, \quad r = 0,71 \quad (5.9)$$

$$W_{\text{НВ}} = 0,66 \cdot W_{\text{ТП}} + 107,2. \quad r = 0,70 \quad (5.10)$$

5.3. Комплексное районирование ресурсов влаги в почве и влагообеспеченности подсолнечника и кукурузы на территории Украины

Количественная оценка взаимосвязи между влагозапасами и неполной полевой влагоемкостью послужила основой для разработки комплексного районирования показателей ресурсов влаги в почве влагообеспеченности подсолнечника и кукурузы на территории Украины. На агроклиматической карте (рис. 5.4) выделено 7 макрорайонов, существенно различающихся весной по ЗПВ в слое почвы 0-100 см под подсолнечником и кукурузой на территории Украины. Далее для каждого макрорайона по вышеуказанным уравнениям 5.3-5.10 определены значения запасов продуктивной влаги в слое почвы 0-50 см и 0-100 см за теплый период.

Рассчитаны также показатели влагообеспеченности вышеуказанных культур на весну и за теплый период по следующим формулам:

$$V_{\text{П}} = \frac{W_{\text{ПВ}}}{W_{\text{НВ}}} \cdot 100\%; \quad V'_{\text{П}} = \frac{W'_{\text{ТП}}}{W'_{\text{НВ}}} \cdot 100\%, \quad (5.11)$$

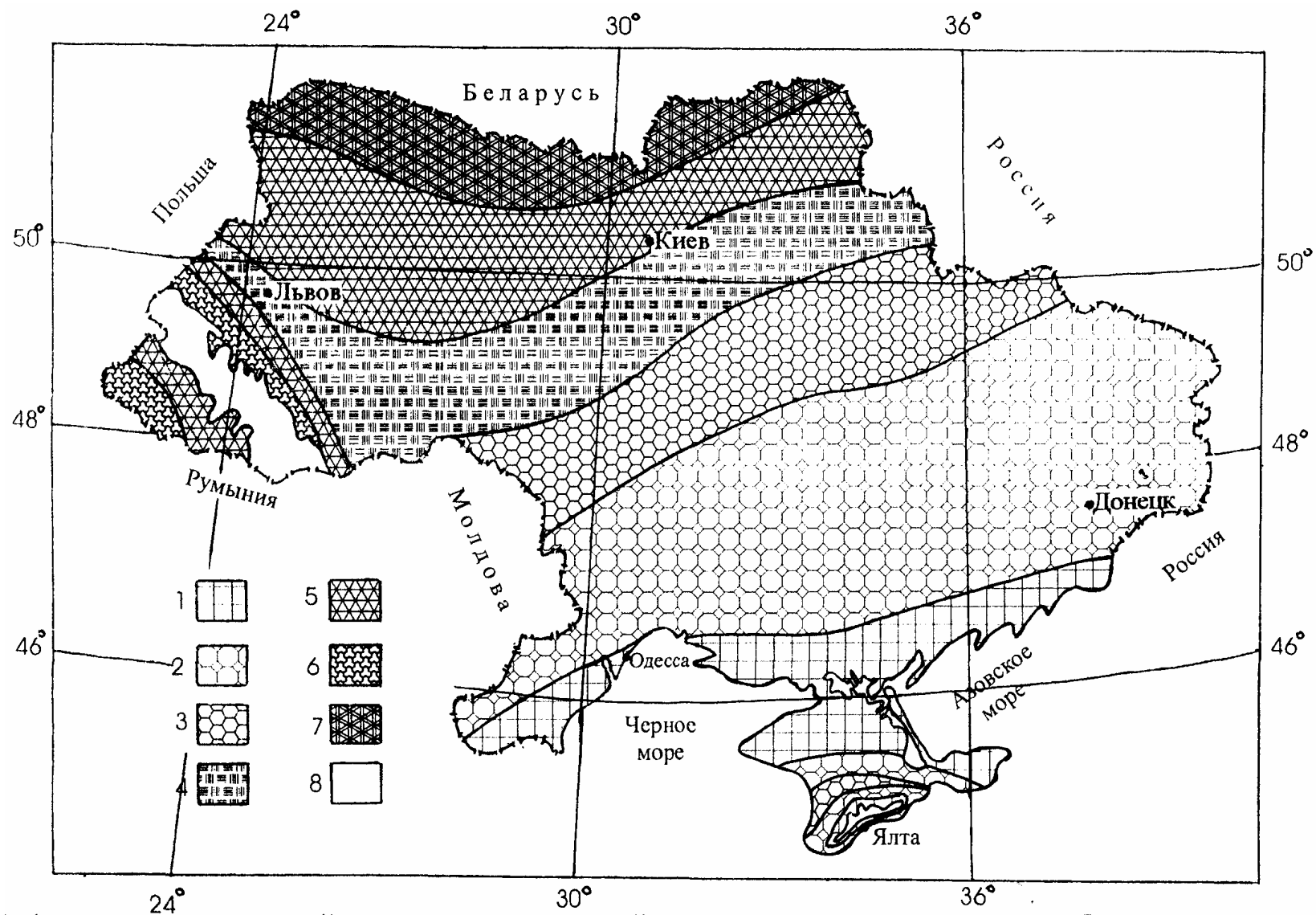


Рис. 5.4. Агроклиматическое районирование показателей ресурсов влаги в почве и влагообеспеченности подсолнечника, кукурузы на территории Украины. Макрорайоны 1 – 7 (см. в табл. 5.1), 8 – горы

Таблица 5.1. Количественная оценка запасов продуктивной влаги (мм) в слоях почвы 0-100 и 0-50 см и влагообеспеченности подсолнечника и кукурузы на весну и за теплый период в Украине

Макрорайон	Слой почвы 0 – 100 см			Слой почвы 0 – 50 см		
	$W_{нв}$	$W_{нв}$	$V_{п}, \%$	$W'_{нв}$	$W'_{нв}$	$V'_{п}, \%$
а) Весна						
1. Южная степь	≤ 120	156	77	≤ 66	82	80
2. Центральная и северная Степь	120 - 140	156 - 172	77 - 81	66 - 75	82 - 90	80 - 83
3. Северо-восточная Степь и юго-восточная Лесостепь	140 - 160	172 - 189	81 - 85	75 - 85	90 - 98	83 - 87
4. Восточная и центральная Лесостепь	160 - 180	189 - 206	85 - 87	85 - 94	98 - 108	87 - 87
5. Северная Лесостепь и южное Полесье	180 - 200	206 - 223	87 - 90	94 - 104	108 - 117	87 - 89
6. Северо-восточное Прикарпатье и Закарпатская Лесостепь	≥ 200	223	90	≥ 104	117	88
7. Правобережное и левобережное Полесье с большой пестротой почв	130 – 230	164 - 248	79 - 93	70 - 118	85 - 130	82 - 91
б) Теплый период						
1. Южная степь	≤ 75	157	48	39	82	47
2. Центральная и северная Степь	75 - 98	157 - 172	48 - 57	39 - 50	82 - 90	47 - 48
3. Северо-восточная Степь и юго-восточная Лесостепь	98 - 122	172 - 188	57 - 65	50 - 61	90 - 99	56 - 62
4. Восточная и центральная Лесостепь	122 - 145	188 - 203	65 - 71	61 - 72	99 - 107	62 - 67
5. Северная Лесостепь и южное Полесье	145 - 168	203 - 218	71 - 77	72 - 83	107 - 116	67 - 72
6. Северо-восточное Прикарпатье и Закарпатская Лесостепь	≥ 168	218	77	≥ 83	116	72
7. Правобережное и левобережное Полесье с большой пестротой почв	87 - 204	165 - 242	53 - 84	44 - 99	86 - 128	51 - 77

где V_{Π} , V'_{Π} – коэффициенты влагообеспеченности подсолнечника в слоях почвы 0-100 см и 0-50 см; $W_{\text{НВ}}$, $W'_{\text{НВ}}$ – неполная полевая влагоемкость в тех же слоях почвы.

К карте прилагается развернутая легенда в виде табл. 5.1 с количественной оценкой запасов продуктивной влаги в слоях почвы 0-100 см и 0-50 см под подсолнечником и кукурузой на весну и за теплый период, а также их влагообеспеченности, т.е. по шести показателям для средних многолетних условий. Общей закономерностью является возрастание запасов продуктивной влаги в почве в направлении с юга на север и северо-запад страны как весной, так и за теплый период. Во всех макрорайонах запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-50 см оказались примерно в 2 раза меньше чем в слое почвы 0-100 см. В этом же направлении возрастает неполная полевая влагоемкость, но значения ее для слоя почвы 0-50 см значительно меньше, чем для слоя почвы 0-100 см.

Например, весной в Южной степи (макрорайон 1) запасы продуктивной влаги в слоях почвы 0 – 100 см и 0 – 50 не превышают соответственно 120 мм и 66 мм и составляют 77 – 80 % от неполной полевой влагоемкости, что характерно для очень засушливой зоны. Влагообеспеченность подсолнечника здесь недостаточная. Только в предгорных районах Крыма W и W' в слоях почвы 0 – 100 см и 0 – 50 см увеличиваются до 120 – 140 мм и 66 – 75 мм, приближаясь к удовлетворительным условиям влагообеспеченности подсолнечника. Такие же условия по ресурсам влаги в почве создаются в Центральной и Северной Степи, где показатель влагообеспеченности колеблется в пределах 77 – 83 %.

В северо-восточной Степи и юго-восточной Лесостепи (макрорайон 3) запасы продуктивной влаги в слоях почвы 0 – 100 см и 0 – 50 см весной составляют 140 – 160 мм и 75 – 85 мм. Здесь имеют место удовлетворительные и хорошие условия по ресурсам влаги в почве для произрастания подсолнечника; показатель влагообеспеченности составляет 81 – 87 %. В восточной и центральной Лесостепи (макрорайон 4) запасы продуктивной влаги в слоях почвы 0 – 100 см и 0 – 50 см увеличиваются до 160 – 180 мм и 85 – 94 мм. Здесь создаются хорошие и очень хорошие условия для подсолнечника; показатель влагообеспеченности составляет 62 – 71 % от неполной полевой влагоемкости.

В северной Лесостепи и в южном Полесье (макрорайон 5), а также в северо-восточном Прикарпатье и Закарпатской Лесостепи (макрорайон 6) запасы продуктивной влаги в слое почвы 0 – 100 см весной достигают 180 – 200 мм и даже более, т.е. они приближаются к неполной полевой влагоемкости. Здесь показатели влагообеспеченности в слоях почвы 0 – 50 см и 0 – 100 см составляют 88 и 90 %. Условия увлажнения почв очень хорошие, но в отдельные годы наблюдается переувлажнение почв, что угнетающе ска-

зывается на произрастание подсолнечника. В этих регионах урожай семян и выход подсолнечного масла снижается.

На севере Украины, охватывающим территорию правобережного и левобережного Полесья (макрорайон 7) запасы продуктивной влаги сильно варьируют на малых площадях под влиянием большой пестроты почв и составляют в слоях почвы 0 – 100 см и 0 – 50 см весной 130 – 230 мм и 70 – 118 мм. Коэффициент влагообеспеченности колеблется в пределах 82 – 93 %. Этот регион не пригоден для промышленного возделывания подсолнечника не только из-за нехватки радиационно-тепловых ресурсов, но и через переувлажнение.

5.4. Вероятностная оценка возможных запасов продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см весной в различных районах

В последние годы широко используются методы математической статистики для раскрытия пространственно-временной структуры климатических и агроклиматических показателей. В целях повышения уровня обслуживания запросов практики разработаны косвенные методы расчета более сложных, но необходимых параметров климата в дополнение к традиционным в виде средних многолетних климатических норм. Большой практический интерес представляют не только средние характеристики климата, но и то, из каких значений они получены. какова мера рассеяния этих характеристик относительно средней.

В этом плане наиболее полно и разносторонне исследована пространственно-временная структура межгодовой изменчивости различных характеристик термического режима и осадков. Метод расчета вероятностных характеристик климата нашел широкое применение в работах Ф.Ф. Давитая [33], И. А. Гольцберг [21], А.Н. Лебедева [62], З.А. Мищенко [60, 63, 79] и сыграл положительную роль в развитии прикладной климатологии и агроклиматологии. Позднее Л.С. Кельчевской [37] были проведены аналогичные исследования применительно к запасам продуктивной влаги в почве под озимыми зерновыми культурами с построением номограмм обеспеченности на территории ЕЧ России.

Однако до настоящего времени аналогичные исследования по вероятностной оценке ЗПВ в почве под другими культурами в Украине не проводились. Поэтому представляет научный и практический интерес вероятностная оценка возможных ЗПВ в почве под подсолнечником и кукурузой в отдельные годы относительно средних многолетних значений. Для этой цели необходимо рассчитать возможные в отдельные годы запасы продуктивной влаги в почве различной вероятности с последующим построением соответствующих кривых распределения ЗПВ в почве, характеризующих различные регионы страны.

За основу принят графо-аналитический метод Г.А. Алексеева [7, 8], который, исходя из теоретических и практических соображений, предложил формулу для расчета суммарной вероятности явления вида:

$$P_{(x_m)} = \frac{m - 0,25}{n + 0,50} 100\%, \quad (5.11)$$

где $P_{(x_m)}$ – обеспеченность в процентах, значения которой последовательно возрастают; $m = 1, 2, \dots$; n – порядковый номер членов статистического ряда x_1, x_2, \dots, x_n , расположенных в убывающем порядке (n – число лет или число наблюдений в ряду). Достоинство этой формулы в том, что она пригодна для расчета суммарной вероятности для элементов климата как с нормальным так и асимметричным распределением.

Г.А. Алексеев показал, что искомая биномиальная (аналитическая) кривая обеспеченности $x_p = \varphi(P)$, определенная по основным статистическим параметрам (\bar{x} , σ_x , c_s) и построенная с помощью таблиц вероятности превышения нормированных отклонений от среднего значения по формуле

$$x_p = \bar{x} + \sigma_x \varphi(P, c_s), \quad (5.12)$$

должна пройти через три опорные точки x_{p1}, x_{p2}, x_{p3} , соответствующие значениям вероятности $P_1 = 5\%$, $P_2 = 50\%$, $P_3 = 95\%$ эмпирической кривой, полученной из выражения (1.24). Исходя из этих условий, он доказал, что уравнения

$$\bar{x} + \sigma_x \varphi(P_1, c_s) = x_{p1}, \quad (5.13)$$

$$\bar{x} + \sigma_x \varphi(P_2, c_s) = x_{p2}, \quad (5.14)$$

$$\bar{x} + \sigma_x \varphi(P_3, c_s) = x_{p3} \quad (5.15)$$

с тремя неизвестными (\bar{x}, σ_x, c_s) могут быть решены с помощью предложенных им формул. В случае нормального распределения ($C_s=0$) задача сводится к нахождению σ_x, \bar{x} , которые можно вычислить по формулам:

$$\sigma_x = \frac{x_{p1} - x_{p2}}{\varphi(P_1, c_s) - \varphi(P_2, c_s)} = \frac{x_5 - x_{95}}{\varphi_5 - \varphi_{95}}, \quad (5.16)$$

$$\bar{x} = x_{p2} - \sigma_x \varphi(P_2, c_s) = x_{50} - \sigma_x \varphi_{50}, \quad (5.17)$$

где $(\varphi_5 - \varphi_{95})$ – разность нормированных отклонений, соответствующая принятой величине; φ_{50} – нормированное отклонение, соответствующее обеспеченности $P=50\%$ при принятом C_s .

Рассмотренная выше методика применена для раскрытия временной структуры ЗПВ в почве под подсолнечником и кукурузой на территории Украины. В качестве исходной информации использованы ежегодные данные наблюдений за W_{ne} в слое почвы 0-100 см весной (третья декада апреля) с 1970 по 1999 годы. Расчеты выполнены применительно к Луганской области (ст. Беловодск), Днепропетровской (ст. Лошкаревка), николаевской (ст. Первомайск) и Одесской области (ст. Измаил). Они расположены во втором и первом макрорайонах с засушливым и очень засушливым климатом и с разным механическим составом почв. Результаты расчетов с графопостроением кривых суммарной вероятности возможных запасов продуктивной влаги в слое почв 0-100 см (W_{ne}) на весну представлены на рис. 5.5.

Общей закономерностью является то, что вероятность больших значений ЗПВ в почве мала, а меньших – велика по сравнению со средними многолетними величинами. Например, в Луганской области (ст. Беловодск) при \bar{W}_{ne} равных 140 мм только на 10% (1 раз в 10 лет) обеспечены W_{ne} равные 182 мм, но на 90% (9 раз в 10 лет) W_{ne} здесь не будут ниже 84 мм. На юге Одесской области (ст. Измаил) при \bar{W}_{ne} равных 128 мм только один раз в 10 лет W_{ne} могут быть равными 150 мм, но на 90% лет здесь обеспечены запасы продуктивной влаги в почве под подсолнечником и кукурузой не ниже 85 мм.

Далее с каждой кривой суммарной вероятности с шагом 5%, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95% снимались значения ЗПВ в почве для получения расчетной таблицы, позволяющей определять обеспеченность возможных запасов продуктивной влаги в почве относительно средних многолетних значений. Результаты этой работы представлены в табл. 5.2. Наглядно видно, что диапазон различий в возможных ЗПВ в почве (W_{ne}) с 10% и 95% обеспеченностью значителен и составляет в Луганской области 98 мм, в Днепропетровской – 91 мм, Николаевской – 79 мм и в Одесской области – 83 мм.

В заключение следует отметить следующее. На агроклиматической карте (рис. 5.4) дана количественная оценка показателей ресурсов влаги применительно к среднесуглинистым почвам. Однако, следует иметь в виду, что различия в теплофизических свойствах почв разного механического состава обуславливают значительную микроклиматическую изменчивость запасов продуктивной влаги в слоях почвы 0-50 см и 0-100 см.

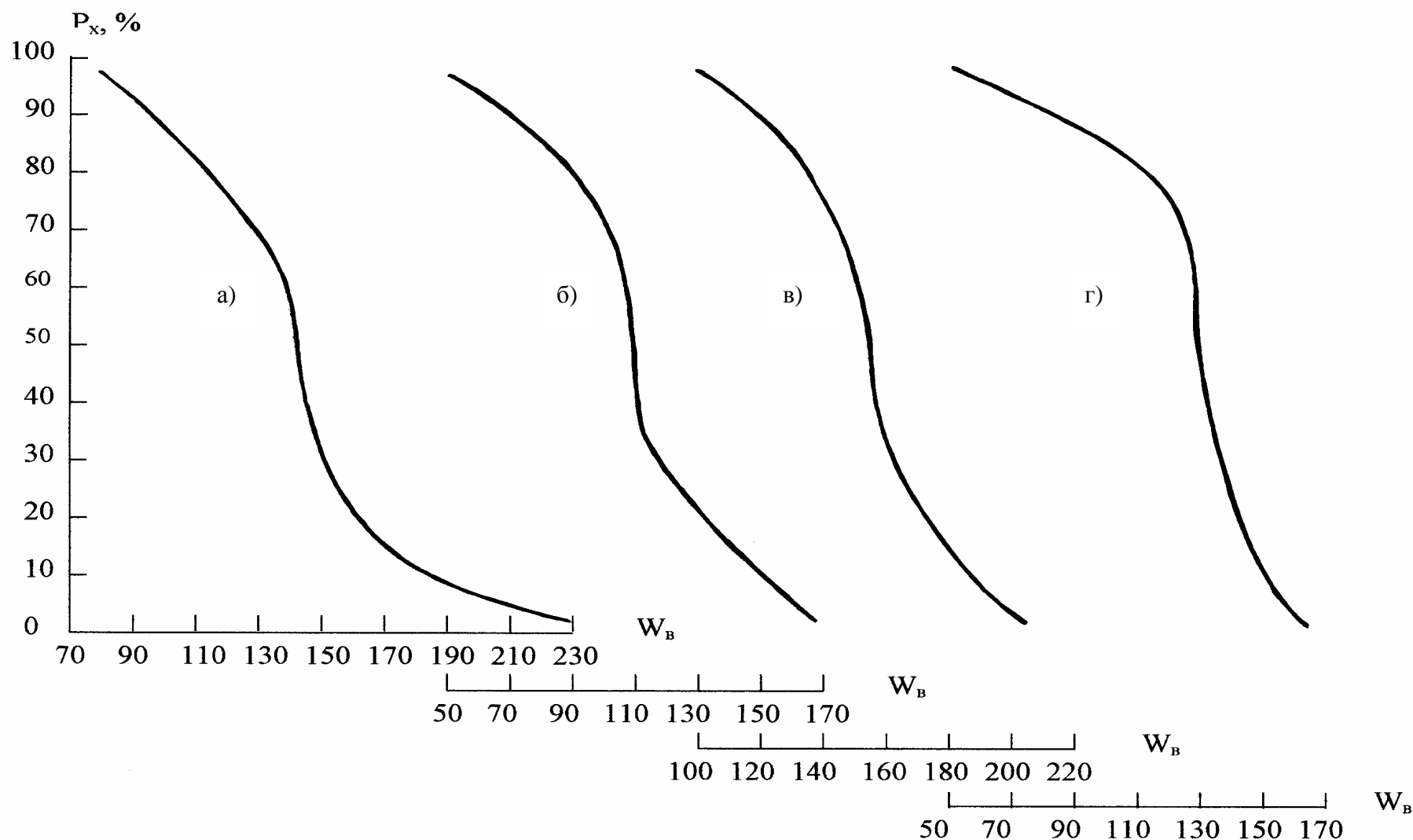


Рис. 5.5. Кривые суммарной вероятности возможных запасов продуктивной влаги в слое почвы 0 – 100 см ($W_{нб}$) под подсолнечником и кукурузой весной: а) ст. Беловодск, б) ст. Лошкаревка, в) ст. Первомайск, г) ст. Измаил

Таблица 5.2. Возможные запасы продуктивной влаги под подсолнечником в слое почвы 0 – 100 см под подсолнечником и кукурузой различной обеспеченности весной относительно средних многолетних значений ($\bar{W}_{пв}$, мм)

Область, станция	$\bar{W}_{пв}$ (0-100 см)	Обеспеченность (%) возможных $W_{пв}$ (мм)										
		5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
Луганская, Беловодск	140	207	182	161	150	144	140	138	128	114	95	84
Днепропетровская, Лошкаревка	110	160	150	131	117	111	110	107	102	90	72	59
Николаевская, Первомайск	155	196	187	174	163	157	155	152	144	135	120	108
Одесская, Измаил	128	158	151	145	140	137	130	128	126	113	85	68

Согласно оценке Е.Н. Романовой и Г.И. Мосоловой [91] ЗПВ на песчаных почвах в слое почвы 0-50 могут быть на 25 мм меньше, а на тяжелых суглинках на 25 мм больше чем на средне-суглинистых почвах. По данным Л.С. Кельчевской [37]. В зоне достаточного увлажнения ЕЧ России диапазон микроклиматических различий на почвах разного механического состава в слое 0 – 100 см составляет 50 – 75 мм.

Согласно нашей оценке в 1–4 макрорайонах на Украине запасы продуктивной влаги в слое почвы 0 – 50 см на песчаных и супесчаных почвах весной могут быть на 20 мм меньше, а на тяжелых суглинках на 20 мм больше чем на среднесуглинистых почвах. В слое почвы 0 – 100 см диапазон микроклиматических различий в $W_{нев}$ увеличивается до 50 – 60 мм.

В 5 – 7 макрорайонах (рис.5.4) в условиях достаточного и избыточного увлажнения песчаные и супесчаные почвы в слое 0 – 50 см могут быть на 25 мм меньше, а тяжелосуглинистые на 25 мм больше чем на среднесуглинистых почвах. Диапазон различий в $\bar{W}_{нев}$ составляет 50 мм. В слое 0 – 100 см $\bar{W}_{нев}$ на песчаных и супесчаных почвах могут быть на 35 мм меньше, а на тяжелосуглинистых и глинистых почвах на 35 мм больше чем на среднесуглинистых почвах. А диапазон микроклиматических различий в $\bar{W}_{нев}$ при этом увеличивается до 70 мм.

6. РЕГИОНАЛЬНАЯ ОЦЕНКА И РАЙОНИРОВАНИЕ БИОКЛИМАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ С УЧЕТОМ МИКРОКЛИМАТА

6.1. Общие сведения

В сельскохозяйственном производстве при решении многих практических вопросов большое значение имеет сравнительная межрегиональная оценка земель. Как известно, продуктивность сельского хозяйства в значительной степени зависит от природных ресурсов, среди которых климату принадлежит ведущая роль. Под климатическими ресурсами следует понимать количество вещества и энергии элементов климата, используемых в различных отраслях экономики. Те элементы климата, которые утилизируются растительными организмами при создании биомассы (солнечная радиация, тепло, влага, ветер, условия перезимовки), составляют агроклиматические ресурсы в конкретном районе.

Значительная часть природных ресурсов, в том числе агроклиматических, в настоящее время используются недостаточно. Это связано, прежде всего, с малой изученностью климата и местного климата на региональном уровне с точки зрения использования его в сельском хозяйстве. Поэтому бонитировка климата на территории конкретной страны и даже административной области принадлежит к числу весьма актуальных задач, связанных с оценкой биологической продуктивности природных условий. Её обычно выполняют в относительных единицах или в баллах и называют по-разному – "бонитет климата", "бонитировка климата", "сельскохозяйственный бонитет климата", хотя сущность их почти одинаковая.

Исследованиями по бонитировке климата применительно к обширным территориям бывшего СССР и стран Восточной Европы занимались П.И. Колосков [41], С.А. Сапожникова [92], Д.И. Шашко [109, 110], А.Д. Эюбов [112], Э.Л. Хершкович [2] и др.

Впервые П.И. Колосков [41] предложил биоклиматический потенциал (БКП) в качестве критерия оценки климата как одного из факторов общей потенциальной продуктивности земли. К наиболее важным элементам климата он отнес температуру, влагу и свет. Признавая большую сложность учета света (интенсивность, продолжительность освещения), Колосков П.И. ограничился учетом температуры воздуха и влаги, предложив для расчета БКП следующую формулу:

$$БКП = A \cdot \frac{H}{(E - e) \cdot 32}, \quad (6.1)$$

где A - сумма величин специальной температуры $T_s^{3/2}$, как показатель био-

климатической эффективности и фенологической емкости всего вегетационного периода сельскохозяйственных культур; H - количество осадков за год; $(E-e)$ – дефицит влажности воздуха за год. Если считать биологическую продуктивность климата на верхней границе достаточного увлажнения, т.е. при общем годовом показателе увлажнения $H/(E-e)=32$, за единицу, то при других значениях показателя увлажнения биологическая продуктивность будет равна его величине, деленной на 32. В последующем эта методика оценки БКП в пределах СНГ не получила дальнейшего развития в силу затруднительности расчетов специальной температуры A , а также коэффициента пропорциональности при определении показателя увлажнения.

Почти одновременно С.А. Сапожникова [92] разработала методику расчета сельскохозяйственного бонитета климата применительно к зерновым культурам. При этом показатель продуктивности климата (Π_k) определяется по формуле:

$$\Pi_k = \frac{Y_\phi}{\sum T_c > 10^0 C \div 100}, \quad (6.2)$$

где Y_ϕ - урожай культуры (ц/га); $\sum T_c$ – сумма активных средних суточных температур воздуха за период с T_c выше $10^0 C$. Она предложила рассчитывать урожай зерновых культур на условную единицу тепла (в качестве последней использована $\sum T_c > 10^0 C$, уменьшенная в 100 раз). При этом суммы температур взяты меньше средних многолетних значений на $300^0 C$, считая, что такие суммы температур обеспечены на 90% лет. По расчетным данным с учетом ГТК была составлена схематическая карта распределения Π_k на территории бывшего СССР.

Позднее С.А. Сапожникова и А.Д. Бринкен предложили усовершенствованный метод расчета бонитета климата применительно к зерновому хозяйству при естественном увлажнении. При этом бонитет климата определяется по формуле:

$$B_k = \frac{\varepsilon \cdot \sum T_c > 10^0 C}{100}, \quad (6.3)$$

где B_k - бонитировочный балл климата, количественно равный условному урожаю яровых зерновых культур при данном сочетании тепла и влаги; ε - бонитировочный балл увлажнения, равный осредненной урожайности тех же культур, приходящий на единицу тепла ($\sum T_c=100^0 C$) при данном увлажнении.

Показатель увлажнения рассчитывается по формуле:

$$K_{\varepsilon} = \frac{0,5 \cdot P_x + P_m}{0,18 \cdot \Sigma T_c > 10^0 C}, \quad (6.4)$$

где P_x - количество осадков за холодный период года (октябрь – март); P_m – тоже за теплый период (апрель-сентябрь); 0,5- коэффициент, характеризующий удельный вес осадков за холодный период в формировании урожая; величина $0,18 \cdot \Sigma T_c > 10^0 C$ - характеризует испаряемость.

Бонитировочный балл увлажнения рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon = -1,7 \cdot K_{\varepsilon}^2 + 3,7 \cdot K_{\varepsilon} - 0,28. \quad (6.5)$$

Соответствующие расчеты были выполнены для территории социалистических стран Европы (в нее вошла и ЕЧ бывшего СССР) и составлена агроклиматическая карта распределения B_k и K_{ε} [4]. На ней выделено 9 макрорайонов со значениями сельскохозяйственного бонитета климата (B_k) от 20 до 70 баллов.

Развивая методику оценки бонитета климата, Д.И. Шашко [109, 110] предложил для этой цели использовать биоклиматический потенциал (БКП), который также определяется в относительных значениях или баллах. В более узком понятии биоклиматический потенциал характеризуется комплексом климатических факторов, определяющих биологическую продуктивность земель на данной территории.

К их числу относятся показатели тепло и влагообеспеченности, совместное влияние которых на продуктивность растений выражается формулой для определения БКП применительно к крупной территории СНГ в виде

$$БКП = K_p \cdot \frac{\Sigma T_c > 10^0 C}{1000^{\circ} C}, \quad (6.6)$$

где $БКП$ – относительное значение биоклиматического потенциала; K_p – коэффициент роста по годовому показателю атмосферного увлажнения (Md); $\Sigma T_c > 10^0 C$ – сумма активных среднесуточных температур воздуха за период активной вегетации; $1000^{\circ} C$ – базисная сумма температур воздуха.

В качестве базисных могут быть взяты суммы температур воздуха: $1000^{\circ} C$ – для сравнения с продуктивностью климата на границе массового полевого земледелия; $1900^{\circ} C$ – для сравнения со средней по земле продуктивностью, характерной для южно-таёжной зоны; $3100^{\circ} C$ – для сравнения с продуктивностью в оптимальных условиях роста в умеренной зоне, характерной для предгорных районов Краснодарского края России.

В приведенной формуле 6.6 коэффициент роста K_p представляет собой отношение урожайности культуры в данных условиях влагообеспеченности к максимальной урожайности в условиях оптимальной влагообеспеченности. Его значения определяются по формуле:

$$K_p = 1,5 \lg(20Md) - 0,21 + 0,63Md - Md^2, \quad (6.7)$$

где Md – показатель атмосферного увлажнения, который рассчитывается по формуле

$$Md = \frac{\Sigma P}{\Sigma(E - e)}, \quad (6.8)$$

где ΣP – сумма осадков за год (мм); $\Sigma(E - e)$ – сумма дефицитов влажности воздуха за год (мб). При значении $Md = 0,50$ создаются оптимальные условия для влагообеспеченности растений. Относительно этих условий K_p принимает значение единицы. В сухих условиях южной степи, где Md не превышает 0,10-0,20, коэффициент роста K_p снижается до 0,19-0,37 при возделывании культур на богарных землях, т.е. без орошения.

За 100 баллов продуктивности климата автор принял средневзвешенный по всем сортоучастках СССР урожай зерновых культур, равный 20 ц/га. Величина (в баллах) фактической продуктивности климата рассчитывалась по комплексному графику связи урожая со значениями показателя увлажнения при разных суммах температур воздуха. В результате этой работы Д.И. Шашко построил мелкомасштабную карту ареалов биологической продуктивности по климатическим индексам БКП и B_k на территории СНГ и стран Балтии при естественном увлажнении. На карте выделено семь макрорайонов с подрайонами со значениями от 40 до 210 баллов и урожая зерновых от 0,9 т/га до 4,8 т/га.

Несмотря на несомненную ценность выполненных научных исследований они нуждаются в дальнейшем развитии, прежде всего, в направлении регионализации физико-статистических моделей продуктивности климата с целью детальной оценки биоклиматического потенциала в условиях сложного рельефа или на равнинных землях с большой пестротой почв, различающихся по механическому составу, т.е. с учетом микроклимата. Научный и практический интерес представляет также оценка БКП применительно к другим не менее важным культурам (подсолнечник, кукуруза, виноград). Поэтому в данной главе ставится и решается проблема региональной оценки биоклиматического потенциала земель на территории Украины с учетом микроклимата.

6.2. Методы расчета биоклиматического потенциала территории с региональным подходом

Общие агроклиматические ресурсы территории СНГ, в том числе Украины изучены достаточно подробно [3, 4, 6, 26, 40, 44, 62, 93, 109]. Однако исследования по региональной оценке биоклиматического потенциала на территории Украины с последующим комплексным районированием показателей ВКП не проводились. Поэтому в данной работе поставлена задача восполнить этот пробел.

За основу принята физико-статистическая модель расчета биоклиматического потенциала, разработанная Д.И. Шашко [109, 110] с последующим усовершенствованием ее для региональной оценки БКП на территории Украины в условиях сложного рельефа, а также на равнинных землях с большой пятнистостью почв. Алгоритм расчетов биоклиматического потенциала заключается в следующем.

Для зональной оценки биологической продуктивности климата в Украине в сравнении с крупной территорией СНГ, в том числе с Россией применялась формула 6.5, позволяющая определить относительные значения *БКП*. Сравнительная оценка биологической продуктивности B_k (баллы) в условиях естественного увлажнения относительно средней для страны продуктивности климата выполнена по формуле

$$B_k = K_p \cdot \frac{\Sigma T_c \cdot 100}{1900^{\circ}C} = 55BKП, \quad (6.9)$$

где $1900^{\circ}C$ – базисная сумма средних суточных температур воздуха для сравнения со средней по стране продуктивностью климата; 55 – коэффициент пропорциональности, рассчитанный по соотношению базисных сумм температур воздуха $1000^{\circ}C$ и $1900^{\circ}C$ и выраженный в процентах.

Для условий оптимального увлажнения на рассматриваемой территории биоклиматический потенциал в виде $BKП'$ и B'_k рассчитываются по формулам 6.5, 6.8. Но при этом значения коэффициента роста (K'_p) определяются по показателю увлажнения Md , характерного для оптимальных условий влагообеспеченности и равного $\approx 0,50$.

Дальнейшая регионализация расчетной схемы оценки биоклиматического потенциала в пределах ограниченных территорий (административная область, небольшой район, отдельное хозяйство) с учетом микроклимата может выполняться следующим образом. Если территория представляет собой холмистый или низкогорный рельеф, то целесообразно ввести переходные коэффициенты для пересчета значений $BKП$ и B_k для северных, южных, западных и восточных склонов крутизной 5, 10, 15, 20° .

Они разработаны З.А. Мищенко [55, 69, 80] для территории Украины и представляют собой отношение прихода суммарной солнечной радиации за конкретный месяц с апреля по октябрь или за вегетационный период с $\Sigma T_c > 10^\circ \text{C}$ на искомый склон заданной крутизны и экспозиции (ΣQ_c) к приходу суммарной радиации на горизонтальную поверхность ΣQ в виде.

$K_Q = \frac{\Sigma Q_c}{\Sigma Q}$. Тогда абсолютные значения ΣQ_c на искомом склоне определяются по формуле

$$\Sigma Q_c = \Sigma Q \cdot K_Q. \quad (6.10)$$

Исходя из изложенного, оценку микроклиматической изменчивости биоклиматического потенциала на склоновых землях можно выполнить путем введения в формулу 6.5 и 6.8 расчета BKP и B_K (на открытом ровном месте) переходных коэффициентов (\bar{K}_Q) за теплый период с T_c выше 10°C . Тогда они преобразуются в следующие выражения:

$$BKP_c = K_p \cdot \frac{\Sigma T_c > 10^\circ \text{C}}{1000} \cdot \bar{K}_Q, \quad (6.11)$$

$$B_{kc} = 55 \cdot BKP \cdot \bar{K}_Q, \quad (6.12)$$

где BKP_c , B_{kc} – биоклиматический потенциал в относительных значениях и в баллах на склоне конкретной экспозиции и крутизны при естественном увлажнении в искомом районе со сложным рельефом.

Почти повсеместно на территории Украины имеет место большая пятнистость почв, различающихся на малых площадях по механическому составу. Для ряда регионов СНГ (Северо-западная и центральная части России, Западная Сибирь, Белоруссия) выполнены исследования по климату почв, позволившие получить количественную оценку микроклиматической изменчивости показателей тепло и влагообеспеченности на почвах разного механического состава [22, 23, 37, 39 и др.]. Аналогичные разработки были выполнены Н.В. Кирнасовской [77] применительно к территории Украины. Фоновые значения BKP и B_K пригодны для оценки биологической продуктивности климата на равнинных землях со среднесуглинистыми почвами.

Для пересчета BKP и B_K на почвы песчаные, супесчаные, тяжелосуглинистые и глинистые целесообразно ввести переходные коэффициенты (K_{Π}) в виде:

$$K_{\text{пп}} = \frac{\Sigma T_{\text{пп}}}{\Sigma T_{\text{пс}}}; K_{\text{сп}} = \frac{\Sigma T_{\text{сп}}}{\Sigma T_{\text{пс}}}; K_{\text{тс}} = \frac{\Sigma T_{\text{тс}}}{\Sigma T_{\text{пс}}}, \quad (6.13)$$

где $\Sigma T_{\text{пс}}$ – сумма температур почвы на глубине 10, 20 см за период с T_c выше 10°C на среднесуглинистой почве, которая принята за нормальное местоположение; $\Sigma T_{\text{пп}}$, $\Sigma T_{\text{сп}}$, $\Sigma T_{\text{тс}}$ – те же суммы температур соответственно для песчаных, супесчаных и тяжелосуглинистых почв.

Тогда формулы для региональной оценки биоклиматического потенциала 6.5, 6.8 при естественном увлажнении с учетом механического состава почв примут следующий вид:

$$BKП_n = K_p \cdot \frac{\Sigma T_c > 10^0\text{C}}{1000^0\text{C}} \cdot K_n, \quad (6.14)$$

$$B_{\text{кп}} = 55 \cdot BKП \cdot K_n, \quad (6.15)$$

где $BKП_n$, $B_{\text{кп}}$ – значения биоклиматического потенциала в относительных единицах и в баллах на почвах разного механического состава при естественном увлажнении; K_n – переходные коэффициенты для пересчета $BKП$ на песчаные, супесчаные, тяжелосуглинистые и глинистые почвы.

Расчеты биоклиматического потенциала в относительных величинах и в баллах выполнены для 230 метеорологических станций, равномерно освещающих территорию Украины на равнинных землях, а также в горных районах Карпат и Крымских гор. Для этой цели были использованы средние многолетние данные "Справочника по климату СССР" [97, 98] по суммах активных температур воздуха за период с T_c выше 10°C , а также по годовым суммам дефицита влажности воздуха и осадков. На первом этапе значения $BKП$, B_k , Md и K_p были определены при естественном увлажнении. На втором этапе были определены значения $BKП'$ и B'_k для условий оптимального увлажнения.

В табл.6.1 приведены неполные данные расчетов биоклиматического потенциала и сопутствующих показателей климата для 12-ти административных областей Украины. Из нее видно, что в пределах каждой административной области имеет место варьирование значений $BKП$ и B_k за счет пространственной изменчивости $\Sigma T_c > 10^\circ\text{C}$, ΣP , Md и, как следствие, K_p под влиянием местных особенностей климата. Наглядно видно, что в условиях естественного увлажнения биологическая продуктивность климата понижается при продвижении с северо-запада страны на юг. Например, $BKП$ и B_k составляют соответственно во Львовской области 146-154 балла и 2,66 - 2,80, в Тернопольской области – 136-147 баллов и 2,47-2,68, в Луганской – 120-132 балла и 2,18-2,41, а в Херсонской – 113-124 и 2,06-2,25.

Таблица 6.1. Количественная оценка биоклиматического потенциала при естественном увлажнении в различных регионах Украины

Административная область	Б _к , баллы	БКП	$\Sigma T_c > 10^0 C$	Md	K _p	ΣP , мм
а) Полесье						
Львовская	146-154	2,66-2,80	2400-2550	0,58-0,62	1,0	700-800
Волинская	138-151	2,52-2,75	2450-2500	0,56-0,58	1,0	650-730
Житомирская	133-149	2,41-2,72	2400-2500	0,56-0,60	1,0	650-720
б) Лесостепь						
Тернопольская	136-147	2,47-2,68	2500-2600	0,55-0,60	1,0	650-740
Винницкая	131-136	2,60-2,75	2500-3000	0,42-0,48	0,88-0,97	550-620
Полтавская	128-135	2,33-2,51	2650-2800	0,34-0,39	0,96-1,0	550-620
в) Северная степь						
Луганская	120-132	2,18-2,41	2870-3000	0,28-0,35	0,86-0,96	500-620
Кировоградская	123-134	2,24-2,44	2800-3050	0,29-0,37	0,76-0,86	500-600
Донецкая	125-137	2,28-2,46	2850-3150	0,30-0,34	0,78-0,83	500-620
г) Южная степь						
Запорожская	121-127	2,19-2,30	2950-3300	0,24-0,29	0,69-0,76	460-540
Херсонская	113-124	2,06-2,25	3250-3350	0,21-0,25	0,63-0,69	390-500
Автономная республика Крым	113-126	2,05-2,29	3300-3450	0,20-0,25	0,61-0,71	400-450

Для осуществления комплексного районирования биоклиматического потенциала и его основных показателей на территории Украины выполнены специальные научно-методические разработки. Суть их сводится к следующему: а) установление взаимосвязи между B_K и BKP при естественном увлажнении и между B'_K и BKP' при оптимальном увлажнении; б) установление количественных зависимостей между основными показателями биоклиматического потенциала. Для установления степени тесноты связи между: B_K и BKP , B'_K и BKP' , ΣP и Md проведен корреляционный анализ и составлены рабочие графики связи с использованием данных расчетов по 125 метеорологическим станциям. Выявлена тесная взаимосвязь между вышеуказанными показателями климата. Два таких графика с неполным объемом информации представлены на рис. 6.1а и 6.1б. Далее получен ряд уравнений прямолинейной регрессии и вычислены соответствующие статистические параметры к ним (табл.6.2).

Уравнение связи между рассмотренными показателями климата имеют вид:

$$BKP = 0,018B_K + 0,0017, \quad (6.16)$$

$$BKP' = 0,018B'_K - 0,0007, \quad (6.17)$$

$$Md = 0,001\Sigma P - 0,21. \quad (6.18)$$

Коэффициенты корреляции (r) и средние квадратические отклонения (σ_x , σ_y), характеризующие меру рассеяния значений того или иного показателя климата относительно средних арифметических значений рассчитаны по известным в математической статистике формулам.

Средние ошибки коэффициентов корреляции (σ_r) и вероятностные ошибки (ϵ_r) определялись по формулам вида:

$$\sigma_r = \frac{(1 - r^2)}{\sqrt{n}}; \epsilon_r = 0,67 \cdot \sigma_r. \quad (6.19)$$

Средние ошибки уравнений связи между B_K и BKP , B'_K и BKP' , ΣP и Md определены по формуле

$$\bar{S}_y = \pm \sigma_y \sqrt{1 - r^2}. \quad (6.20)$$

Как видно из табл. 6.2, коэффициенты корреляции (r) колеблются в пределах 0,87 - 0,98 и характеризуют высокую тесноту связи между вышеуказанными показателями. Средние ошибки уравнений регрессии также малы и составляют при расчете BKP по B_K и BKP' по B'_K $\pm 0,04$ и $0,08$,

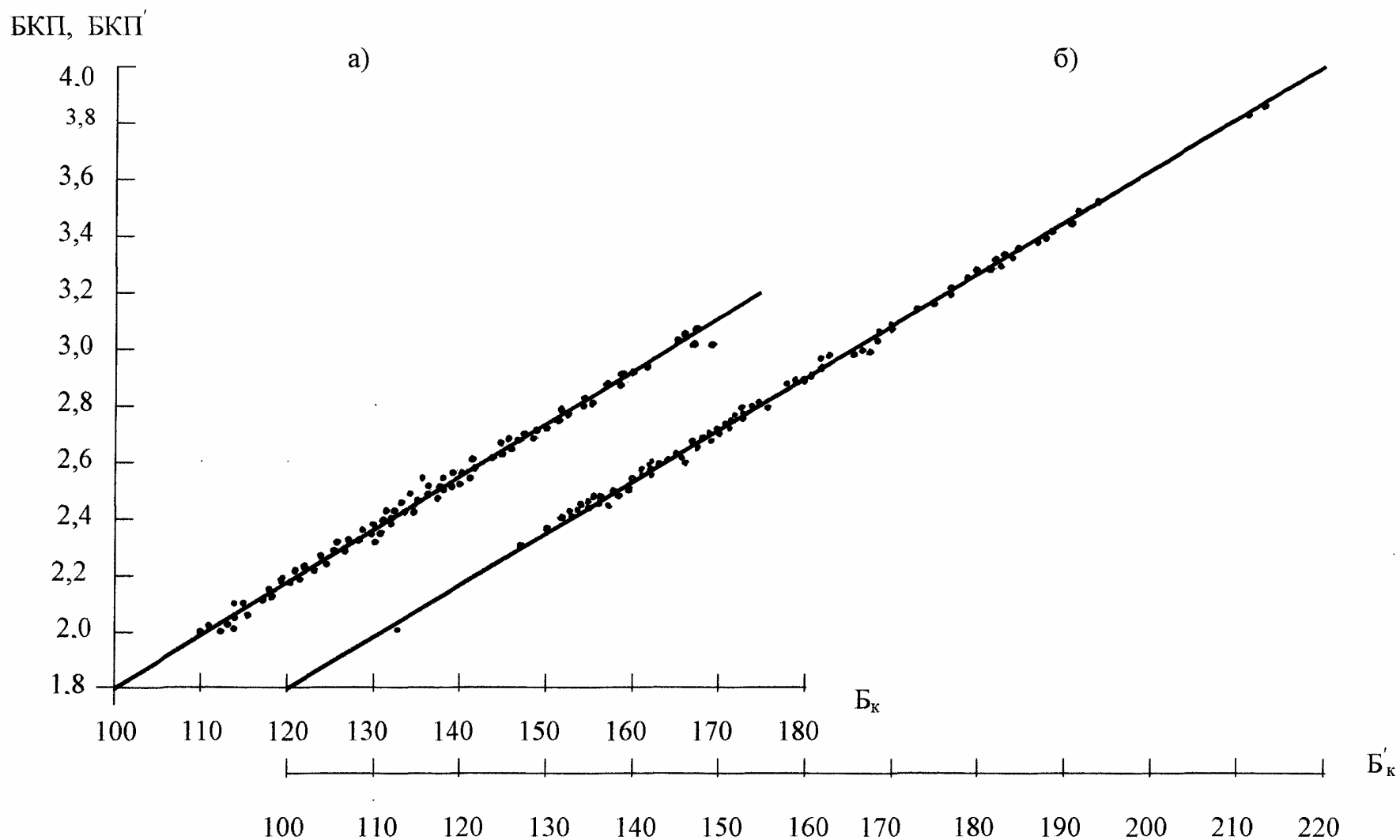


Рис. 6.1. Зависимости между: БКП и $Б_k$ при естественном увлажнении (а), между $БКП'$ и $Б'_k$ в условиях оптимального увлажнения (б) в Украине

Таблица 6.2. Статистические параметры к уравнениям связи между B_K и BKP , B'_K и BKP' , ΣP и Md

Вид связи	r	σ_r	ε_r	σ_x	σ_y	S_y
B_K с BKP	0,98	0,0035	0,0023	11,16	0,20	$\pm 0,040$
B'_K с BKP'	0,98	0,0035	0,0023	22,15	0,40	$\pm 0,080$
ΣP с Md	0,87	0,022	0,014	99,44	0,16	$\pm 0,08$

при расчете Md по ΣP – $\pm 0,08$. Следовательно, можно сделать вывод о достаточно высокой точности определения биоклиматического потенциала в относительных величинах при естественном и оптимальном увлажнении по B_K и B'_K в баллах с использованием соответствующих уравнений. С достаточной точностью можно определить значения показателя увлажнения (Md) по годовому количеству осадков с использованием формулы 6.18.

6.3. Комплексное районирование биоклиматического потенциала и его основных показателей на территории Украины

Одним из наиболее рациональных видов представления климатической информации с учетом требований отдельных отраслей хозяйства, в том числе сельскохозяйственного производства, является картирование основных характеристик климата. Картирование агроклиматических показателей позволяет по точечным наблюдениям отдельных метеорологических и агрометеорологических станций дать пространственное распределение изучаемых показателей и их комплексов. В этом основное преимущество агроклиматических карт, с помощью которых можно выйти на непосредственное обслуживание сельского хозяйства на региональном уровне и способствовать этим его дальнейшему развитию.

Принципы составления климатических и агроклиматических карт одинаковы и определяются: 1) степенью изученности картируемого элемента; 2) характером его изменчивости в пространстве; 3) густотой метеорологической сети станций; 4) возможностью использования расчетных методов; 5) наличием картографических основ (гипсометрические, морфометрические, почвенные и ландшафтные карты). Существенным фактором являются также площадь изображаемой территории и специфика запроса практики, для удовлетворения которой составляется климатическая и агроклиматическая карта.

В настоящее время существует два метода учета климатических закономерностей при построении карт в мелком и среднем масштабах. Принципиальное различие между ними заключается в разном способе учета изменчивости того или иного показателя климата под влиянием местных

условий, в том числе микроклимата [5, 55, 59, 63, 70, 79, 109].

Первый метод эффективен при картировании климатических элементов, равномерно изменяющихся в пространстве и незначительно – под влиянием местных условий. В этом случае на карте при проведении изолиний сразу учитываются все факторы, определяющие изменение климатического или агроклиматического показателя в географическом разрезе (влияние широты и долготы места, абсолютной высоты над уровнем моря, местных особенностей климата и микроклимата). При этом, согласно понятию "точность климатических карт", интервалы между изолиниями должны быть такими, чтобы в них укладывались колебания картируемого элемента на отдельных станциях за счет исходного материала.

Этот классический метод был разработан О.А. Дроздовым, И.Г. Гольцберг, Ф.Ф. Давитая, Г.Т. Селяниновым и апробирован при мелкомасштабном (рабочий масштаб 1: 5 000 000 до 1:12 500 000 и мельче) картирование многих климатических и агроклиматических показателей, представленных в виде серии соответствующих карт в национальных климатических атласах разных стран, в том числе, для территории бывшего СССР, а также в "Агроклиматическом атласе Мира" [1, 2, 4, 6, 26, 94].

Для климатических элементов, которые отличаются большой изменчивостью в пространстве под влиянием микроклиматических условий, применение традиционной методики картографирования нецелесообразно, так как приходится выбирать столь большие интервалы между изолиниями, что составление карт теряет смысл. В этом случае эффективна методика построения так называемых фоновых карт, составление которых требует детального анализа местоположения станций, установления их репрезентативности.

Суть *второго метода картирования* заключается в следующем. На карте показываются в виде изолиний изменение исследуемого показателя климата под влиянием общегеографических факторов. При этом принимаются во внимание фоновые данные станций, репрезентативных для конкретного района (т.е. карта строится для условий открытого ровного места на равнинных землях или для средних частей склонов в горах). Далее анализируются данные станций, находящиеся под влиянием микроклимата. Методом интерполяции определяется отклонение данных каждой станции, входящей в ту или иную группу по местоположению (форма рельефа, экспозиция и крутизна склонов, типы почв, близость морей и крупных водоемов и др.) от изолиний на карте. В конечном итоге разрабатывается система микроклиматических параметров к карте в виде расчетной таблицы.

Метод составления фоновых карт был впервые предложен И.А. Гольцберг [21] и апробирован для агроклиматической оценки заморозков на территории бывшего СССР. В дальнейшем этот метод был усовершенствован и развит З.А. Мищенко [57, 63, 71, 114] при картировании суточной ампли-

туды температуры воздуха, сумм дневных и ночных температур воздуха выше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, а также среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха применительно к территории бывшего СССР. При этом к фоновой агроклиматической карте прилагался более богатый материал по "географии" мезо- и микроклиматической изменчивости того или иного показателя климата в виде схематического районирования.

До последнего времени картирование показателей сельскохозяйственного бонитета климата осуществлялось в мелком масштабе (1:4 000 000 до 12 000 000) для территории бывшего СССР и стран Восточной Европы. Не умаляя практическую и научную ценность этих карт, они дают весьма схематическое распределение B_k , B_{KP} , B_k в зональном разрезе. Кроме того, эти показатели не увязаны с другими характеристиками сельскохозяйственного бонитета климата и биоклиматического потенциала.

В данной работе ставится задача осуществить комплексное районирование биоклиматического потенциала и его основных показателей на территории Украины в более крупном масштабе (1:1 500 000) отдельно при естественном и оптимальном увлажнении. За основу принят метод составления фоновых климатических и агроклиматических карт, а также методика уплотнения агроклиматической информации, разработанные З.А. Мищенко [55, 63, 66, 71]. Суть ее заключается в установлении количественных зависимостей между известными и искомыми агроклиматическими показателями. Такой прием позволяет избежать трудоемких работ по составлению отдельных карт для каждого элемента климата, т.е. уплотнить агроклиматическую информацию и представить ее в компактном виде на одной карте комплексного районирования, значительно обогатив легенду к ней.

Задача решалась в два этапа. На первом этапе были построены агроклиматические карты распределения биоклиматического потенциала, выраженного в баллах (B_k , B'_k). На втором этапе решалась задача по определению для каждого макрорайона, выделенного на той или иной карте таких показателей как B_{KP} , $\Sigma T_{c>10}\text{ }^{\circ}\text{C}$, M_d , K_p , Σr на основе установленной взаимосвязи их с B_k или B'_k . На рис. 6.2 представлена зависимость между B_{KP} и M_d при различных суммах средних суточных температур воздуха выше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ в условиях естественного увлажнения на территории Украины. Наглядно видно, что биоклиматический потенциал возрастает от 2,0 до 2,9 с увеличением показателя увлажнения от 0,15 до 0,70. Значения B_{KP} возрастают также с увеличением $\Sigma T_{c>10}\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На рис. 6.3 представлено комплексное районирование биоклиматического потенциала при естественном увлажнении на территории Украины. Оно выполнено для условий открытого ровного места на равнинных землях и для средних частей склонов в горах. К карте прилагается табл. 2.3 с количественной оценкой основных показателей климата (B_k , B_{KP} ,

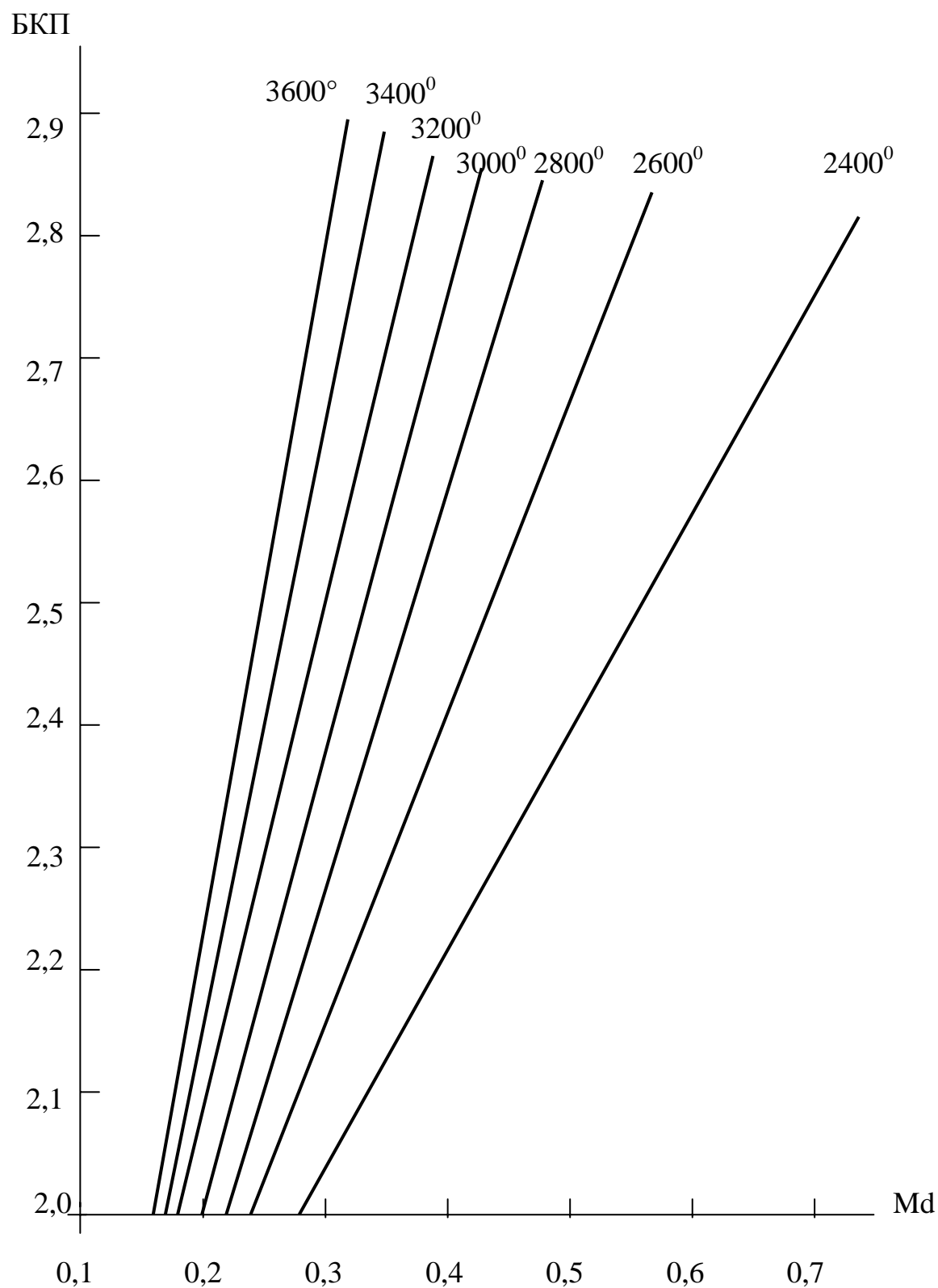


Рис. 6.2. Зависимость между биоклиматическим потенциалом (БКП) и показателем увлажнения (Md) при различных $\Sigma T_c > 10^\circ \text{C}$ на территории Украины

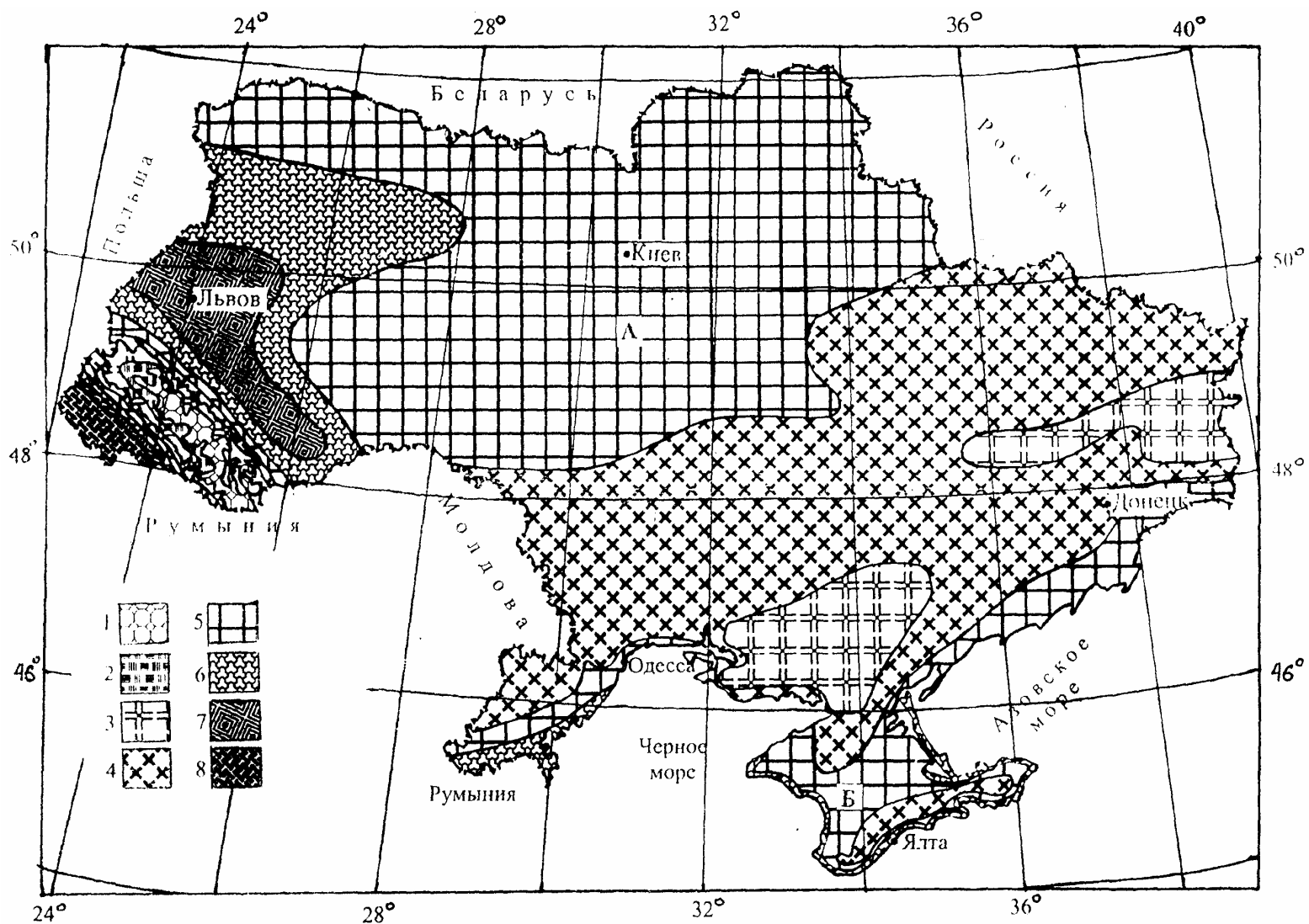


Рис. 6.3. Комплексное районирование биоклиматического потенциала и его показателей на территории Украины при естественном увлажнении. (макрорайоны 1 – 8 см. в табл. 6.3)

Таблица 6.3. Региональная оценка биоклиматического потенциала и его показателей при естественном увлажнении в различных макрорайонах Украины

Макрорайон	Б _к , баллы	БКП	$\Sigma T_{c>10^0C}$	Md	K _p	Σr , мм.
1. Очень низкая	≤ 100	$\leq 1,80$	1000 - 1600	0,9 - 1,4	0,75 - 0,30	1000 – 1400
2. Низкая	100 - 110	1,80 - 2,00	1500 - 1900	0,8 - 1,0	0,82 - 0,62	850 – 1100
3. Пониженная	110 - 120	1,98 - 2,18	2000 - 3400	0,21 - 0,75	0,58 - 0,82	450 – 850
4. Средняя	120 - 130	2,18 - 2,35	2700 - 3350	0,24 - 0,38	0,70 - 0,85	450 – 570
5. Повышенная	130 - 140	2,35 - 2,54	А) 2400 - 3000 Б) 3250 - 3450	0,35 - 0,45	0,83 - 0,95	А) 550 – 700 Б) 350 – 650
6. Умеренно-высокая	140 - 150	2,54 - 2,70	А) 2420 - 2600 Б) 3400 - 3900	0,50 - 0,60	0,98 - 1,0	А) 600 – 750 Б) 300 – 600
7. Высокая	150 - 160	2,72 - 2,90	2400 - 2550	0,52 - 0,73	1,0 - 0,85	680 – 850
8. Очень высокая	≥ 160	$\geq 2,90$	3000 - 3300	0,60 - 0,85	1,0 - 0,80	800 – 1000

$\Sigma T_c > 10^0 \text{C}$, Md, K_p , Σr). На карте выделено 8 макрорайонов.

Высокая продуктивность климата имеет место в западных регионах Украины, охватывающих частично Львовскую, Ивано-Франковскую и Черновицкую области, относящихся к лесостепной зоне с достаточным увлажнением. Здесь B_k и BKP , составляют соответственно 150-160 баллов и 2,70-2,80 (макрорайон 7). Самые большие значения B_k и BKP наблюдаются в Закарпатье с особым местным климатом на равнинных и склоновых землях (макрорайон 8).

Значительная часть северных и центральных регионов страны, относящихся к полесью, лесостепи и частично северной степи имеют среднюю и повышенную биологическую продуктивность климата. Здесь B_k и BKP составляют 120-140 баллов и 2,16-2,54 (макрорайоны 4, 5). В степной зоне на востоке и на юге (сюда входит значительная часть Херсонской области) выделена территория с пониженной продуктивностью климата, где B_k , BKP и K_p составляют соответственно 110-120 баллов, 1,98-2,18 и 0,58-0,82 (макрорайон 3).

Далее к югу за счет значительного увеличения ресурсов тепла продуктивность климата возрастает и B_k , BKP и K_p составляют здесь 140-150 баллов, 2,54-2,72 и 0,98-1,0 (макрорайон 6). Сюда входят южная часть Одесской области, а также побережье Черного моря на юге Автономной республики Крым.

Впервые сделана попытка количественно оценить изменение биоклиматического потенциала в горных областях страны в зависимости от абсолютной высоты над уровнем моря (H_m). Для этой цели применен известный в климатологии метод пар станций, а также строились рабочие графики связи между B_k и H_m отдельно для северо-восточного склона и юго-восточного склонов Карпат и Крымских гор. Несмотря на ограниченность данных, выявилась четкая закономерность. А именно, при продвижении в горы биологическая продуктивность климата понижается за счет существенного уменьшения с высотой места ресурсов тепла ($\Sigma T_c > 10^0 \text{C}$).

Однако, интенсивность понижения B_k и BKP различна в зависимости от горной системы и экспозиции хребтов (табл. 6.4). Например, высотный градиент B_k (т.е. изменение его значений на 100 м высоты) на северо-восточном склоне Карпат составляет 6 баллов, а на юго-восточном склоне Карпат – 10 баллов. В Крымских горах высотный градиент B_k не превышает 4-5 баллов. В Карпатах в зависимости от экспозиции хребтов B_k и BKP на высотах 800-900 м и 1000-1100 м составляют 100-110 баллов и 1,80-2,00, а на высоте 1400 – 1500 м их значения уменьшаются до 90-80 баллов и 1,75-1,50 (макрорайоны 1,2). В Крымских горах биоклиматический потенциал также снижается и составляет на высотах 600-700 м 130 баллов и 2,34, на высотах 900-1000 м 120 баллов и 2,16, а на высоте 1200 м – меньше 115

Таблица 6.4. Влияние высоты места в горах на распределение биоклиматического потенциала

№ п/п	Станция	Н, м	B_k	BKP
а) Северо-восточный склон Карпат				
1	Броды	225	154	2,80
2	Пожижевская	1429	81	1,47
Δ	Разность	- 1204	73	1,33
б) Юго-восточный склон Карпат				
3	Верхний Березный	208	165	3,00
4	Селятин	744	113	2,06
Δ	Разность	- 536	52	0,94
в) Крымские горы				
5	Никитский сад	208	155	2,81
6	Ай-Петри	1180	117	2,13
Δ	Разность	-972	38	0,68

баллов и меньше 2,07 (макрорайоны 4,3).

Представляет научный и практический интерес оценка биоклиматического потенциала территории Украины для условий оптимального увлажнения. Соответствующие расчеты B'_k и BKP' были выполнены для 230 пунктов по формулам 6.6 и 6.8. При расчете взято значение коэффициента увлажнения за год равное 0,50 (оно характеризует условия оптимального увлажнения), которому соответствует коэффициент роста K_p близкий к 1,0). На агроклиматической карте, построенной в рабочем масштабе 1:1500000 выделено 12 макрорайонов с шагом в 10 баллов (рис. 6.4).

К карте прилагается легенда в виде табл. 6.5, с количественной оценкой не только B'_k (баллы) в условиях оптимального увлажнения, но и BKP' , которое определено для каждого макрорайона по уравнению связи между B'_k и BKP' . Здесь же представлены значения разности $(B_k - B'_k)$. Отрицательные разности указывают на необходимость орошения, а положительные разности – на необходимость осушения и сброса воды.

Как видно из рис. 6.4 и табл. 6.5, биологическая продуктивность климата при введении мелиоративных мероприятий, направленных на улучшение климатических условий для сельскохозяйственного производства, возрастает в направлении с севера и северо-запада на юг и юго-восток. В этом же направлении увеличиваются тепловые ресурсы и, как следствие, возможность выращивания большего набора сельскохозяйственных культур.

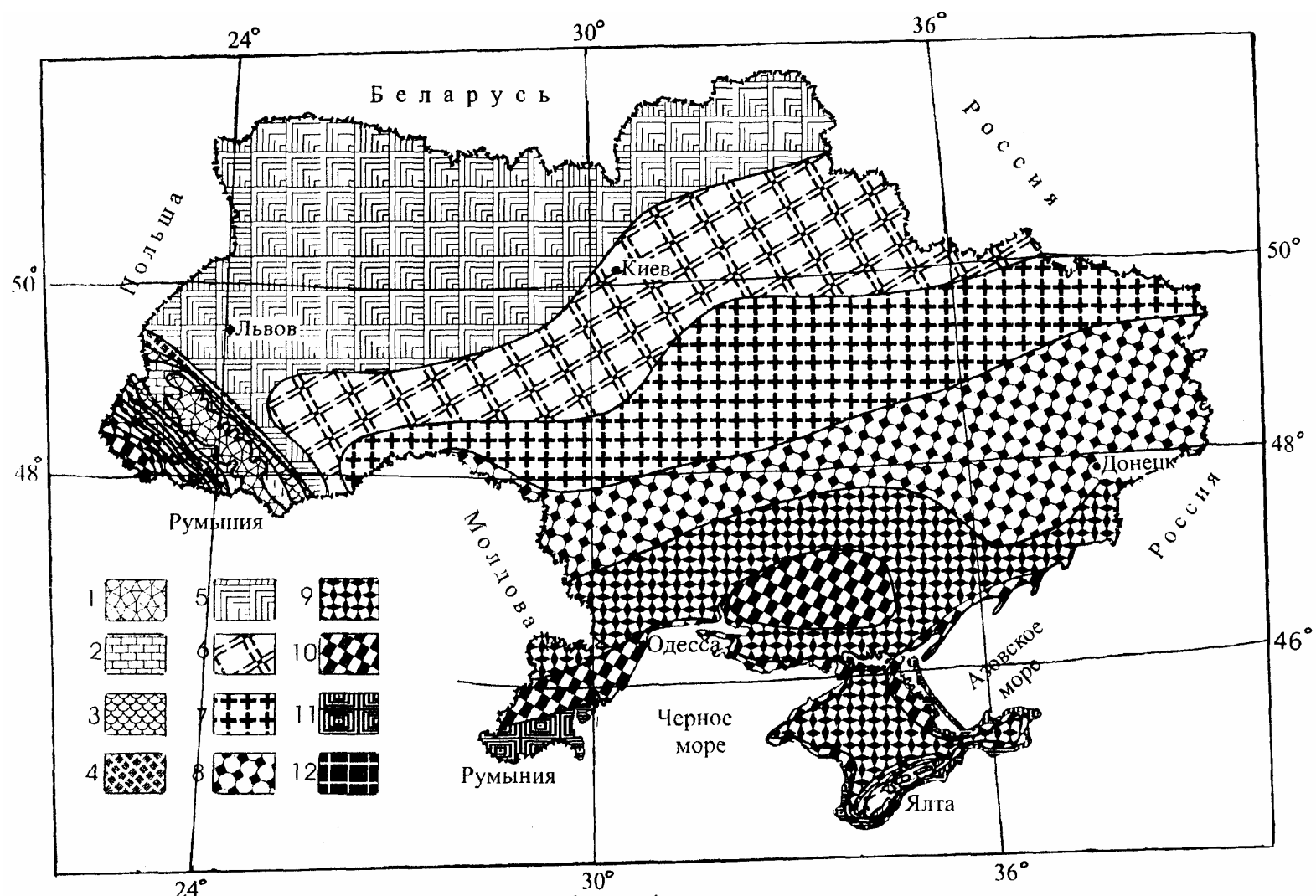


Рис. 6.4. Распределение биоклиматического потенциала ($B'_к$, $БКП'$) на территории Украины в условиях оптимального увлажнения (Макрорайоны 1 – 12 см. в табл. 6.5)

Таблица 6.5. Региональная оценка биологической продуктивности климата в условиях оптимального увлажнения в Украине

Макрорайон	B'_k	BKP'	$(B_k - B'_k)$	Виды мелиорации
1. Очень низкая	80 - 100	1,44 – 1,8	40 – 30	Сброс воды, осушение
2. Низкая	100 - 110	1,8 – 1,98	33 – 23	Сброс воды, осушение
3. Относительно низкая	110 - 120	1,98 – 2,16	26 – 16	Периодическое осушение
4. Умеренно-низкая	120 - 130	2,16 – 2,34	19 – 10	Периодическое осушение
5. Пониженная	130 - 140	2,34 – 2,52	11 – 2	Не требуется
6. Относительно пониженная	140 - 150	2,52 – 2,7	4 – -6	Не требуется
7. Средняя	150 - 160	2,7 – 2,88	-3 – -13	Поливы в критичес. период
8. Повышенная	160 - 170	2,88 – 3,06	-10 – -20	Периодическое орошение
9. Относительно высокая	170 - 180	3,06 – 3,24	-17 – -27	Периодическое орошение
10. Умеренно-высокая	180 - 190	3,24 – 3,42	-25 – -35	Систематическое орошение
11. Высокая	190 - 200	3,42 – 3,6	-32 – -42	Систематическое орошение
12. Очень высокая	200 - 210	3,6 – 3,78	-40 – -50	Систематическое орошение

Очень низкая продуктивность климата характерна для горных районов Карпат, где B'_k колеблется в пределах 80-100 и 100-110 баллов (макрорайоны 1,2). Здесь для успешного развития сельского хозяйства необходимы мелиоративные мероприятия, направленные на осушение сельскохозяйственных полей.

Средняя продуктивность климата имеет место в северной степи (макрорайон 7), где B'_k и BKP' составляют 150-160 баллов и 2,7-2,88. Здесь в отдельные годы возможно применение периодического орошения в критические периоды роста и развития культурных растений.

Далее к югу (макрорайоны 11 и 12) за счет значительного увеличения ресурсов тепла в условиях оптимального увлажнения биологическая продуктивность климата существенно возрастает и B'_k и BKP' составляют

190-210 баллов и 3,42-3,78. Сюда входят южная часть Одесской области и южные районы автономной республики Крым на побережье Черного моря. Для успешного ведения сельского хозяйства здесь необходимо систематическое орошение сельскохозяйственных полей.

Исходя из полученных научных разработок по сельскохозяйственному бонитету климата, можно сделать следующее заключение. Если обратиться к схематическому районированию B_K и BKP при естественном увлажнении, выполненного Д.И. Шашко [109] для территории бывшего СССР, то можно увидеть, что вся территория Украины вошла в два макрорайона, отнесенных к средней и повышенной биологической продуктивности климата. Выполненная нами региональная оценка и комплексное районирование B_K и BKP позволила существенно детализировать вышеуказанную схему при естественном увлажнении в пределах Украины. Кроме того впервые выполнена количественная оценка и районирование B'_K и BKP' на территории Украины для условий оптимального увлажнения и даны рекомендации по проведению дифференцированных мелиоративных мероприятий в различных макрорайонах.

Полученные результаты являются научной основой для оптимизации размещения видов и сортов сельскохозяйственных культур, в том числе подсолнечника, с учетом их урожайности, а также определения региональных особенностей мер по охране и улучшению природной среды.

6.4. Сравнительная оценка использования биоклиматического потенциала подсолнечником, виноградом и кукурузой в Украине

Для решения вопроса рационального размещения зерновых, технических и плодовых культур практически важной задачей является сравнительная оценка эффективности использования биоклиматического потенциала конкретной культурой в том или ином регионе страны. Суть методики заключается в сопоставлении величин B_K и BKP при естественном увлажнении в конкретном макрорайоне (рис. 6.3 и табл. 6.3) с величиной используемой культурой (например подсолнечником) части общего биоклиматического потенциала в виде BKP_K .

Он рассчитывается по формуле

$$BKP_{kn} = K_p \cdot \frac{\Sigma T_{вп}}{1000^0 C}, \quad (6.21)$$

где $\Sigma T_{вп}$ – сумма активных температур воздуха за период вегетации культуры. Значения BKP_K удобнее рассчитывать в баллах по формуле

$$B_{кп} = 55 \cdot БКП_{кп}, \quad (6.22)$$

где $B_{кп}$, $БКП_{кп}$ - биоклиматический потенциал, используемый подсолнечником за период вегетации.

Тогда коэффициент эффективности использования биоклиматического потенциала на той или иной территории культурой ($K_э$) можно рассчитать по соотношениям

$$K_э = \frac{БКП_{кп}}{БКП} \cdot 100\% \text{ или } K_э = \frac{B_{кп}}{B_к} \cdot 100\%. \quad (6.23)$$

По вышеуказанной методике нами выполнена сравнительная оценка использования биоклиматического потенциала в различных регионах Украины подсолнечником, являющимся ценной технической культурой и занимающим значительные площади сельскохозяйственных угодий. Расчеты $БКП_{кп}$ и $K_э$ выполнена для 109 пунктов, равномерно освещающих территорию Украины. Далее, данные по коэффициенту эффективности использования биоклиматического потенциала территории подсолнечником ($K_э$) были нанесены на карту.

Результаты этой работы представлены на рис. 6.5 и в табл. 6.6. Выделено семь макрорайонов, различающихся по степени использования БКП среднеспелыми сортами подсолнечника. Наглядно видно, что значения $K_э$ уменьшаются в направлении с севера на юг от 85% до 60% и меньше. Например, в 1 макрорайоне (в него входят большая часть Житомирской и северные части Киевской, Черниговской и Сумской областей) $K_э$ составляет 85% и больше. В 3-ем макрорайоне, охватывающим центральные районы Украины, $K_э$ составляет 80-75%.

В 5-ом макрорайоне, охватывающим северную часть южных степей, $K_э$ уменьшается и не превышает 70-65%. На юге Автономной республики Крым, в прибрежных районах, омываемых Черным морем и отличающихся наиболее продолжительным теплым периодом и высоким уровнем радиационно-тепловых ресурсов, эффективность использования биоклиматического потенциала в условиях естественного увлажнения понижается до 60% и менее (макрорайон 7).

В табл. 6.6 дана количественная оценка показателей биоклиматического потенциала территории ($B_к$) и биоклиматического потенциала подсолнечника ($B_{кп}$) с привязкой к карте (рис. 6.5) по отдельным метеорологическим станциям внутри ряда областей. В 1-ом макрорайоне, куда входят ряд станций Житомирской и Черниговской областей ΣT_c выше 10 °C и количество осадков за год (Σr) колеблется в пределах 2405-2545 °C и 655-670 мм,

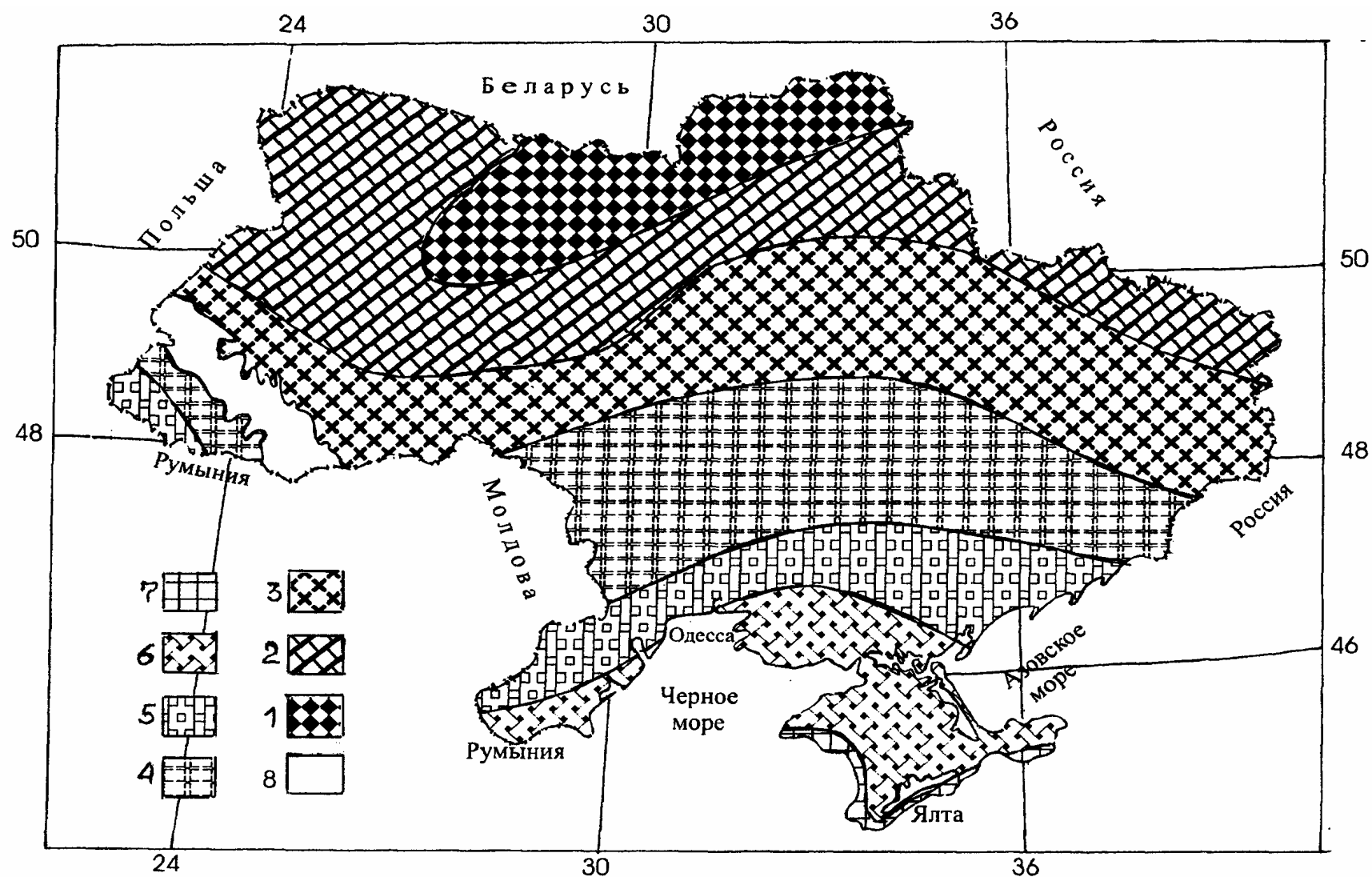


Рис. 6.5. Географическое распределение коэффициента эффективности использования биоклиматического потенциала подсолнечником на территории Украины. (макрорайоны 1 – 7 см. в табл. 6.6; 8 – горы)

Таблица 6.6. Количественные показатели биоклиматического потенциала территории (B_k) и степени его использования подсолнечником ($B_{кп}$, $K_э$) в различных регионах Украины

Макрорайон Область	$\Sigma T_{с>10^0C}$	Σr , мм, год	B_k , баллы	Даты фенофаз		$\Sigma T_{вп}$, 0C	$B_{кп}$ баллы	$K_э$, %
				Посев	Технич. спелость			
1. Житомирская Черниговская	2405 – 2545	655 – 670	133 – 139	20.04–23.04	27.08–29.08	2040 – 2108	114 – 117	84 – 88
2. Сумская Тернопольская Винницкая	2520 – 2640	591 – 694	133 – 141	21.04–23.04	24.08–3.09	2018 – 2121	107 – 116	79–85
3. Винницкая Харьковская	2520 – 2905	582 – 611	128 – 133	18.04–23.04	19.08–24.08	2018 – 2200	97 – 103	74 – 77
4. Одесская Днепропетров- ская:	2960–3275	493–525	124 – 127	14.04 – 18.04	17.08–19.08	2145 – 2327	89 – 92	71 – 74
5. Николаевская Херсонская	3110–3355	392–513	116–123	9.04–17.04	6.08–16.08	2102- 2237	73–87	63–71
6. Автономная Республика Крым	3255–3435	455–491	135–139	12.04–15.04	6.08–10.08	2092– 2134	79–83	62–64
7. Южный берег Крыма	3580 –3850	395–623	129–166	6.04–9.04	1.08–7.08	2098– 2110	75–91	55–58

а значения B_k составляют 133-139 баллов. Соответственно биологические суммы температур ($\Sigma T_{\text{вн}}$) подсолнечника здесь не превышают 2040 - 2108 °С, $B_{\text{кп}}$ подсолнечника составляет 114 - 117 баллов, а K_9 колеблется в пределах 84-88%.

В 3-ем макрорайоне на карте, куда входят южная часть Винницкой и Харьковская области, данные метеорологических станций характеризуются. ΣT_c выше 10 °С и количество осадков за год в пределах 2695-2905 °С и 582-611 мм, а значения B_k уменьшаются до 128-133 баллов. Соответственно $\Sigma T_{\text{вн}}$ не превышают 2018-2200 °С, $B_{\text{кп}}$ подсолнечника составляет 97-103 баллов, а коэффициент использования БКП территории уменьшается до 74-77 %.

Самый низкий K_9 порядка 58% наблюдается на метеорологических станциях, расположенных в прибрежных районах Южного берега Крыма (макрорайон 7). Здесь ΣT_c выше 10 °С возрастают до 3580-3850 °С при уменьшении количества осадков за год до 395-623 мм. Биоклиматический потенциал территории колеблется в пределах 129 баллов. Соответственно $\Sigma T_{\text{вн}}$ и $B_{\text{кп}}$ подсолнечника не превышает 2098-2110 °С и 75-77 баллов. Исключения представляют данные расчетов на ст. Ялта с характерным для неё субтропическим климатом и особыми микроклиматическими условиями. Здесь ΣT_c выше 10⁰С, ΣT и B_k составляют соответственно 3850 °С, 623 мм и 166 баллов. Биоклиматический потенциал подсолнечника ($B_{\text{кп}}$) увеличиваются до 91 балла, а K_9 не превышает 55%.

Несмотря на высокую степень использования биоклиматического потенциала подсолнечником в северных макрорайонах (1,2), его промышленное возделывание здесь не целесообразно по нескольким причинам. Подсолнечник является типичным растением степи с высокой потребностью в тепле за вегетационный период. По условиям теплообеспеченности в этих макрорайонах только 1-2 раза в 10 лет возможно получение урожаев семян до 10 ц/га низкого качества по масличности. Кроме того, в период образования соцветий – цветение и до созревания подсолнечник нуждается в высоких средних температурах воздуха порядка 19-21 °С при умеренном увлажнении почв (не выше 70% от НПВ). Негативное влияние на продуктивность подсолнечника оказывает и низкий уровень обеспеченности питательными веществами при его произрастании на дерново-подзолистых и болотных почвах.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующее заключение. Наиболее благоприятные условия для произрастания подсолнечника и получения стабильных урожаев семян являются 3, 4, 5, 6, макрорайоны.

Применительно к территории Закарпатской области, отличающейся особым местным климатом и значительной изменчивостью биоклиматического потенциала выполнена оценка использования частей БКП и B_k ози-

мой пшеницей и кукурузой. Расчеты K_9 выполнены для: ранних ($\Sigma T_{сб}=1400$ °C), среднеспелых ($\Sigma T_{сб}=1450$ °C) и позднеспелых ($\Sigma T_{сб}=1500$ °C) сортов озимой пшеницы; ранних ($\Sigma T_{сб}=2200$ °C), среднеспелых ($\Sigma T_{сб}=2500$ °C) и позднеспелых ($\Sigma T_{сб}=2700$ °C) сортов кукурузы.

Результаты расчетов представлены в табл. 6.7 на примере мезорайона 8 с высокой биологической продуктивностью климата (см. рис. 6.3 и табл. 6.3)

Таблица 6.7. Оценка степени использования биоклиматического потенциала земель в Закарпатской области сортами зерновых культур различной скороспелости

Мезорайон, станция	B_K , бал- лы	K_p	Ранние		Средние		Поздние	
			B_{KO}	$K_3, \%$	B_{KO}	$K_3, \%$	B_{KO}	$K_3, \%$
Озимая пшеница								
8. Ужгород	169	1,00	77	46	80	47	83	49
Берегово	167	0,93	72	43	74	44	77	46
Хуст	198	1,20	92	47	96	48	99	50
Кукуруза								
8. Ужгород	169	1,00	121	72	138	82	149	88
Берегово	167	0,93	113	68	128	77	138	83
Хуст	198	1,20	145	73	165	83	178	90

Наглядно видно, что $B_{ко}$ озимой пшеницы варьирует здесь для ранних сортов в пределах 72 – 92 баллов, среднеспелых сортов – от 75 до 95 баллов, позднеспелых сортов – от 80 до 95 баллов. Это обусловило варьирование коэффициента эффективности K_9 использования БКП культурой для соответствующих групп сортов в пределах 43 – 46%, 47-48% и 49-50%.

Биоклиматический потенциал вегетационного периода разных сортов кукурузы также существенно варьирует в этом мезорайоне. Для раннеспелых сортов $B_{кк}$ изменяется в пределах 115 – 140 баллов; среднеспелых – 135 – 160 баллов; позднеспелых – от 140 до 170 баллов. Соответственно для этих групп сортов K_9 варьирует в пределах 68 – 73%; 77 – 83% и 83 – 90%. Анализ этих данных показывает, что в этом мезорайоне можно возделы-

Таблица 6.8. Оценка степени использования биоклиматического потенциала при естественном увлажнении в разных мезорайонах Крымского полуострова сортами винограда различной скороспелости

Мезорайон, Станция	B_K , баллы	K_p	Очень ранние		Ранние		Среднеспелые		Позднеспелые	
			B_{KB} , баллы	K_3 , %	B_{KB} , баллы	K_3 , %	B_{KB} , баллы	K_3 , %	B_{KB} , баллы	K_3 , %
1Б. Армянск	113	0,61	77	68	74	65	84	74	91	81
Ишунь	120	0,64	83	69	77	64	88	73	95	79
1. Стерегущий	132	0,74	94	71	90	68	102	77	110	83
Воронки	124	0,69	88	66	83	67	95	77	102	82
2. Джанкой	135	0,71	88	65	86	64	98	73	105	78
Нижнегорск	138	0,75	95	68	91	66	103	75	111	80
Симферополь	141	0,79	100	71	96	68	109	77	117	83
3. Алушта	142	0,71	88	62	86	61	98	69	105	74
Орлиное	148	0,91	115	77	110	74	125	84	135	91
Никитский сад	155	0,85	108	69	103	66	117	75	126	81

вать все группы сортов и гибридов кукурузы, отдавая предпочтение среднеспелым и позднеспелым сортам.

Аналогичные разработки выполнены З.А. Мищенко [57] по оценке эффективности использования общего биоклиматического потенциала виноградом и кукурузой на сортовом уровне применительно к территории Крымского полуострова. Для этой цели было детализировано комплексное районирование B_{KP} и B_K с выделением четырех мезорайонов в пределах Крымского полуострова. Далее были определены биологические суммы температур воздуха ($\Sigma T_{сб}$) за период вегетации винограда для четырех групп сортов: очень ранних (2200 – 2400 °С), ранних (2500 – 2600 °С), среднеспелых (2700 – 2800 °С), позднеспелых (3000 – 3100 °С). Определены также $\Sigma T_{сб}$ для трех групп сортов кукурузы (ранних, среднеспелых и позднеспелых). По этим данным с помощью формул 6.21 и 6.22 определены части общего биоклиматического потенциала, используемые разными сортами винограда и кукурузы, т.е. $B_{KP_{KB}}$, B_{KB} и $B_{KP_{KK}}$, B_{KK} . Коэффициенты эффективности использования B_{KP} виноградом и кукурузой ($K_э$, %) рассчитаны по формулам (6.23).

Таблица 6.9. Оценка степени использования биоклиматического потенциала земель на территории Крымского полуострова сортами кукурузы на зерно различной скороспелости

Мезорайон, Станция	B_K , баллы	K_p	Ранние		Среднеспелые		Позднеспелые	
			B_{KK} , баллы	$K_э$, %	B_{KK} , баллы	$K_э$, %	B_{KK} , баллы	$K_э$, %
1Б. Аянск Ишунь	113	0,61	74	65	84	74	91	81
	120	0,64	77	64	88	73	95	79
2. Стерегущий Воронки	132	0,74	90	68	102	77	110	83
	124	0,69	83	67	95	77	102	82
3. Джанкой Нижегорск Симферополь	135	0,71	86	64	98	73	105	78
	138	0,75	91	66	103	75	111	80
	141	0,79	96	68	109	77	117	83
4. Алушта Орлиное Никитский сад	142	0,71	86	61	98	69	105	74
	148	0,91	110	74	125	84	135	91
	155	0,85	103	66	117	75	126	81

Результаты этой работы представлены в табл. 6.8 и 6.9. Например, из табл. 6.8 видно, что в северной части Крымского полуострова (мезорайон

1Б при B_K 113 – 120 баллов K_9 составляет для очень ранних, ранних, среднеспелых и позднеспелых сортов винограда соответственно 68%, 74, 82 и 92%.

На Южном берегу Крыма (мезорайон 4) K_9 несколько снижается и составляет для очень ранних, ранних и среднеспелых сортов винограда 62%, 70 и 77% (ст. Алушта). Позднеспелые сорта здесь используют общий биоклиматический потенциал на 85 – 100%. Отсюда можно сделать заключение, что при возделывании винограда в пределах Крымского полуострова предпочтение следует отдавать в мезорайонах 1Б и 2 очень ранним и ранним сортам, а в более южных мезорайонах 3, 4 среднеспелым и позднеспелым сортам.

Биоклиматический потенциал вегетационного периода ранних (2200 °С), среднеспелых (2500 °С) и позднеспелых (2700 °С) сортов кукурузы также существенно изменяются в пределах Крымского полуострова (табл. 6.9). Наглядно видно, что в мезорайоне 1Б при биоклиматическом потенциале 113-120 баллов K_9 составляет для ранних, среднеспелых и позднеспелых сортов соответственно 65%, 74 и 80%. А на юге в мезорайоне 4 при B_K равном 142 – 155 баллов K_9 также несколько снижается и составляет 61%, 69 и 74% (ст. Алушта).

Отсюда следует вывод о том, что возделывание кукурузы на зерно во всех мезорайонах обеспечено теплом на 90 – 100%. Однако предпочтение следует отдать мезорайонам 1Б и 2. Здесь при введении орошения возможно получение стабильных и высоких урожаев этой ценной культуры.

6.5. Оценка мезо и микроклиматической изменчивости биоклиматического потенциала на ограниченных территориях

В пределах Украины имеет место значительная изменчивость показателей радиационно-тепловых ресурсов и режима увлажнения под влиянием микроклимата. Это обуславливает и микроклиматическую изменчивость биоклиматического потенциала в сложном рельефе или на равнинных землях с большой пестротой почв [55, 75, 77]. Поэтому представляет научный интерес оценка мезо и микроклиматической изменчивости $B_{KП}$ и B_K на ограниченных территориях (административная область, район, отдельное хозяйство).

Комплексное районирование показателей биоклиматического потенциала на территории Крымского полуострова для средних многолетних условий выполнено в среднем масштабе (1: 750000). Картирование осуществлено по методу составления фоновых агроклиматических карт для условий открытого ровного места. На карте выделено четыре мезорайона с

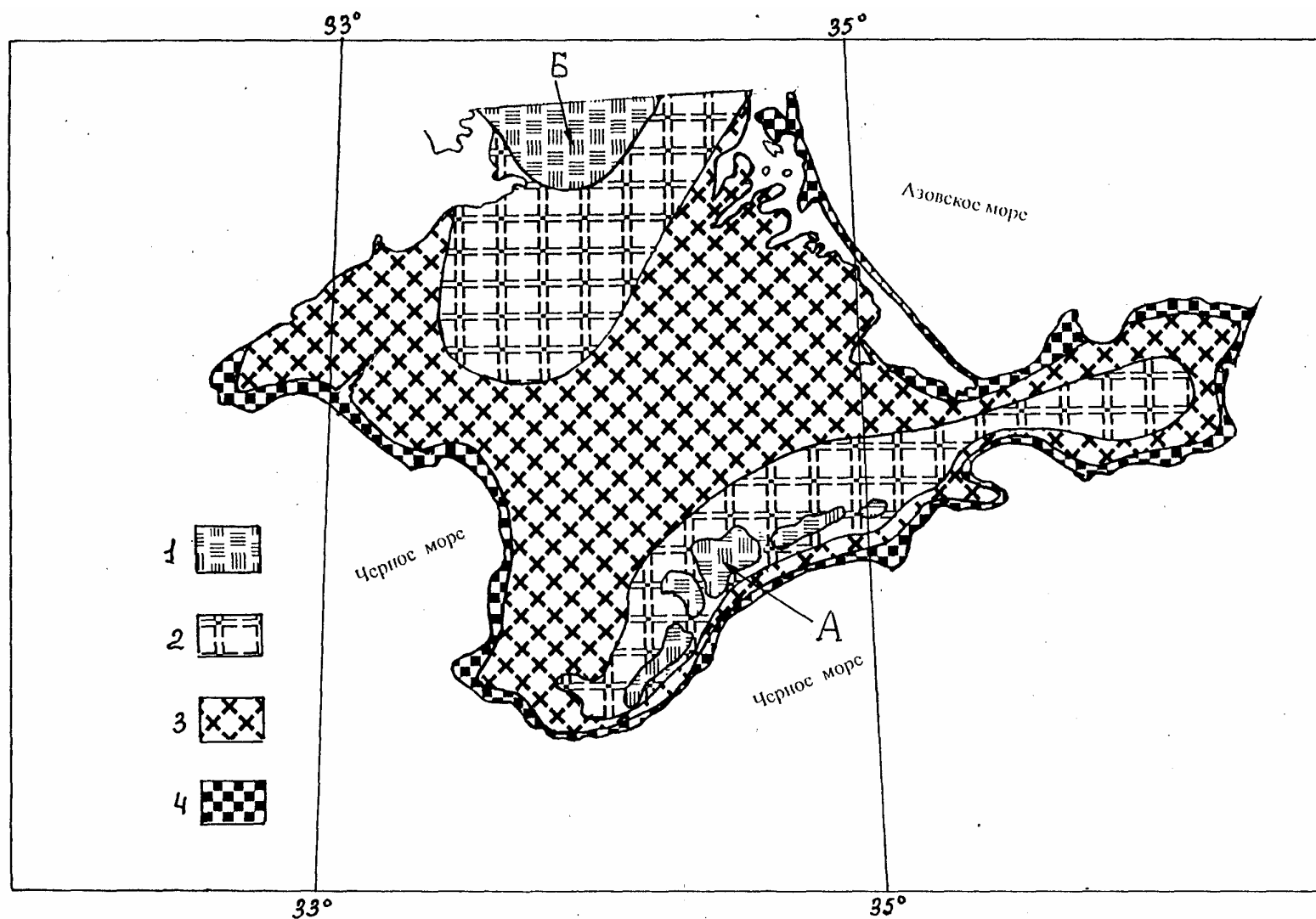


Рис. 6.6. Комплексное районирование показателей биоклиматического потенциала на территории Крымского полуострова при естественном увлажнении (Мезорайоны 1 – 4 см. в табл. 6.9)

Таблица 6.9. Региональная оценка биологической продуктивности климата при естественном увлажнении на территории Крымского полуострова

Мезорайон	B_K , баллы	BKP	$\Sigma T_c > 10^\circ C$	Md	K_p
1. Пониженная:					
в Крымских горах (А)	< 120	< 2,18	2000-2200	0,60 – 0,70	0,90 – 0,82
на равнинных землях (Б)	< 120	< 2,18	3200-3300	0,20 – 0,28	0,62 – 0,70
2. Средняя	120-130	2,18-2,35	3250-3400	0,22 – 0,29	0,65 – 0,74
3. Повышенная	130-140	2,35-2,55	3300-3500	0,25 – 0,31	0,70 – 0,79
4. Умеренно-высокая	140-150 и более	2,55-2,70	3600-3900	0,26 – 0,34	0,75 – 0,88

двумя подрайонами (рис. 6.6). К карте прилагается легенда с количественной оценкой $B_{KП}$, B_K , ΣT_c выше 10°C , Md и K_p (табл. 6.9).

Общей закономерностью является увеличение биологической продуктивности климата в направлении с севера на юг Крымского полуострова. Оно обусловлено существенным возрастанием сумм тепла в этом направлении на равнинных землях, в особенности на Южном берегу Крыма, характеризующемся субтропическим климатом. Зональный ход биоклиматического потенциала нарушается под влиянием Крымских гор.

Пониженная биологическая продуктивность климата имеет место в макрорайоне 1 в Крымских горах (А), а также в северной части Крымского полуострова (Б) с очень засушливым климатом. Здесь B_K и $B_{KП}$ оказываются ниже 120 баллов и 2,18. А ΣT_c выше 10°C , Md и K_p колеблются в пределах $2000 - 3300^\circ\text{C}$, $0,20 - 0,70$ и $0,62 - 0,90$.

Средняя биологическая продуктивность климата характерна для северо-восточной и центральной части территории Крыма (мезорайон 2). Здесь B_K и $B_{KП}$ составляет $120 - 130$ баллов и $2,18 - 2,35$, а ΣT_c выше 10°C колеблются в пределах $3250 - 3400^\circ\text{C}$. Показатель увлажнения (Md) составляет $0,22 - 0,29$, а коэффициент роста не превышает $0,65 - 0,74$.

Повышенная продуктивность климата характерна для центральной и южной части Крымского полуострова. Здесь суммы температур воздуха находятся в пределах $3300 - 3500^\circ\text{C}$. Показатель увлажнения не превышает $0,25 - 0,31$, а коэффициент роста (K_p) составляет $0,70 - 0,79$. Биоклиматический потенциал в баллах и относительных величинах увеличивается до $130 - 140$ баллов и $2,35 - 2,55$.

Умеренно-высокая биологическая продуктивность имеет место на южном побережье Черного и Азовского морей, в особенности на Южном берегу Крыма с субтропическим климатом (мезорайон 4). Здесь ΣT_c выше 10°C колеблется в пределах $3500 - 3900^\circ\text{C}$. Показатель увлажнения не превышает $0,26 - 0,34$, а коэффициент роста составляет $0,75 - 0,88$. Биоклиматический потенциал возрастает до $140 - 150$ баллов и $2,54 - 2,70$ и более. В этом районе может возделываться самый большой набор однолетних и многолетних культур, в особенности теплолюбивых с длинным вегетационным периодом.

На территории Украины более 60% сельскохозяйственных угодий расположены на склоновых землях. Поэтому выполнена оценка микроклиматической изменчивости биоклиматического потенциала на северных и южных склонах крутизной $5, 10, 15, 20^\circ$. Расчеты выполнены по формулам 6.11 – 6.12 применительно к двум регионам – Львовской области и Автономной республики Крым.

Предварительно были определены суммы суммарной радиации за теплый период с ΣT_c выше 10°C для различных склонов ($\Sigma \bar{Q}_c$) и ровного

места ($\Sigma \bar{Q}$), а также переходные коэффициенты (\bar{K}_Q). Установлено, что южные склоны значительно теплее, а северные склоны – холоднее открытого ровного места. Например, во Львовской области на южные склоны крутизной 10, 20° поступает солнечное тепло в пределах 2606 – 2792 МДж/м² и 2663 – 2858 МДж/м² (ст. Львов и Стрый). А на северных склонах крутизной 10, 20° $\Sigma \bar{Q}$ не превышает 2359 – 2528 МДж/м² и 2178 – 2316 МДж/м². На юге в Крыму приход $\Sigma \bar{Q}_c$ и $\Sigma \bar{Q}$ значительно увеличивается. Суммарная радиация на южных склонах крутизной 10, 20° составляет соответственно 3625 – 4038 МДж/м² и 3730 – 4198 МДж/м² (ст. Армянск, Никитский сад). На северных склонах имеет место недобор солнечного тепла и $\Sigma \bar{Q}_c$ при той же крутизне склонов не превышают здесь 3150 – 3338 МДж/м² и 2820 – 2908 МДж/м². Диапазон микроклиматических различий в $\Sigma \bar{Q}_c$ на склонах крутизной 10 и 20° составил во Львовской области 247 и 485 МДж/м², а на Южном берегу Крыма 700 – 1290 МДж/м².

На основе использования осредненных переходных коэффициентов (\bar{K}_Q) выполнены расчеты B_{kc} для различных склонов при естественном увлажнении. Неполные данные расчетов представлены в табл. 6.10. Наглядно видно, что биоклиматический потенциал оказался существенно выше на южных склонах и ниже на северных по сравнению с равнинными землями.

Например, на севере Львовской области (ст. Рава-Руская) при умеренно-высокой продуктивности климата в условиях ровного места с B_k равным 146 баллам на северных склонах крутизной 10 и 20° имеет место средняя и повышенная продуктивность климата с B_{kc} 127 и 136 баллов, а на южных склонах – высокая с B_{kc} 152 – 155 баллов.

В северной части Крымского полуострова (ст. Ишунь, Армянск) имеет место средняя продуктивность климата на равнинных землях. А на северных склонах крутизной 10 и 20° наблюдается низкая и очень низкая продуктивность климата с B_{kc} в пределах 104 – 109 баллов и 93 – 96 баллов. В то же время на южных склонах крутизной 10 и 20° имеет место средняя биологическая продуктивность климата с B_{kc} в пределах 120 – 127 баллов и повышенная с B_{kc} в 130 – 132 балла.

На юге Крыма (ст. Никитский сад) на равнинных землях имеет место высокая биологическая продуктивность климата с B_k равным 155 баллам. На северных склонах крутизной 10 и 20° имеет место повышенная (B_{kc} составляет 138 баллов) и пониженная продуктивность климата (B_{kc} около 119 баллов). В то же время на южных склонах той же крутизны имеет место высокая (B_{kc} более 160 баллов) и очень высокая продуктивность климата (B_{kc} составляет 172 балла).

Таблица 6.10. Микроклиматическая изменчивость биоклиматического потенциала (B_{kc} , баллы) на различных склонах при естественном увлажнении по сравнению с открытым ровным местом в Украине

Макрорайон, станция	Северный склон, λ				РМ	Южный склон, λ			
	20	15	10	5		5	10	15	20
а) Львовская область									
6. Самбор	130	134	140	145	149	152	155	156	158
6. Дрогобыч	128	134	138	143	147	150	153	154	156
7. Рава – Русская	127	131	136	142	146	149	152	153	155
7. Броды	134	140	145	149	154	157	160	163	166
7. Яворов	130	136	140	145	149	152	155	156	158
7. Львов	132	138	143	147	152	155	158	160	161
7. Мостиска	132	139	145	149	154	157	160	160	160
б) Автономная республика Крым									
1Б. Армянск	92,7	98,3	104	108	113	116	119	120	122
Ишунь	96	102	109	114	120	124	127	130	122
2. Стерегущий	106	112	120	125	132	136	140	143	145
Воронки	99	105	113	118	124	128	132	134	136
3. Джанкой	108	115	123	128	135	139	143	146	149
Нижнегорск	110	117	126	131	138	142	146	149	152
4. Севастополь	99	107	115	121	129	133	137	141	143
Никитский сад	119	120	138	146	155	160	164	169	172

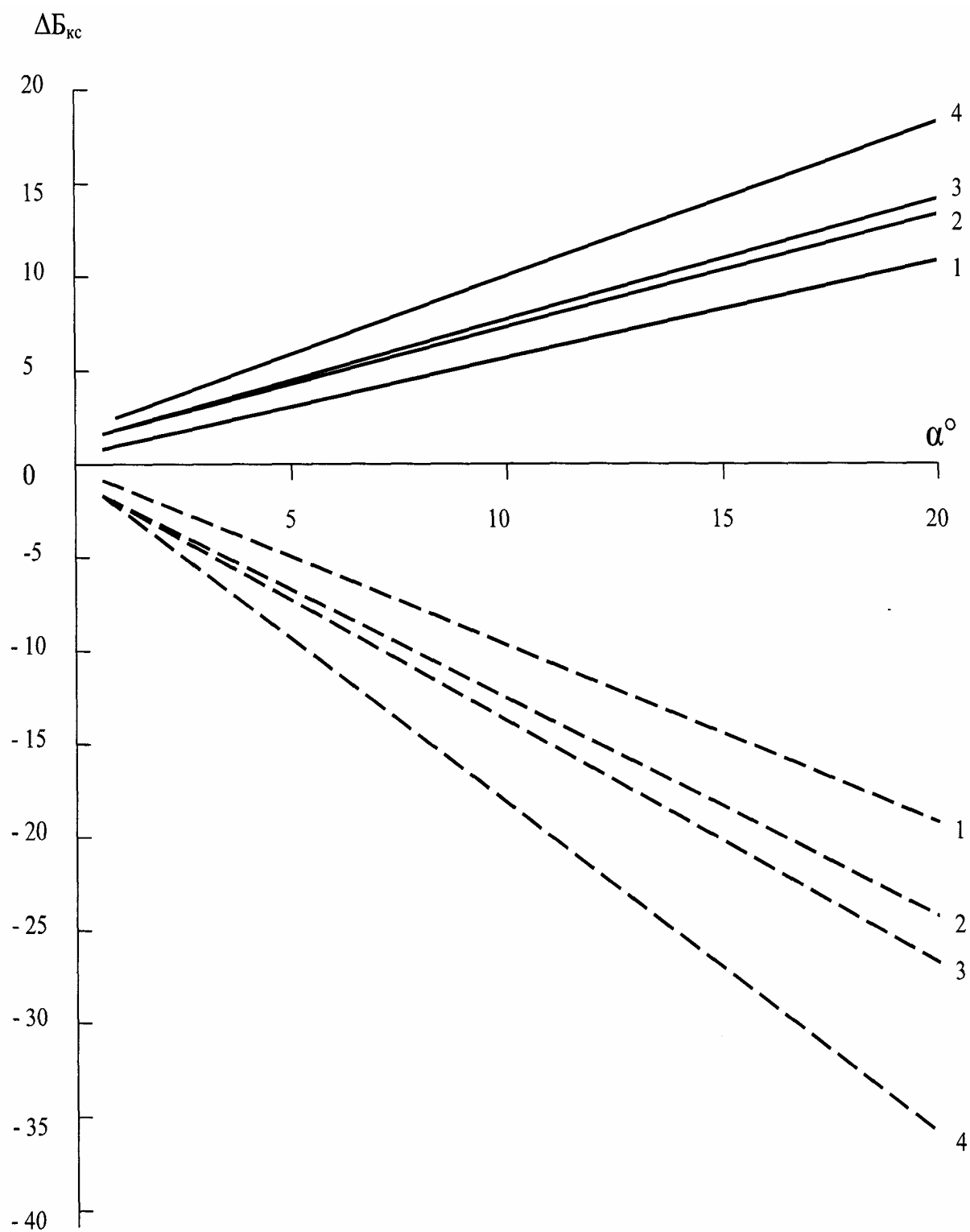


Рис. 6.7. Микроклиматическая изменчивость $B_{кc}$ (баллы) на северных и южных склонах относительно ровного места на территории Крымского полуострова (1 – ст. Армянск, 2 – Воронки, 3 – Нижнегорск, 4 - Никитский сад)

На рис.6.7 представлены отклонения биоклиматического потенциала на склонах ($B_{\kappa\sigma}$) по сравнению с B_{κ} на равнинных землях Крыма в виде разности

$$\Delta B_{\kappa\sigma} = (B_{\kappa\sigma} - B_{\kappa}) \quad (6.24)$$

Наглядно видно, что $B_{\kappa\sigma}$ на южных склонах, крутизной 5 – 20° оказался выше, а на северных склонах той же крутизны существенно ниже.

Из анализа табл. 6.10 и рис. 6.7 можно сделать заключение, что диапазон микроклиматических различий в биоклиматическом потенциале за счет экспозиции и крутизны склонов значителен и составляет в северо-западном регионе 25 – 30 баллов, а на юге Украины 40 – 50 баллов. Отсюда следует вывод, что варьирование $B_{\kappa\sigma}$ под влиянием микроклимата различных склонов на малых площадях сравнимо с зональной изменчивостью биоклиматического потенциала на значительной территории Украины.

Для оценки микроклиматической изменчивости биоклиматического потенциала при естественном увлажнении на ограниченных территориях с большой пестротой почв, различающихся по механическому составу, на первом этапе дана общая оценка биологической продуктивности климата на примере территорий Киевской и Запорожской областей. Данные области расположенных в разных агроклиматических зонах Украины (табл. 6.11). Анализируя таблицу, видим, что в естественных условиях климата, начиная с северных районов Киевской области (ст. Чернобыль, Полесское, Тетерев) и до центра территории (ст. Немешаево, Киев) наблюдается плавное увеличение биоклиматической продуктивности, при этом $B_{\kappa\Pi}$ и B_{κ} меняется соответственно в пределах 2,36-2,62 и 129-144 баллах. На ст. Киев наблюдается умеренно-высокой продуктивности климата, здесь $B_{\kappa\Pi}$ и B_{κ} достигает максимума - 2,62 и 144 балла, а ΣT_c выше 10 °С, Md и K_p колеблются в пределах 2695 °С, 0,47 и 0,95. В восточной части области (ст. Борисполь, Яготин) имеет место значительное снижение $B_{\kappa\Pi}$ по сравнению с центральными районами. Здесь $B_{\kappa\Pi}$ и B_{κ} изменяется в пределах 2,43-2,42 и 133 баллов, что соответствует повышенной биологической продуктивности климата. С продвижением на юг области (ст. Фастов, Белая Церковь, Старченко) сохраняется повышенная продуктивность климата, здесь $B_{\kappa\Pi}$ и B_{κ} равны 2,4 и 132 балла, а ΣT_c выше 10 °С, Md и K_p колеблются в пределах 2560 – 2699 °С, 0,39 – 0,43 и 0,89 – 0,93.

Для Запорожской области при условии естественного увлажнения наблюдается плавное увеличение $B_{\kappa\Pi}$ и B_{κ} с запада на восток от 2,17 до 2,36 и от 119 до 129 баллов соответственно. В северных районах области (ст. Запорожье, Гуляй-Поле, Кирилловка) имеет место средняя биологическая продуктивность климата. Здесь B_{κ} колеблется в пределах 124 -128

Таблица 6.11. Агроклиматическая оценка БКП при естественном увлажнении в районах Киевской и Запорожской областей

Станция	ΣR , мм	Σd за год, мм	$\Sigma T_c > 10^\circ C$	Md за год	K_p	БКП	Бк
Киевская область							
Чернобыль	589	1387	2550	0,42	0,92	2,36	129
Полесское	607	1314	2455	0,46	0,96	2,37	130
Тетерев	661	1387	2440	0,48	0,98	2,40	131
Немешаево	656	1314	2485	0,50	1,00	2,49	136
Киев	685	1533	2695	0,47	0,95	2,62	144
Борисполь	600	1424	2625	0,42	0,92	2,43	133
Яготын	620	1460	2620	0,42	0,92	2,42	133
Фастов	618	1424	2560	0,43	0,93	2,39	131
Б. Церковь	579	1424	2640	0,41	0,91	2,41	132
Старченко	551	1424	2699	0,39	0,89	2,40	132
Запорожская область							
Запорожье	515	2044	3215	0,25	0,69	2,25	124
Гуляй-Поле	555	1934	3030	0,29	0,76	2,31	127
Кирилловка	540	1715	2940	0,31	0,79	2,33	128
Пришиб	497	2044	3180	0,24	0,68	2,17	119
Мелитополь	487	2044	3325	0,24	0,68	2,27	124
Ботево	467	1788	3295	0,26	0,71	2,36	129

баллов, а ΣT_c выше $10^\circ C$, Md и K_p соответственно 2940-3215 $^\circ C$, 0,25-0,31 и 0,69 – 0,79. На станции Пришиб наблюдается очень низкое значение биоклиматического потенциала, равное 2,17 и 119 баллов при ΣT_c выше $10^\circ C$, Md и K_p соответственно 3180 $^\circ C$, 0,24 и 0,68, что свидетельствует о пониженной биопродуктивности климата. В южном очень теплом и засушливом агроклиматическом районе области (ст. Ботево) ΣT_c выше $10^\circ C$ равны 3295 $^\circ C$, а Md и K_p не превышают 0,26 и 0,71. Как следствие, здесь имеет место средняя биологическая продуктивность климата (БКП и B_k равны соответственно 2,36 и 129 баллов).

На рост и развитие растений влияет не только температура воздуха, но и почвы. Тепловой режим почвы зависит от ее механического состава. Поэтому представляет научный интерес также оценка микроклиматической изменчивости биоклиматического потенциала на почвах разного механического состава.

Расчеты выполнены по формулам 6.14 – 6.15. Для количественной оценки микроклиматической изменчивости тепловых ресурсов почвы на глубине 10 см с учетом разного механического состава данные станций были сгруппированы по механическому составу в виде отклонений ($\Delta\Sigma T_{\text{пм}}$) от изолиний на карте, построенной З.А. Мищенко и Н.В. Кирнасовской [77] для среднесуглинистых почв применительно к территории Украины. Значения отклонений определялись по формуле

$$\Delta\Sigma T_{\text{пм}} = (\Sigma T_{\text{пм}} - \Sigma \bar{T}_{\text{п}}), \quad (6.25)$$

где $\Sigma T_{\text{пм}}$ - сумма температур почвы разного механического состава; $\Sigma \bar{T}_{\text{п}}$ - фоновая сумма температур почвы выше 10 °С на глубине 10 см для среднесуглинистой почвы.

Установлено, что в условиях Киевской области почвы песчаные, преобладающие на севере области, оказались теплее среднесуглинистых на 215-315 °С; супесчаные почвы, преобладающие в центральных районах области – соответственно на 188-252 °С; в южной части легкосуглинистые почвы теплее среднесуглинистых на 100-158 °С. В условиях Запорожской области сохраняется аналогичная закономерность: легкосуглинистые почвы, преобладающие на северо-востоке области теплее среднесуглинистых почв на 80-182 °С; на юге области супесчаные почвы теплее среднесуглинистых на 80-144 °С.

Далее для пересчета $B_{\text{КП}}$ и $B_{\text{К}}$ на почвы разного механического состава определен переходный коэффициент $K_{\text{п}}$ по формуле 6.13. Установлено, что для территории Киевской области он меняется на легкосуглинистых почвах от 1,01 до 1,07; на супесчаных увеличивается от 1,07 до 1,09; на песчаных почвах значение $K_{\text{п}}$ возрастает до 1,08-1,12. В условиях Запорожской области на среднесуглинистых почвах переходный коэффициент равен 1,0; на легкосуглинистых меняется в пределах от 0,95 до 1,02, а на супесчаных почвах увеличивается до 1,04.

На основе общей агроклиматической оценки изменения биоклиматического потенциала в Киевской и Запорожской областях, а также полученных данных по микроклиматической изменчивости тепловых ресурсов почв разного механического состава, нами выполнена сравнительная микроклиматическая оценка биоклиматического потенциала для рассматриваемых областей (рис.6.8 - 6.9). Установлено, что на севере Киевской области (рис. 6.8) в условиях естественного увлажнения на песчаных почвах наблюдается увеличение $B_{\text{КП}}$ на 11 – 16 баллов в сравнении со среднесуглинистыми почвами. Соответственно здесь имеет место умеренно-высокая биологическая продуктивность климата. На супесчаных почвах, преобладающих в центральных районах области, значение $B_{\text{КП}}$ также уве-

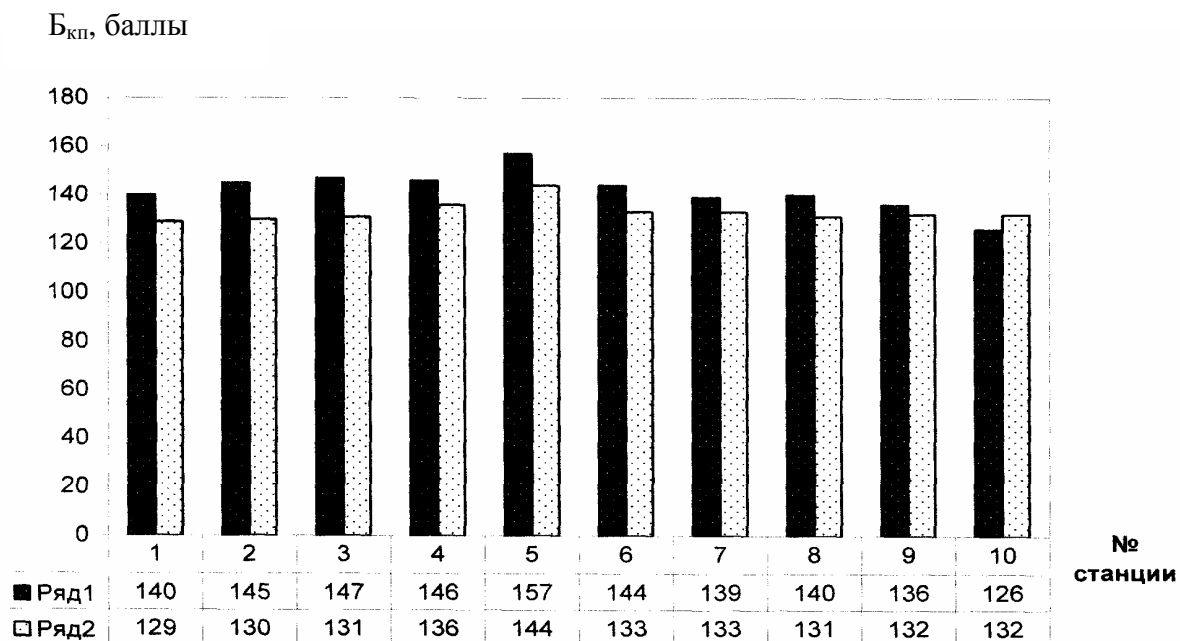


Рис. 6.8. Сравнительная оценка $B_{кп}$ (баллы) в естественных условиях на почвах разного механического состава в условиях Киевской области (ряд 1 – песчаные, супесчаные, легкосуглинистые; ряд 2 – среднесуглинистые): 1 – ст. Чернобыль; 2 – Полесское; 3 – Тетерев; 4 – Немешаево; 5 – Киев; 6 – Борисполь; 7 – Яготын; 8 – Фастов; 9 – Белая Церковь; 10 – Старченко)

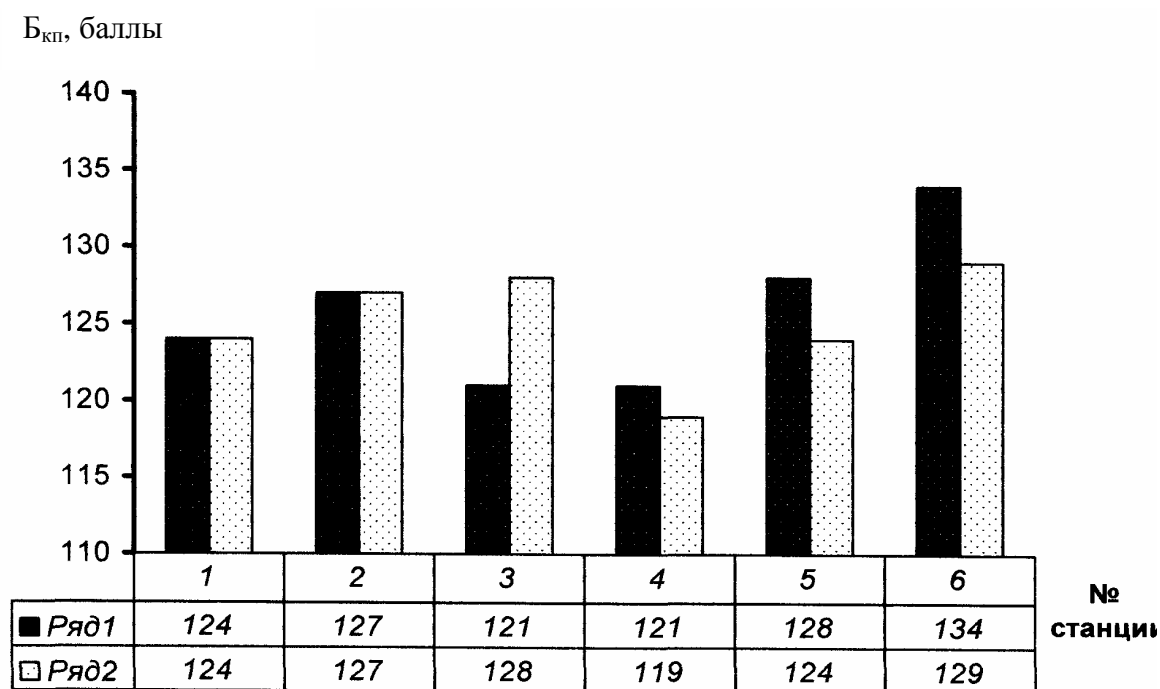


Рис. 6.9. - Сравнительная оценка $B_{кп}$ (баллы) в естественных условиях на почвах разного механического состава в условиях Запорожской области (ряд 1 – супесчаные, легкосуглинистые; ряд 2 – среднесуглинистые): 1 – ст. Запорожье; 2 – Гуляй-Поле; 3 – Кирилловка; 4 – Пришиб; 5 – Мелитополь; 6 – Ботево

личивается до 144 – 157 баллов, что на 11 – 13 баллов больше, чем на среднесуглинистой почве. При этом биологическая продуктивность климата возрастает до умеренно-высокой и высокой. На юге, на легкосуглинистых почвах $B_{кп}$ возрастает на 4 – 9 баллов, здесь имеет место повышенная биологическая продуктивность климата.

На территории Запорожской области в условиях естественного увлажнения наблюдается незначительное увеличение $B_{кп}$ в сравнении со средним суглинком. Так, на легкосуглинистых почвах, преобладающих на северо-востоке области, $B_{кп}$ увеличивается на 2 – 4 балла, а на юге, где имеют место супесчаные почвы на 4 – 5 баллов. Здесь сохраняется средняя биологическая продуктивность климата.

Полученные результаты следует рассматривать как предварительные. Но они являются основой для более углублённых исследований микроклиматической изменчивости биоклиматического потенциала с охватом основных почв разного механического состава (от песчаных до тяжелосуглинистых и глинистых) на территории Украины.

7. АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И РАЙОНИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОРОЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ЗИМУЮЩИХ КУЛЬТУР В УКРАИНЕ

7.1. Методы расчетов показателей морозоопасности зимой и их биоклиматическая роль

В холодное время года значительное влияние на характер и интенсивность процессов, происходящих в органической и неорганической природе оказывают зимние температуры наружного воздуха – средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха (\bar{T}_m) и почвы (\bar{T}_{mn}), температура самого холодного месяца (T_x), температура самой холодной пятидневки (T_n) и др. Основной вклад в их абсолютные значения вносят ночные минимальные температуры воздуха, которые характеризуются высокой чувствительностью к микроклимату. Именно они выступают как лимитирующий фактор климата по условиям морозоопасности при размещении зимующих культур (субтропические, плодово-ягодные, эфиромасличные, виноград и отчасти озимые травянистые культуры).

Урожай винограда в большой степени зависит от условий перезимовки. Частые повреждения и даже гибель неукрывных виноградников в суровые зимы являются главным препятствием для расширения их площадей на территории СНГ, в том числе в Украине. Урожай ягод винограда в морозоопасные годы снижается и может составлять половину от запланированного.

Урожай озимых зерновых культур также существенно зависит от условий перезимовки. Даже в благоприятных по зональной оценке районах имеют место повреждения и гибель озимых травянистых культур от вымерзания (Молдова, Краснодарский и Ставропольский край России, центральные и южные районы Украины). В отдельные годы при отрицательных аномалиях T_x и возрастании отрицательных сумм температур воздуха ниже 0°C ($\Sigma T_c < 0^\circ\text{C}$) наблюдается резкое снижение урожая озимой пшеницы и озимого ячменя вплоть до гибели этих культур на значительных площадях.

Поэтому при агроклиматическом районировании территории отдельной страны, а также в агрометеорологических прогнозах и оценках учитываются условия перезимовки. Агроклиматические показатели, применяемые при этом отличаются большим разнообразием. Помимо вышеуказанных показателей используются и такие показатели, как средний из абсолютных годовых минимумов температуры почвы на разных глубинах (\bar{T}_{mn}), суммы отрицательных температур воздуха ниже -5 , -10 , -15°C , высота снежного покрова (H), глубина промерзания почвы (h).

Обязательным условием при агрометеорологической оценке перезимовки зимующих культур является учет их морозоопасности (т.е. устойчивости растений к низким отрицательным температурам в зимний период). При вымерзании растения гибнут или повреждаются не под действием низкого среднего уровня температуры, а под действием ночью минимальной температуры ниже критической. Следовательно, о возможности повреждения культур можно судить по абсолютному минимуму температур воздуха или почвы. Но применять эти характеристики для сравнительной оценки условий морозоопасности той или иной культуры затруднительно. Поэтому для этой цели используется средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха или почвы, впервые введенные Г.Т. Селяниновым [93].

На основании \bar{T}_m и \bar{T}_{mn} можно судить о вероятности абсолютных минимальных температур, т.е. о повторяемости критических температур вымерзания растений ниже любых пределов. В ряде исследований показана возможность использования \bar{T}_m для сельскохозяйственной оценки климата при агроклиматическом районировании винограда (с определением северной границы укрывного и неукрывного виноградарства), а также субтропических и эфиромасличных культур.

Показателем успешности возделывания плодово-ягодных культур может быть процент занятой ими площади по отношению ко всей посевной площади в конкретном регионе. С.А. Сапожникова и Д.А. Бринкен установили зависимость между средним из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха и процентом площадей под плодово-ягодными насаждениями по отдельным областям территории СНГ. Эта связь выражается экспоненциальной кривой, описываемой формулой:

$$\lg S_n = 6,74 - 3,8 \lg \bar{T}_m, \quad (7.1)$$

где S_n – процент площади под плодово-ягодными насаждениями.

Средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха также используется для определения среднего из абсолютных годовых минимумов температуры почвы на глубине 3 см (узла кущения озимых зерновых культур). Например, В.А. Моисейчик предложила несколько эмпирических формул для расчета \bar{T}_{mn} на глубине узла кущения озимых культур по минимальной температуре воздуха в ареале их возделывания. Уравнения для снежного покрова высотой 10, 20 см имеют следующий вид:

$$\bar{T}_{mn} = 0,25 \bar{T}_m - 0,06H + 0,48, \quad (7.2)$$

$$\bar{T}_{mn} = 0,12 \bar{T}_m - 0,05H + 1,56. \quad (7.3)$$

Комплексный агроклиматический показатель условий перезимовки районированных на территории СНГ сортов озимых зерновых культур, предложенный В.А. Моисейчик, определяется по формулам:

1) для лесной и лесостепной зон

$$\bar{K}_n = 0,4934 \frac{\bar{T}_m}{T_{кр}} + 1,4181 \frac{\bar{H}}{\bar{n}} - 0,7015, \quad (7.4)$$

2) для степной зоны

$$\bar{K}_n = 0,4844 \frac{\bar{T}_m}{T_{кр}} + 1,3081 \frac{\bar{H}}{\bar{n}} - 0,6074. \quad (7.5)$$

где \bar{K}_n - комплексный показатель перезимовки; \bar{T}_m - средний из абсолютных годовых минимумов температуры почвы на глубине узла кущения; $T_{кр}$ - критическая температура вымерзания, возделываемых сортов озимых культур на территории области; \bar{H} - максимальная глубина промерзания почвы; \bar{n} - средняя продолжительность холодного периода со снежным покровом. Установлена также зависимость между \bar{K}_n и фактической площадью с погибшими посевами.

Из анализа литературных источников можно сделать заключение о ведущей роли среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха в оценке степени морозоопасности для зимующих культур. Поэтому представляют интерес научно-методические разработки по установлению количественных связей \bar{T}_m с другими термическими характеристиками холодного времени года для последующего комплексного районирования условий морозоопасности на территории Украины.

В целях уплотнения климатологической информации З.А. Мищенко [8] установила прямолинейные зависимости между \bar{T}_m и T_x , \bar{T}_m и T_n для территории СНГ и получила следующие уравнения регрессии:

$$T_x = 1,01\bar{T}_m - 2,9, \quad (7.6)$$

$$T_n = 0,89\bar{T}_m - 0,4. \quad (7.7)$$

Коэффициент корреляции (r) связей \bar{T}_m и T_x и \bar{T}_m и T_n оказались весьма высокими и составили 0,96 и 0,94.

Позднее аналогичные разработки были выполнены автором совместно со С.В. Ляховой применительно к территории Украины. Для этой цели использовались средние многолетние данные 200 метеорологических стан-

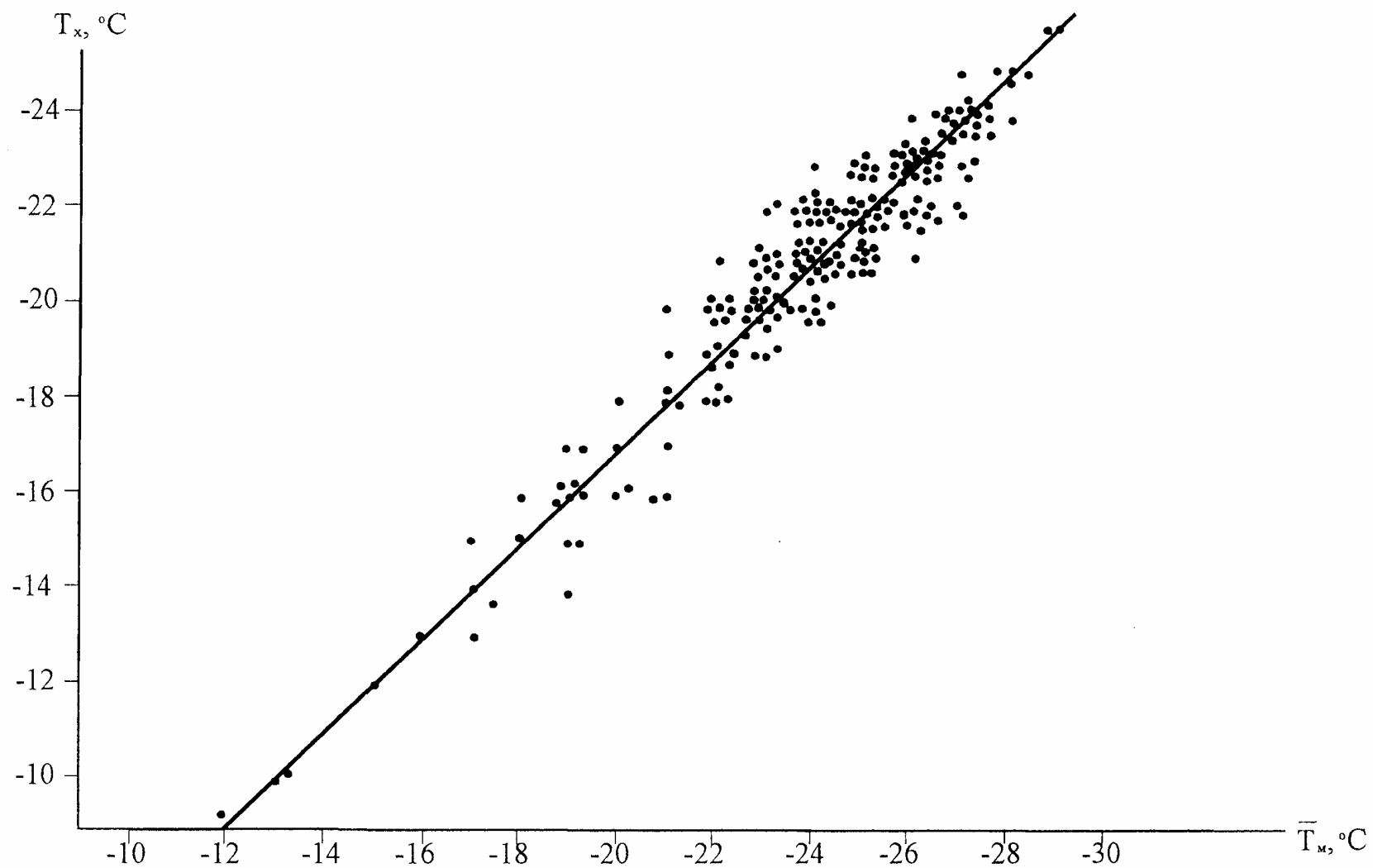


Рис. 7.1. Зависимость между средним из абсолютных годовых минимумов температур воздуха (\bar{T}_m) и температурой самого холодного месяца (T_x)

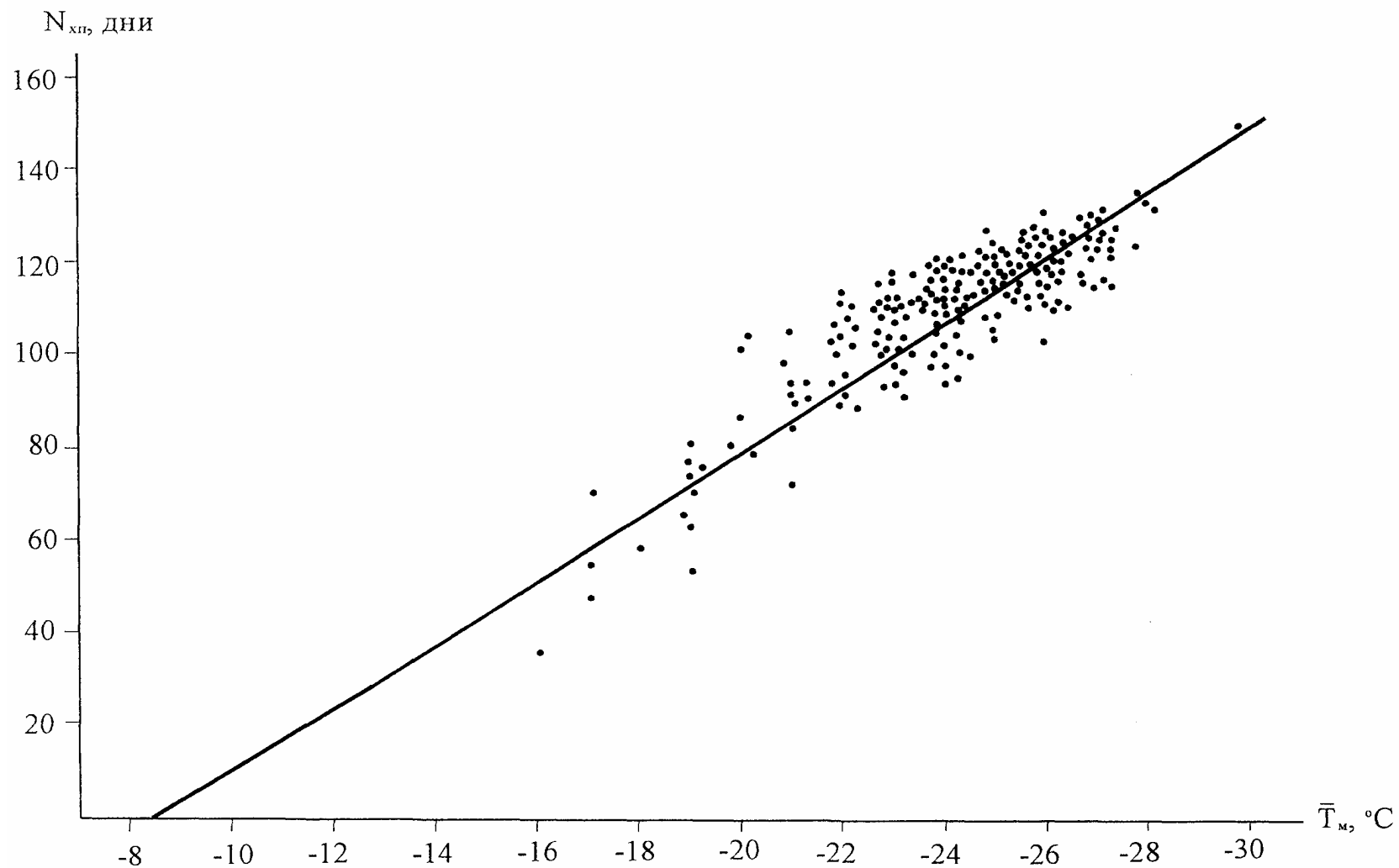


Рис.7.2. Зависимость между средними из абсолютных годовых минимумов температур воздуха (\bar{T}_m) и продолжительностью холодного периода ($N_{хп}$) со средней суточной температурой воздуха ниже 0°C

ций по \bar{T}_m , T_x , D_o , D_e (даты перехода температуры воздуха осенью и весной через 0 °C) из "Справочника по климату СССР". По этим датам определены значения холодного периода (N_{xn}). Суммы температур воздуха за период с T_c ниже 0 °C определялись для каждой станции путем графического построения годового хода температуры воздуха за осенне – зимний период.

Установлено, что взаимосвязь между различными показателями условий морозоопасности носит прямолинейный характер (рис. 7.1, 7.2). По методу наименьших квадратов рассчитаны аналитические уравнения и статистические параметры к ним. Они имеют следующий вид:

$$T_x = 0,98\bar{T}_m - 2,72 \quad r = 0,95 \quad \bar{S}_y = \pm 0,65 \quad (7.8)$$

$$N_{xn} = -6,81\bar{T}_m - 55,2 \quad r = 0,91 \quad \bar{S}_y = \pm 10,48 \quad (7.9)$$

$$\Sigma T_c < 0^\circ C = 44,5\bar{T}_m - 624,6 \quad r = 0,83 \quad \bar{S}_y = \pm 99,20 \quad (7.10)$$

$$\bar{T}_{mn} = 0,75\bar{T}_m - 0,55 \quad r = 0,91 \quad \bar{S}_y = \pm 0,30 \quad (7.11)$$

где \bar{T}_{mn} - средний из абсолютных годовых минимумов температуры почвы на глубине 20 см.

Наглядно видно, что коэффициенты корреляции (r) связей между \bar{T}_m и T_x , \bar{T}_m и N_{xn} , \bar{T}_m с $\Sigma T_c < 0^\circ C$, \bar{T}_m и \bar{T}_{mn} остаются весьма высокими и составляют соответственно 0,83 – 0,95. Средние квадратические ошибки коэффициентов корреляции (σ_r) и вероятные ошибки (ε_r) малы. Статистические параметры с большой надежностью отображают искомые связи зимних характеристик климата. Поэтому они могут быть использованы для уплотнения агроклиматической информации при комплексном районировании условий морозоопасности для винограда и сопутствующих культур на территории.

7.2. Комплексное районирование показателей морозоопасности на территории Украины с учетом микроклимата

До последнего времени картирование основных показателей морозоопасности для оценки условий перезимовки многолетних культур, в том числе винограда осуществлялось в мелком масштабе (1: 4 000 000 до 25 000 000 и мельче). В большинстве случаев составлялись отдельные карты распределения среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха (\bar{T}_m), средней температуры воздуха самого холодного месяца (\bar{T}_x), продолжительности холодного периода с температурой воздуха ниже 0 °C (N_{xn}) для континентов мира и территории СНГ [1, 2, 3, 4, 56, 110].

Например, в "Агроклиматическом атласе Мира" [1] представлены серии карт распределения \bar{T}_m , \bar{T}_x и N_{xn} на континентах и в СНГ в масштабе 1:25 000 000. Эти же показатели морозоопасности представлены в виде отдельных климатических карт в "Агроклиматическом атласе Украины" [3] в рабочем масштабе 1: 4 000 000. Аналогичные климатические карты представлены в "Агроклиматическом атласе Болгарии" [2] для оценки условий вымерзания корневой системы плодовых культур и винограда.

Позднее З.А. Мищенко [63, 114] построила более детальную климатическую карту распределения \bar{T}_m на территории бывшего СССР. Фоновая карта составлена для условий открытого ровного места на равнинных землях и для средних частей склонов в горах. К основной карте прилагается карта-схема мезо- и микроклиматической изменчивости \bar{T}_m и T_x в холмистом и горном рельефе в зависимости от базисов эрозии (ΔH_m) и степени континентальности климата.

Рассмотренные материалы по картографированию зимних термических характеристик в мелком масштабе представляют несомненный научный и практический материал, но дают весьма схематическое распределение этих показателей по территории. Это затрудняет их практическое использование для оценки условий морозоопасности в конкретной местности. Кроме того, эти показатели не увязаны с другими зимними характеристиками климата.

В данной работе ставится задача осуществить комплексное агроклиматическое районирование условий морозоопасности для перезимовки винограда на территории Украины в более крупном масштабе, максимально приближенному к среднему (1:1000000) с учётом микроклимата. Поскольку зимние термические характеристики отличаются большой микроклиматической изменчивостью на малых площадях, картирование их с применением классического метода не эффективно. Поэтому при картировании применена методика составления фоновых климатических и агроклиматических карт [21, 56, 63].

Карта составлена для условий открытого ровного места на равнинных землях и средних частей склонов в Карпатских и Крымских горах. А далее для каждого макрорайона, выделенного на агроклиматической карте, определены значения средней температуры самого холодного месяца (\bar{T}_x), продолжительности холодного периода с температурой воздуха ниже 0 °C (N_{xn}), сумм отрицательных температур воздуха ниже 0 °C, среднего из абсолютных годовых минимумов температуры почвы на глубине 20 см (\bar{T}_{mn}) по формулам 7.8 – 7.11. Такой прием позволил избежать трудоемких работ по составлению отдель-

ных карт для каждого показателя климата, т.е. уплотнить агроклиматическую информацию и представить ее в компактном виде на одной карте комплексного районирования.

На агроклиматической карте выделено восемь районов, значительно различающихся по условиям морозоопасности для зимующих культур (рис. 7.3). К карте прилагается легенда с количественной оценкой каждого макрорайона по шести показателям для средних многолетних условий - \bar{T}_m , T'_m , \bar{T}_x , N_{xn} , $\Sigma T_c < 0^\circ \text{C}$ и \bar{T}_{mn} (табл. 7.10). Наиболее суровые условия перезимовки культур имеют место на северо-востоке страны (макрорайон 1), где \bar{T}_m , N_{xn} и $\Sigma T_c < 0^\circ \text{C}$ составляют соответственно -28°C , 135 дней и -650°C .

В макрорайоне 5, охватывающем северо-запад и центральную часть страны \bar{T}_m , N_{xn} и $\Sigma T_c < 0^\circ \text{C}$ оказываются равными -22 , -20°C , 95 – 80 дням и -350 , -265°C . Зима здесь умеренно-мягкая. Наиболее благоприятные условия для перезимовки винограда и других сопутствующих культур складываются на юге в 7-ом и 8-ом макрорайонах, находящихся под обогревающим влиянием Черного моря. Здесь минимальные температуры воздуха, продолжительность холодного периода и суммы отрицательных температур воздуха ниже 0°C оказываются наименьшими и не превышают в соответствующих макрорайонах 7 и 8: -18 , -16°C и -16 , -14°C ; 65-55 и 55 – 35 дней; -175 , -85°C и -85 , -20°C .

Однако зонально-меридиональный ход изолиний среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха нарушается под влиянием гор в Восточных Карпатах и в Крыму. Не вдаваясь в детали, можно сказать, что зимой нормальное падение температуры с высотой наблюдается начиная с уровня 0,5-1,0 км в зависимости от характера горной системы, экспозиции хребтов, а также степени удалённости от моря. Из-за недостатка или отсутствия данных наблюдений в этих горных регионах изолинии проведены расчётным путём с помощью осреднённого вертикального градиента \bar{T}_m равного $(-0,6)^\circ \text{C}$ [56, 59].

Значительная часть территории Украины имеет изрезанный слабо-всхолмленный и холмистый рельеф, который в отличие от горного характеризуется меньшими относительными разностями высот между верхней и нижней точкой (не более 50-150 м). В этих условиях влияние высоты над уровнем моря полностью перекрывается формами рельефа. Ведущими факторами, определяющими при ясной и тихой погоде морозоопасность отдельных участков в сложном рельефе, являются условия радиационного выхолаживания ночью, сопровождающегося склоновыми ветрами, посредством которых осуществляется приток и сток холодного воздуха по

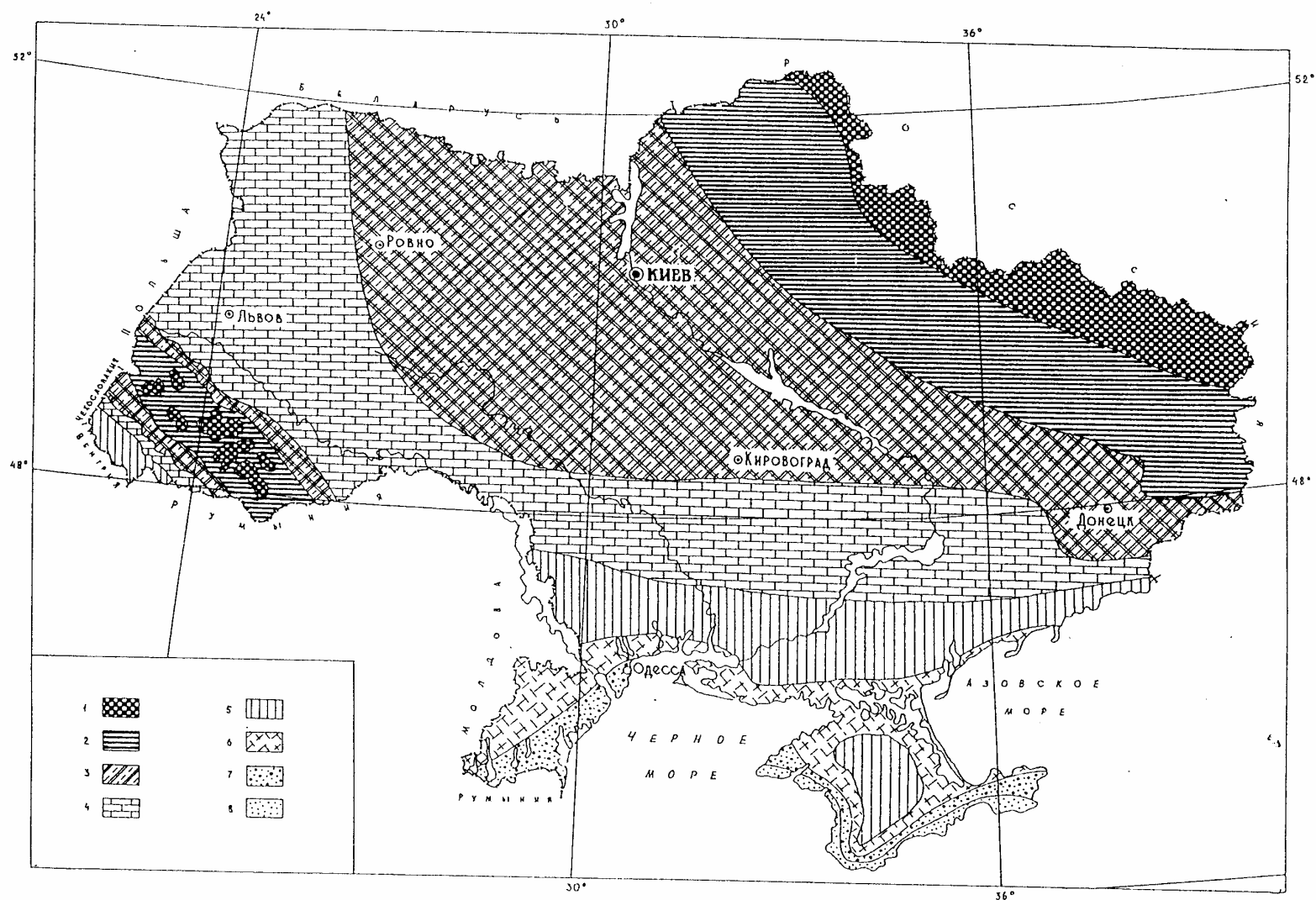


Рис. 7.3. Комплексное агроклиматическое районирование условий морозоопасности для зимующих культур на территории Украины. Макрорайоны 1 – 8 (см. табл. 7.1)

**Таблица 7.1. Агроклиматическая оценка показателей морозоопасности зимой
в различных макрорайонах Украины**

Макрорайон, тип зимы	$\bar{T}_M, ^\circ\text{C}$	$T'_M, ^\circ\text{C}$	$\bar{T}_x, ^\circ\text{C}$	$N_{xn}, \text{дни}$	$\Sigma T_c < 0^\circ\text{C}$	$\bar{T}_{mn}, ^\circ\text{C}$
1. Умеренно суровая	≥ -28	≥ -34	≥ -25	≥ 135	≥ -650	$\geq -20,5$
2. очень холодная	-28, -26	-34, -32	-25, -23	135 – 120	-650, -530	-20,5, -19,0
3. Холодная	-26, -24	-32, -30	-23, -21	120 – 110	-530, -440	-19,0, -17,5
4. Умеренно холодная	-24, -22	-30, -28	-21, -19	110 – 95	-440, -350	-17,5, -16,0
5. Умеренно мягкая	-22, -20	-28, -26	-19, -17	95 – 80	-350, -265	-16,0, -14,5
6. Мягкая	-20, -18	-26, -24	-17, -15,5	80 – 65	-265, -175	-14,5, -13,0
7. Очень мягкая	-18, -16	-24, -22	-15,5, -13,5	65 – 55	-175, -85	-13,0, -11,5
8. Теплая	-16, -14	-22, -20	-13,5, -11,6	55 – 35	-85, -20	-11,5, -10,0

Примечание. T'_M - средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха с обеспеченностью в 10%

элементам рельефа, и площадь воздухообора.

Энергетический механизм формирования микроклимата холмистого и горного рельефа зимой находится в прямой зависимости от глубины расчленения рельефа по вертикали, т.е. от базисов эрозии (ΔH_m), а также от степени континентальности климата. Наименее морозоопасными являются вершины, верхние и средние части крутых защищенных склонов, с которых интенсивно стекает охлажденный воздух, последний заменяется более теплым воздухом из свободной атмосферы. Наиболее морозоопасны дно и нижние части узких, извилистых долин замкнутого типа с очень затрудненным стоком холодного воздуха вдоль долины и интенсивным подтоком его по склонам. В таких долинах, а также в замкнутых котловинах, образуются обширные и глубокие «озёра холода», захватывающие в ряде случаев не только нижние, но и средние части склонов.

З.А.Мищенко [56, 63] разработала типизацию ведущих форм холмистого и горного рельефа и выполнила схематическое районирование мезо- и микроклиматической изменчивости \bar{T}_m и T_x в зависимости от базисов эрозии (ΔH_m) и степени континентальности климата на территории СНГ. Применительно к Украине расчетная схема детализирована с учетом геоморфологических особенностей ее территории. Результаты этой работы представлены в табл.7.2. В ней содержатся микроклиматические параметры ($\Delta \bar{T}'_m$, $\Delta T'_x$), характеризующие отклонения значений \bar{T}'_m и T'_x в заданном макрорайоне с ведущими формами рельефа по сравнению со значениями \bar{T}_m и T_x для условий открытого ровного места. Зная фоновые значения \bar{T}_m и T_x для условий открытого ровного места в конкретной местности (они снимаются с карты на рис.7.3 или определяются по данным ближайшей метеостанции, репрезентативной для данного региона) можно легко определить их значения для разных местоположений в рельефе расчётным путём с помощью табл.7.2 по формулам вида

$$\bar{T}'_m = \bar{T}_m \pm \Delta T'_m, \quad (7.12)$$

$$T'_x = T_x \pm \Delta T'_x. \quad (7.13)$$

Основная территория Украины занята всхолмленным (ΔH менее 50 м) и холмистым рельефом ($\Delta H \approx 50-100$ м). В этих условиях (мезорайоны 1,2,3) вершины, водораздельные плато и верхние части склонов могут быть на 2,5 – 3,5 °С теплее, а замкнутые узкие долины на 3,5 – 4,5 °С холоднее открытого ровного места. Возможный диапазон микроклиматических различий в \bar{T}_m и T_x составляет 6 - 8 °С (табл. 7.2).

Таблица 7.2. Мезо- и микроклиматическая изменчивость среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха (\bar{T}_m) и температуры самого холодного месяца (T_x) зимой в сложном рельефе Украины

Мезорайон по базисам эрозии (ΔH , м)	Параметр, °С	Вершина, Верхняя часть скло- на	Середина склона	Широкая долина	Замкнутая долина, котловина	Разность вершина – котловина
1. Всклопленный рельеф ($\Delta H < 50$ м, уклоны 3-6°)	$\Delta \bar{T}'_m, \Delta T'_x$	2,5	1,0	- 1,5	-3,5	6,0
2. Слабохолмистый рельеф ($\Delta H \approx 50-100$ м, уклоны 6-8°)	$\Delta \bar{T}'_m, \Delta T'_x$	3,0	1,5	-2,0	-4,0	7,0
3. Холмистый рельеф ($\Delta H \approx 100-150$ м, уклоны 8-12°)	$\Delta \bar{T}'_m, \Delta T'_x$	3,5	2,0	-2,5	-4,5	8,0
4. Низкогорный рельеф ($\Delta H \approx 150-220$ м, уклоны 12-16°)	$\Delta \bar{T}'_m, \Delta T'_x$	4,0	>2,0	> -2,5	-5,0	9,0
5. Среднегорный рельеф ($\Delta H \approx 220-300$ м, уклоны 16-20°)	$\Delta \bar{T}'_m, \Delta T'_x$	4,5	2,5	-3,0	-5,5	10,0
6. Горы Восточных Карпат и Крыма ($\Delta H > 300$ м, уклоны 20- 30° и более)	$\Delta \bar{T}'_m, \Delta T'_x$	5,0	3,0	-3,5	-6,0	11,0

Примечание. Знак + означает повышение, а знак – понижение \bar{T}_m и T_x по сравнению с открытым ровным местом.

Наибольшие различия в зимних температурах воздуха наблюдаются в низкогорном и горном рельефе, основные площади которых сосредоточены в Восточных Карпатах и Крымских горах (мезорайоны 3, 4, 6). Здесь вершины, водораздельные плато и верхние части склонов, защищенные от холодных ветров, могут быть на 4-5 °С теплее, а замкнутые узкие долины и чашеобразные котловины, где образуются мощные «озёра холода», на 5-6 °С холоднее открытого ровного места. Диапазон различий в \bar{T}_m и T_x между выпуклыми и вогнутыми формами рельефа достигает 9-11 °С.

Следовательно, за счёт влияния микроклимата на границе каждого макрорайона с фоновыми значениями зимних показателей климата образуется буферная зона, захватывающая 150-200 км² по ту и другую сторону. Недооценка этого фактора при проектировании и закладке новых виноградников и садов приводит к систематическим повреждениям и даже гибели неукрывных виноградных плантаций в морозоопасные зимы на больших площадях. Однако для научного обоснования рационального размещения винограда и теплолюбивой группы плодовых культур необходимо располагать не только средними многолетними, но и вероятностными характеристиками зимних минимальных температур воздуха.

7.3. Вероятностная оценка и обеспеченность опасных морозов для перезимовки культурных растений

7.3.1. Оценка обеспеченности опасных морозов на территории Украины

Для научного обоснования рационального размещения винограда и теплолюбивой группы плодовых культур необходимо располагать не только средними многолетними, но и вероятностными характеристиками зимних минимальных температур воздуха и почвы. Они позволяют оценить возможность появления в отдельные годы опасных морозов (ниже критических температур вымерзания надземных и подземных частей растений), их повторяемость и вероятность повреждения зимующих культур. Мировой опыт показал, что экономически невыгодно возделывать, например, виноград и плодовые культуры в районах, где они вымерзают не более 2-х раз в 10 лет. Поэтому при размещении этих культур учитывается 10-20 % вероятность опасных морозов по среднему из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха [1, 25, 26, 99 и др.].

Для определения межгодовой изменчивости термического режима зимой по главному показателю – среднему из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха использованы данные "Справочника по климату СССР" [98]. На основе анализа и обобщения их выполнена вероятно-

стная оценка возможных в отдельные года T'_m относительно средних многолетних значений \bar{T}_m с охватом различных регионов Украины: 1) Волынское и Житомирское Полесье; 2) Приднестровская и Подольская равнины; 3) Предкарпатье; 4) Закарпатье; 5) Левобережная Украина; 6) Степной Крым; 7) Предгорный Крым; 8) Горный Крым; 9) Южный берег Крыма.

В результате этой работы на территории страны выделено 9 типов кривых суммарной вероятности в виде отклонений абсолютного минимума температуры воздуха ($\Delta T'_m$) от средних многолетних значений \bar{T}_m (рис. 7.4). Характерной особенностью является в большинстве случаев их асимметричность, т.е. неравномерная изменчивость $\Delta T'_m$ относительно климатической нормы. Например, межгодовая изменчивость возможных минимальных температур различной вероятности относительно средних многолетних значений колеблется в Волыно-Подольском Полесье в пределах от (-5) °С до 10 °С, в Приднестровской и Подольской равнине в пределах от (-8 °С) до 8 °С, в Предкарпатье - в пределах от (-7) °С до 7 °С, в Закарпатье - от (-6) °С до 7 °С и в Левобережной Украине - от (-6) °С до 8 °С.

На юге, в Крымской области, изменчивость возможных минимальных температур в отдельные годы относительно климатической нормы ($\Delta T'_m$) также значительна и колеблется в степном Крыму в пределах от (-7) °С до 9 °С, в предгорном Крыму в пределах от (-7) °С до 8 °С, в горном Крыму соответственно от (-4) °С до 6 °С и на Южном берегу Крыма – от (-5) °С до 7 °С (рис.7.4.б). Максимальный диапазон различий в ($\Delta T'_m$) на основной территории Украины колеблется в пределах 14-16 °С, а в Крыму, соответственно – 10-16 °С.

В табл. 7.3 представлены абсолютные значения T'_m различной вероятности относительно средних многолетних величин \bar{T}_m . Наглядно видно, что повсеместно вероятность низких значений минимальных температур воздуха, характеризующих повышенную морозоопасность, мала и не превышает 5-10%. Вероятность же высоких значений минимальных температур воздуха велика и составляет 90-95%.

Например, в Волынском и Житомирском Полесье при \bar{T}_m порядка (-2,3; -2,5) °С один раз в десять лет могут быть морозы силой в (-30; -32) °С и 9 раз из десяти лет обеспечены здесь минимальные температуры в пределах (-18; -20) °С. На Южном берегу Крыма при среднем из абсолютных годовых минимумов воздуха \bar{T}_m порядка (-11; -13) °С один раз в 10 лет могут быть морозы силой в (-18; -20) °С и на 90% (9 раз из 10 лет) здесь обеспечены \bar{T}_m в пределах (-7; -9) °С.

Преимущество номограмм обеспеченности заключается в возможности на одном графике раскрыть структуру средних многолетних значений

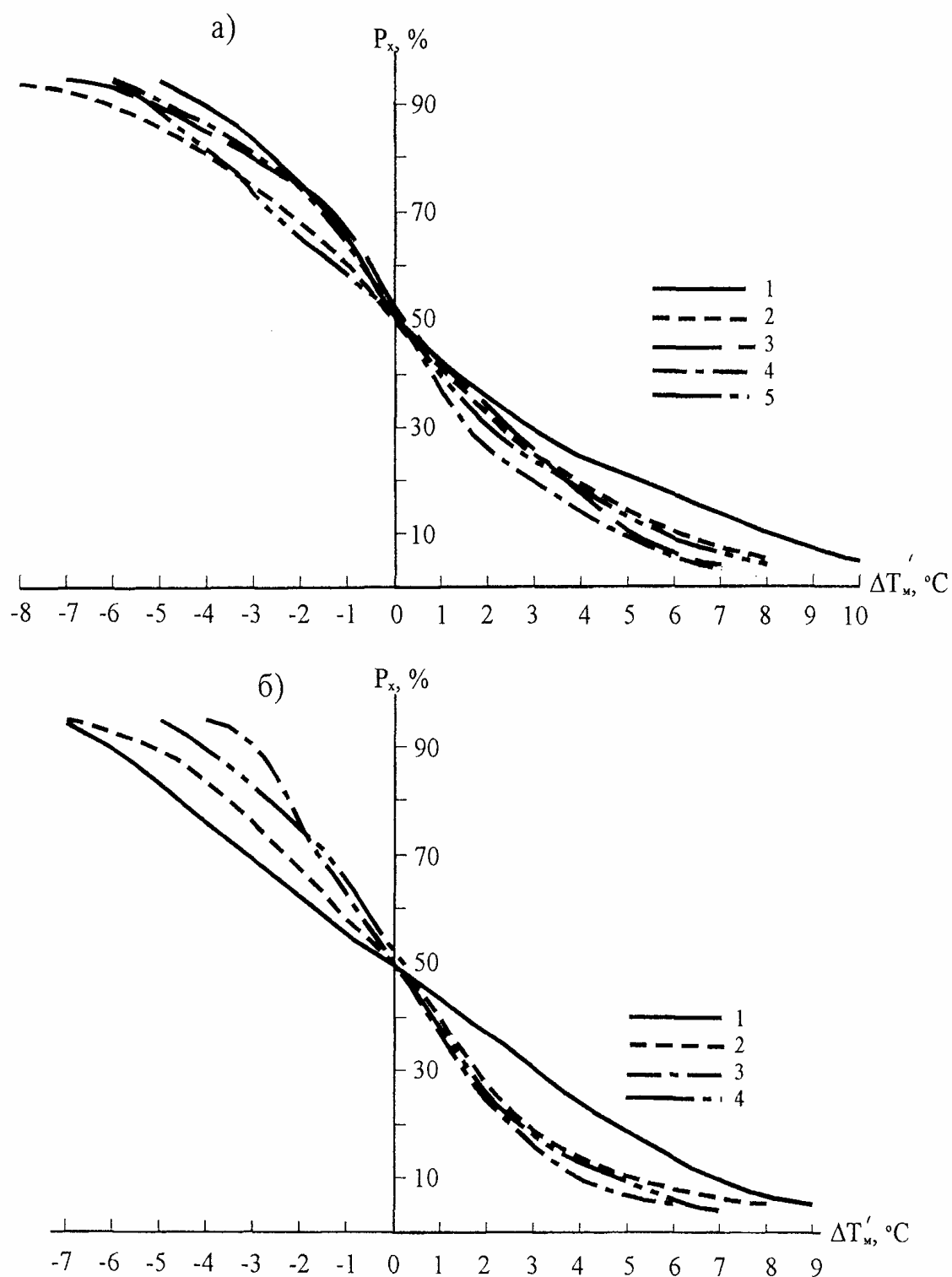


Рис. 7.4. Кривые суммарной вероятности отклонений T'_m от средних многолетних значений в различных регионах Украины: а) 1 – Волынское и Житомирское Полесье, 2 – Приднепровская и Подольская возвышенности, 3 – Предкарпатье, 4 – Закарпатье, 5 – Левобережная Украина; б) Крым: 1 – степной, 2 – предгорный, 3 – горный, 4 – южный берег

Таблица 7.3. Возможные T'_m различной вероятности относительно средних многолетних значений \bar{T}_m (°C) в разных регионах Украины

T'_m , °C	Возможные T'_m различной вероятности (%)						
	5	10	25	50	75	90	95
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Волинское и Житомирское Полесье							
-21	-30	-28	-24	-20	-18	-16	-15
-23	-32	-30	-26	-22	-20	-18	-17
-25	-34	-32	-28	-24	-22	-20	-19
-27	-36	-34	-30	-26	-24	-22	-21
2. Приднепровская и Подольская равнины							
-19	-27	-25	-22	-19	-16	-13	-11
-21	-29	-27	-24	-21	-18	-15	-13
-23	-31	-29	-26	-23	-20	-17	-15
-25	-33	-31	-28	-25	-22	-19	-17
-27	-35	-33	-30	-27	-24	-21	-19
3. Предкарпатье							
-21	-28	-26	-24	-21	-18	-15	-14
-23	-30	-28	-26	-23	-20	-17	-16
-25	-32	-30	-28	-25	-22	-19	-18
-27	-34	-32	-30	-27	-24	-21	-20
-29	-36	-34	-32	-29	-26	-23	-22
4. Закарпатье							
-21	-28	-26	-23	-21	-19	-16	-15
-23	-30	-28	-25	-23	-21	-18	-17
-25	-32	-30	-27	-25	-23	-20	-19
-27	-34	-32	-29	-27	-25	-22	-21

Продолжение табл. 7.4

1	2	3	4	5	6	7	8
5. Левобережная Украина							
-19	-27	-25	-22	-19	-16	-14	-13
-21	-29	-27	-24	-21	-18	-16	-15
-23	-31	-29	-26	-23	-20	-18	-17
-25	-33	-31	-28	-25	-22	-20	-19
-27	-35	-33	-30	-27	-24	-22	-21
-29	-37	-35	-32	-29	-26	-24	-23
6. Степной Крым							
-13	-22	-20	-17	-13	-9	-7	-6
-15	-24	-22	-19	-15	-11	-9	-8
-17	-26	-24	-21	-17	-13	-11	-10
-19	-28	-26	-23	-19	-15	-13	-12
-21	-30	-28	-25	-21	-17	-15	-14
-23	-32	-30	-27	-23	-19	-17	-16
7. Предгорный Крым							
-19	-27	-24	-21	-19	-16	-14	-12
-21	-29	-26	-23	-21	-18	-16	-14
8. Горный Крым							
-19	-25	-23	-21	-19	-17	-16	-15
-21	-27	-25	-23	-21	-19	-18	-17
9. Южный берег Крыма							
-7	-14	-12	-9	-7	-5	-3	-2
-9	-16	-14	-11	-9	-7	-5	-4
-11	-18	-16	-13	-11	-11	-7	-6
-13	-20	-18	-15	-13	-13	-9	-8

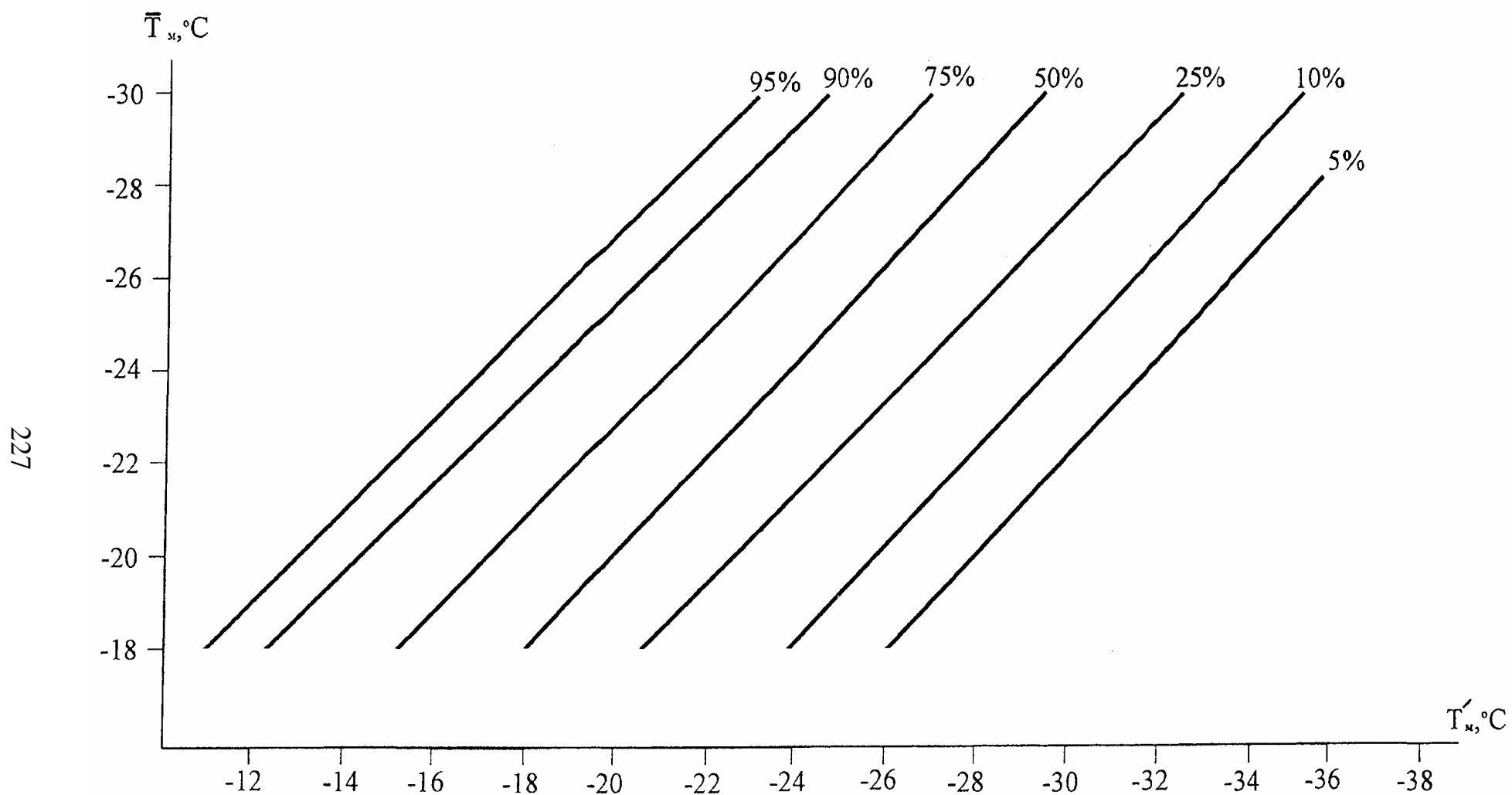


Рис. 7.5. Номограмма обеспеченности для расчета возможных (T'_M) различной вероятности по средним многолетним значениям (\bar{T}_M) на территории Украины (кроме регионов Крыма)

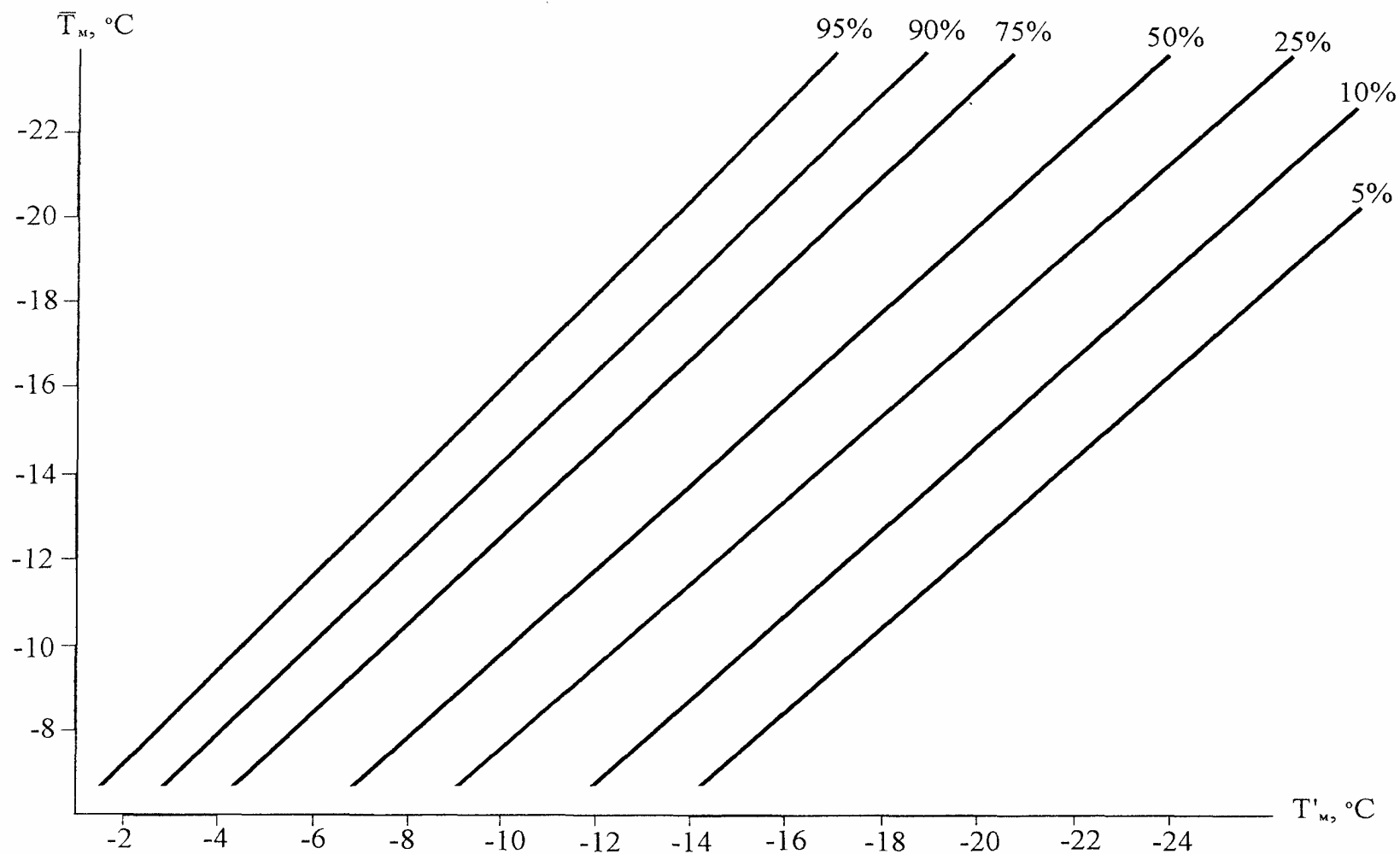


Рис. 7.6. Номограмма обеспеченности для расчета возможных значений среднего из абсолютных годовых минимумов температур воздуха ($T'_м$) в зависимости от средних многолетних значений ($\bar{T}_м$) на территории Крымского полуострова

элементов климата на большой территории во времени и пространстве. Длина наклонных линий показывает как средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха изменяется по территории Украины, а ширина в границах 5% и 95% обеспеченности указывает на изменчивость его во времени (рис.7.5, 7.6).

По ординате даны средние многолетние величины \bar{T}_m , а по абсциссе - возможные значения минимальных температур воздуха различной вероятности. На одной из номограмм уместились 1, 2, 3, 4, 5 регионы Украины (рис. 7.5), а на другой – регионы Крыма (6, 7, 8, 9). Обе номограммы обеспеченности зимних минимальных температур воздуха следует рассматривать как дополнение к агроклиматической карте морозоопасности (рис 7.3). В первом макрорайоне на северо-востоке страны при \bar{T}_m равном (-28) °С на 10-20%, т.е. 1-2 раза в 10 лет, обеспечены морозы силой в (-35, -33) °С. На 90%, т.е. 9 раз из 10 лет, здесь обеспечены минимальные температуры воздуха не ниже (-24,5) °С (рис. 7.5).

В четвёртом макрорайоне, охватывающем западную и центральную часть Украины, при \bar{T}_m порядка (-24, -22) °С, 1-2 раза в десять лет обеспечены морозы силой (-29, -28) °С и (-27, -26) °С. На 90%, т.е. 9 раз из десяти лет здесь обеспечены минимальные температуры не ниже (-18,5, -16,5) °С. В шестом макрорайоне с относительно мягкой зимой при \bar{T}_m порядка (-20, -18) °С на 10-20% обеспечены морозы силой, соответственно, в (-25,5, -23,5) °С и (-24, -22) °С. На 90% здесь обеспечены минимальные температуры воздуха не ниже (-14,5, -12,5) °С.

В степном и горном Крыме морозоопасность возрастает (5 макрорайон). При \bar{T}_m , равном (-20, -22) °С, 1-2 раза в десять лет возможны морозы силой в (-25, -23) °С и (-27, -25) °С (рис.7.6). В восьмом макрорайоне на Южном берегу Крыма с тёплой зимой при \bar{T}_m порядка (-16, -14) °С и выше возможно 1-2 раза в десять лет понижение минимальных температур воздуха до (-21, -19) °С и (-19, -17) °С. Исключение представляют прибрежные территории (в пределах первых 10 км от уреза воды в Чёрном море), где \bar{T}_m составляет (-10, -8) °С и выше. Здесь 1-2 раза в десять лет возможно понижение минимальных температур воздуха до (-15, -13) °С и (-13, -12) °С; на 90% обеспечены возможные \bar{T}_m порядка (-6, -4) °С.

7.3.2. Рекомендации по рациональному размещению и укрывке виноградников

Агроклиматическая морозоопасности и материалы к ней, включая вероятностную оценку зимних минимальных температур воздуха с номограммами обеспеченности и микроклиматическую изменчивость в сложном рельефе, являются необходимой основой для научного обоснования

оптимизации размещения существующих и новых виноградных плантаций. При этом следует учитывать морозостойкость различных сортов винограда. Для этой цели принята за основу классификация групп сортов винограда по их морозостойкости, предложенная Ф.Ф.Давитая [25, 26] и уточнённая нами на основе анализа более поздних литературных источников.

Возделываемые сорта винограда на территории Молдовы и Украины по степени морозоустойчивости почек можно разделить на пять групп:

1. Очень слабоморозостойкая группа, повреждающаяся при критических температурах T_m (-17,-18) °С (Алеатико, Асма, Королева виноградников, Кардинал, Карабурну и др.)

2. Слабоморозостойкая группа, повреждающаяся при критических T_m (-18,-20) °С (Мускат белый, Мускат Оттонель, Одесский ранний, Жемчуг Сабо, Ранний Магараца и др.)

3. Среднеморозоустойчивая группа, повреждающаяся при критически T_m (-20, -22) °С (Алиготе, Фетяска, Сильванер, Бастардо Магарацкий, Шасла, Сенсо, Шардоне, Сильванер и др.)

4. Повышенноморозостойкая группа, повреждающаяся при T_m порядка (- 22, -24) °С (Каберне-Совиньон, Рислинг рейнский, Ркацители, Пино чёрный, Траминер, Мерло, Молдова и др.)

5. Высокоморозостойкая группа, повреждающаяся при T_m порядка (-24, -26) °С (Изабелла, Лидия, Саперави Северный, Овидиопольский и др.).

Если допустить зимние повреждения винограда низкими температурами воздуха (ниже критической для той или иной группы сортов по морозостойкости) с 10-20% обеспеченностью, т.е. 1-2 раза в 10 лет, тогда можно сделать следующие практические рекомендации по оптимизации размещения неукрывных и укрывных виноградников на территории Украины. Они основываются на учёте морозостойкости вышеуказанных групп сортов винограда и значениях возможных T'_m различной вероятности, снятых с соответствующих номограмм обеспеченности

На Южном берегу Крыма в 8-ом макрорайоне с тёплой зимой (рис.7.3, табл.7.1) все группы сортов могут возделываться неукрывным способом на равнинных землях, а также на водораздельных плато при базисах эрозии $\Delta H_m \approx 50-150$ м, верхних и средних частях склонов различной экспозиции. Нецелесообразно размещение виноградных плантаций в нижних частях склонов различной экспозиции, у их подножий, а также в широких и узких долинах. В этих местоположениях увеличивается морозоопасность на (-1,5,-3,5) °С в широких долинах и на (-3,5, -6,0) °С в замкнутых узких долинах. Кроме того, здесь увеличивается повторяемость опасных морозов и заморозков (табл.7.2)

В 7-ом макрорайоне с очень мягкой зимой у южной границы и на склоновых землях неукрывным способом могут возделываться очень сла-

бая и слабая группы сортов винограда. Сорта средней, повышенной и высокой морозостойкости могут здесь возделываться как неукрывные на равнинных и склоновых землях всего района. По вышеуказанным причинам нецелесообразно размещение виноградников в нижних частях склонов всех экспозиций, у их подножий, на дне широких и замкнутых узких долин со слабым уклоном (0-3°).

В 6-ом макрорайоне с мягкой зимой неукрывным способом могут возделываться группы сортов повышенной и высокой морозостойкости, а на южной границе и на склоновых землях - сорта средней морозостойкости. Сорта винограда очень слабой и слабой морозостойкости повсеместно, даже на склоновых землях должны укрываться на зиму. Нерентабельно возделывание винограда в понижениях рельефа (нижние части склонов, их подножия, широкие и узкие долины).

В 5-ом макрорайоне с умеренно-мягкой зимой неукрывным способом могут возделываться сорта повышенной и высокой морозостойкости у южной границы на равнинных и склоновых землях. На северной границе макрорайона эти группы сортов должны укрываться. Повсеместно следует укрывать на зиму виноград очень слабой, слабой и средней морозостойкости. Нечелесообразно размещение виноградников в нижних частях склонов, у их подножий, в широких и узких долинах, отличающихся повышенной морозо- и заморозкоопасностью.

В 4-ом макрорайоне с умеренно-холодной зимой только на южной границе в тёплых местоположениях (южные, юго-западные и юго-восточные склоны крутизной 10-20° и более) можно возделывать неукрывным способом группу сортов повышенной морозостойкости. Центральную часть, включая Закарпатье, этого района, можно занимать под виноград, возделывая его укрывным способом (сорта средней, повышенной и высокой морозостойкости) на равнинных и склоновых землях. Любительское виноградарство возможно на территориях, прилежащих к южной границе 3-его макрорайона. Здесь следует размещать те же сорта при обязательной укрывке кустов зимой. Повсеместно нерентабельно возделывание винограда в понижениях рельефа (нижние части склонов, их подножия, широкие и узкие долины).

7.4. Региональная оценка и районирование условий морозоопасности в среднем масштабе с учетом микроклимата

Материалы по агроклиматической оценке и комплексному районированию условий морозоопасности на территории Украины открывают широкие возможности для дальнейшей регионализации показателей морозоопасности в пределах ограниченных территорий (административная область, район, отдельное хозяйство). Рассмотрим такую возможность на примере территории Одесской области, где нестабильность урожаев сель-

скохозяйственных культур, в том числе винограда, зависит от лимитирующих факторов климата. К их числу относятся опасные морозы зимой, ранние осенние и поздние весенние заморозки, засухи).

Условия морозоопасности в зимний период определяют возможность ведения неукрывной культуры винограда, влияют на подбор и размещение сортов винограда и плодовых культур, а также на технологию возделывания. Поэтому представляет научный и практический интерес детальная агроклиматическая оценка и комплексное районирование показателей морозоопасности в период перезимовки на территории Одесской области с учетом микроклимата.

Задача решалась в три этапа. В качестве исходной информации использованы средние многолетние наблюдения на 37-ми метеорологических станциях по \bar{T}_m , T_x и средним месячным температурам воздуха с ноября по март. Далее для каждой станции были построены рабочие графики годового хода температуры воздуха за холодный период года. По ним дополнительно были определены даты начала и конца холодного периода (D_{hx} , $D_{кх}$), продолжительности холодного периода с T_c ниже 0°C ($N_{хп}$), суммы отрицательных температур воздуха ниже 0°C ($\Sigma T_c < 0^\circ\text{C}$).

В целях уплотнения агроклиматической информации установлена взаимосвязь основного показателя – среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха (\bar{T}_m) с температурой самого холодного месяца (T_x), продолжительностью холодного периода ($N_{хп}$) и суммой отрицательных температур воздуха ниже 0°C .

На условия перезимовки культур оказывают влияние не только термические характеристики воздуха, но и почвы. Поэтому была установлена зависимость между абсолютным минимумом температуры воздуха (T_m) и почвы на глубине 20 см ($T_{мп}$). В качестве исходной информации использованы ежегодные данные наблюдений с 1967 по 1987 годы по пяти метеостанциям. Взаимосвязь между T_m и $T_{мп}$ также носит прямолинейный характер. По всем взаимосвязям между показателями морозоопасности в воздухе и на почве рассчитаны соответствующие уравнения регрессии и статистические параметры к ним. Как видно из табл. 7.4, коэффициенты корреляции находятся в пределах 0,88 – 0,98, что указывает на тесную взаимосвязь этих показателей и возможность их использования для комплексной оценки условий морозоопасности в пределах Одесской области.

На втором этапе исследований выполнено комплексное агроклиматическое районирование показателей морозоопасности. В качестве картографической основы использована физико-географическая карта среднего масштаба (1:500 000). картирование осуществлено по основному показателю - \bar{T}_m .

Таблица 7.4. Уравнения связи между различными показателями морозоопасности зимой и статистические параметры к ним

$Y = ax + b$	r	σ_r	ε_r	\bar{S}_y
$T_x = 0,61\bar{T}_m + 4,03$	0,98	0,21	0,013	0,42
$N_{xn} = 8,4\bar{T}_m - 60$	0,87	0,018	0,002	10,4
$\Sigma T_c < 0^\circ C = 392\bar{T}_m + 446$	0,88	0,032	0,042	-62,2
$T_{mn} = 0,87T_m + 0,13$	0,96	0,012	0,004	0,3

А далее по установленным выше взаимосвязям и соответствующим уравнениям регрессии были определены для каждого мезорайона значения сопутствующих показателей морозоопасности. На карте выделено восемь мезорайонов, характеризующих условия открытого ровного места (рис. 7.7). К карте прилагается легенда в виде табл. 7.5. Наглядно видно, что морозоопасность для зимующих культур на рассматриваемой территории возрастает в направлении с юга и юго-востока на север. Например, на крайнем севере области в самом морозоопасном мезорайоне 1 \bar{T}_m пять раз в 10 лет составляет $-22^\circ C$, а один раз в 10 лет он может понижаться до $-28, -30^\circ C$. Соответственно T_x , $\Sigma T_c < 0^\circ C$, N_{xn} и T_{mn} составляют здесь $-6,2^\circ C$, $-520^\circ C$, 118 дней за холодный период и $-18^\circ C$. В самом теплом мезорайоне 8 на юго-востоке области \bar{T}_m не бывает ниже $-16^\circ C$ (5 раз в 10 лет) и ниже $-23^\circ C$ (1 раз в 10 лет). А T_x , $\Sigma T_c < 0^\circ C$, N_{xn} и T_{mn} не превышают здесь соответственно $-2,8^\circ C$, $-176^\circ C$, 75 дней и $12,7^\circ C$. Диапазон географических различий в \bar{T}_m , $\Sigma T_c < 0^\circ C$ и N_{xn} на рассматриваемой территории значителен и составляет $6^\circ C$, $450^\circ C$ и 43 дня.

На территории Одесской области около 50% сельскохозяйственных угодий расположены в условиях холмистого рельефа. Поэтому представляет научный и практический интерес количественная оценка мезо и микроклиматической изменчивости \bar{T}_m в разных местоположениях рельефа по сравнению с открытым ровным местом. Для этой цели использована расчетная схема мезо и микроклиматической изменчивости \bar{T}_m и T_x в холмистом и горном рельефе на территории Украины (смотри табл. 7.2 в § 7.2).

Расчеты абсолютных значений среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха (\bar{T}_m) для ведущих форм микрорельефа в зависимости от базисов эрозии (ΔH_m) выполнена с помощью табл. 7.2 и формулы 7.2 (см. § 7.2). Результаты этой работы представлены в табл. 7.6, которая является второй легендой к агроклиматической карте (рис. 7.7).

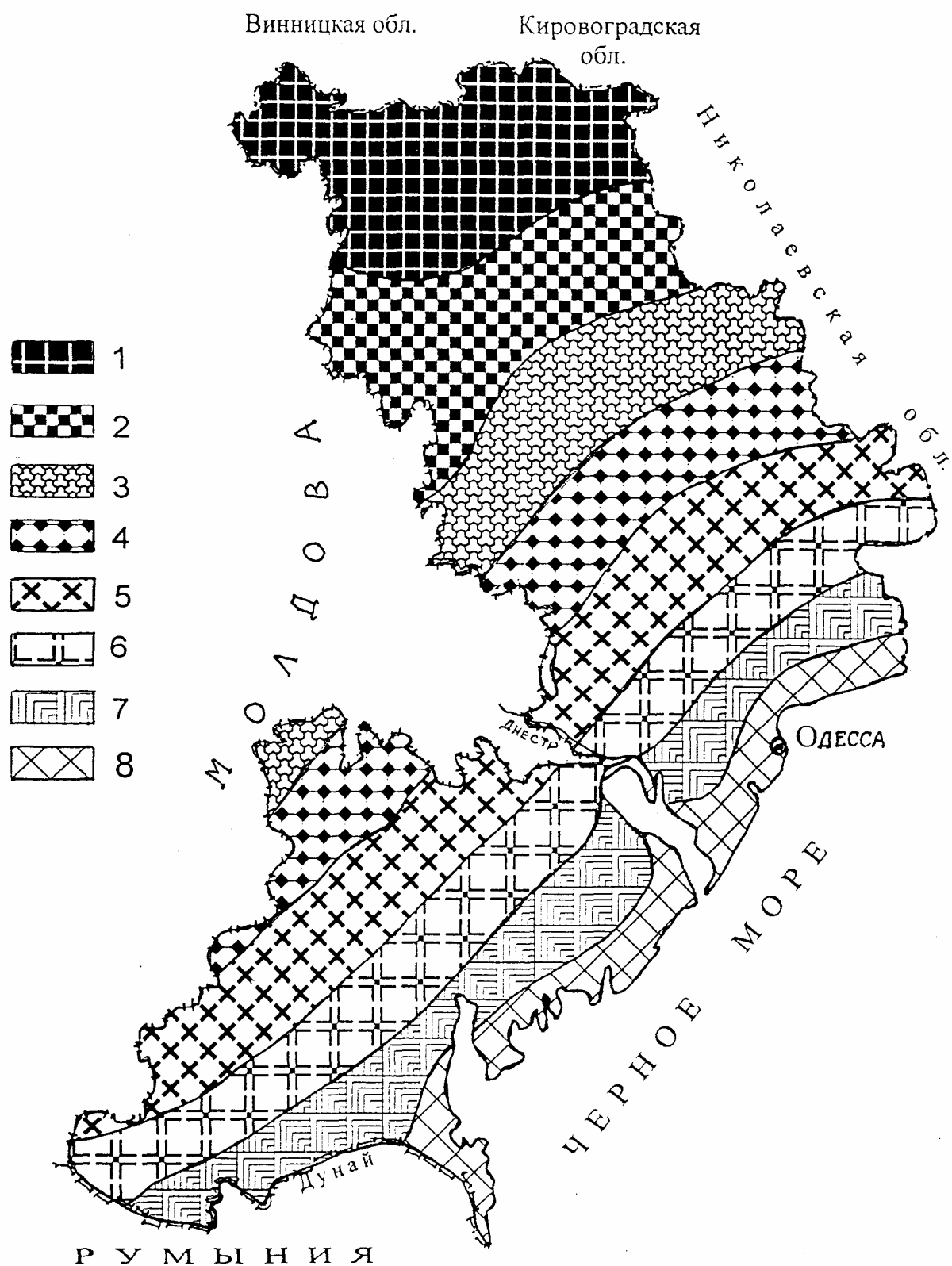


Рис. 7.7. Агроклиматическое районирование по условиям морозоопасности зимой на территории Одесской области.
Мезорайоны 1 – 8 см. в табл. 7.5

Таблица 7.5. Агроклиматическая оценка мезорайонов по основным показателям морозоопасности зимой в Одесской области

Мезорайон	$\bar{T}_m, ^\circ\text{C}$ (50%)	$\bar{T}_m, ^\circ\text{C}$ (10%)	$T_x, ^\circ\text{C}$	$\Sigma T_c < 0^\circ\text{C}$	N_{xn} , дни	$T_{mn}, ^\circ\text{C}$
1	>-22	>-30	>-6,2	>-526	>118	\geq -18,0
2	-21, -22	-29	-5,5	-476	114	-17,2
3	-20, -21	-28	-5,3	-425	107	-16,4
4	-19, -20	-27	-4,8	-375	100	-15,6
5	-18, -19	-26	-4,2	-325	94	-14,8
6	-17, -18	-25	-3,8	-276	87	-14,0
7	-16, -17	-24,1	-3,3	-226	83	-13,4
8	\leq -16	<-23	<-2,8	\leq -176	\leq 75	-12,7

Таблица 7.6. Микроклиматическая изменчивость \bar{T}_m (°C) в разных местоположениях холмистого рельефа на территории Одесской области

Мезорайон, тип рельефа	ΔH_m	Ровное место	Вершина	Середина склона	Широкая долина	Замкнутая долина
1, 2 Всклмленный	<60		-19,5; -21,5	-20,0; -22,0	-22,0; -24,0	-24,5; -26,3
Слабохолмистый	60-100	-21, -23	-18,0; -20,0	-18,5; -21,5	-22,5; -24,5	-25,0; -27,0
Холмистый	100-150		-17,5; -19,5	-19,0; -21,0	-23,0; -25,0	-25,5; -27,2
4, 3 Всклмленный	<60		-16,54 -18,5	-18,0; -20,0	-20,0; -22,0	-22,5; -24,5
Слабохолмистый	60-100	-19, -21	-16,0; -18,0	-17,5; -19,5	-20,5; -22,5	-23,0; -25,0
Холмистый	100-150		-15,54 -17,5	-17,0; -19,0	-21,0; -23,0	-23,5; -25,5
6, 5 Всклмленный	<60		-14,5; -16,5	-16,0; -18,0	-18,0; -20,0	-20,5; -22,5
Слабохолмистый	60-100	-17, -19	-14,0; -15,0	-15,5; -17,5	-18,5; -20,5	-21,0; -23,0
8, 7 Всклмленный	<60		-13,5; -14,5	-15,0; -16,0	-17,0; -18,0	-19,5; -20,5
Слабохолмистый	60-100	-16, -17	-13,0; -14,0	-14,5; -15,5	-17,5; -18,5	-20,0; -21,0

Наглядно видно, что во всех мезорайонах имеют место значительные различия в \bar{T}_m в разных местоположениях рельефа по сравнению с открытым ровным местом. Эти различия увеличиваются с возрастанием базисов эрозии (ΔH_m) и уклонов местности.

Например, на севере Одесской области (мезорайоны 1, 2) в холмистом рельефе \bar{T}_m на вершинах и верхних частях крутых склонов не превышают -17,5; -19,5 °С, а на дне замкнутых долин морозоопасность возрастает и \bar{T}_m здесь составляет -25,5, - 27,5 °С. На юго-востоке (мезорайоны 7, 8) в слабохолмистом рельефе \bar{T}_m на вершинах и верхних частях склонов не превышают -13,0; -14,0 °С, а в замкнутых долинах его значения понижаются до -20,0; -21,0 °С.

Диапазон микроклиматических различий в среднем из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха между выпуклыми и вогнутыми формами рельефа значителен и составляет 7 – 8 °С и перекрывает зональную изменчивость \bar{T}_m на всей территории области.

На основе сравнительного анализа морозоопасности групп сортов винограда, возделываемых в Одесской области, по критическим температурам вымерзания надземной части виноградного растения и 10% ной вероятности опасных морозов по T'_m даны рекомендации по рациональному размещению укрывных и неукрывных виноградников на равнинных и склоновых землях в каждом из 8-ми мезорайонов с учетом микроклимата.

Полученные материалы являются научной основой для оптимизации размещения винограда и теплолюбивой группы плодовых культур в пределах каждого мезорайона Одесской области. Они также могут быть использованы для составления микроклиматических карт морозоопасности расчетным путем с целью научного обоснования макрорайонирования культурных растений на территориях отдельных хозяйств.

8. АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И РАЙОНИРОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ УРОЖАЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ

8.1. Существующие методы оценки продуктивности культурных растений

В современных условиях при решении задачи рационального размещения культур уже недостаточно определение лишь ареалов возможного их возделывания. Необходима на основе информации о климате оценка экономической целесообразности возделывания той или иной культуры. Нужно вполне обосновано отдавать предпочтение одним культурам за счет сокращения посевных площадей под другими в конкретном регионе. Успешное решение этих и других прикладных задач тесно связано с необходимостью разработки новых агроклиматических показателей и совершенствования методов агроклиматического районирования сельскохозяйственных культур.

Многими исследованиями признается, что лучшим интегральным показателем степени благоприятствования почвенно-климатических условий той или иной территории для возделывания культурных растений является их урожайность. Впервые П. И. Колосков предложил использовать урожайность полевых культур как важнейший агроклиматический показатель. Им совместно с В.А. Смирновой и А.Т. Никифоровой [41, 62] было выполнено агроклиматическое районирование территории бывшего СССР по урожайности одиннадцати зерновых и технических культур. Географические особенности в распределении урожаев полевых культур были рассмотрены в тесной взаимосвязи с зональной изменчивостью показателей тепла (суммы среднесуточных температур воздуха выше 5, 10 °С) и влаги (сумма осадков и коэффициент увлажнения). Было установлено, что продуктивность культурных растений, возделываемых на богарных землях, уменьшается в направлении с северо-запада на юг и юго-восток по мере возрастания сухости климата.

Признавая полезность и информативность интегрального показателя степени благоприятствования климата в виде урожайности, необходимо отметить следующее. На абсолютной величине урожайности той или иной культуры сказывается влияние не только климатических условий. Определяющим фактором является и культура земледелия, зависящая в свою очередь от уровня селекционной работы, энерговооруженности сельского хозяйства, технологии возделывания, включая обеспеченность удобрениями, мелиорации земель.

Поэтому для выявления влияния погоды и климата на урожайность последнюю выражают в отклонениях от тренда, т.е. от линии осредненной во времени урожайности. В основу такой оценки положена идея

В.М. Обухова [82] о возможности разложения временного ряда урожайности любой культуры на две составляющие: стационарную и случайную. В такой постановке временной ряд урожайности ($Y_i = 1, 2, \dots, n$) можно представить общей статистической моделью следующего вида:

$$Y_i = f(t) + U_i, \quad (8.1)$$

где $f(t)$ – стационарная составляющая; U_i – случайная составляющая временного ряда.

Стационарная составляющая определяет общую тенденцию изменения урожайности в рассматриваемом периоде. Она представляется плавной линией в результате сглаживания ряда и называется трендом. Случайная составляющая обуславливается погодными условиями отдельных лет и представляется отклонениями от линии тренда. Для агроклиматической оценки динамики урожайности культурных растений или прогнозирования тенденции урожайности в ближайшие годы применяют два метода – наименьших квадратов (МНК) и гармонических весов (МГВ).

В 70-80-ые годы А.И. Манелля, Нагнибедов и Н.Н. Френкель [51] провели глубокие исследования по динамике урожайности зерновых и технических культур на территории России по методу наименьших квадратов с получением соответствующих уравнений трендов. По их оценке выявлена большая изменчивость трендов урожайности в различных регионах, которые не всегда показывали тенденцию к росту урожайности за рассматриваемый период (25-30 лет).

Метод гармонических весов впервые был предложен З. Хельвигом [53]. Позднее этот метод получил дальнейшее развитие в агрометеорологических исследованиях А.Н. Полевого [85] и других авторов. МГВ имеет то преимущество, что позволяет отказаться от предположений относительно вида тренда урожайности. Основная идея метода заключается в том, что в результате взвешивания определенным образом отдельных наблюдений временного ряда более поздним наблюдениям придаются большие веса.

Без привлечения информации об условиях окружающей среды и в первую очередь о тепло и влагообеспеченности культур невозможно дать конкретные рекомендации по рациональному использованию агроклиматических ресурсов в том или ином регионе с целью получения стабильных урожаев высокого качества. В этой связи заслуживают внимания подходы к количественной оценке влияния агроклиматических факторов на продуктивность сельскохозяйственных культур. По методическим приемам можно выделить два таких подхода: 1) эмпирико-статистический; 2) имитационно-модельный.

Эмпирико-статистический подход основывается на статистических связях урожая сельскохозяйственных культур с метеорологическими показателями. Среди методов определения урожая по тому или иному климатическому критерию имеются относительно простые или более

ческому критерию имеются относительно простые или более сложные приемы, однозначные или многозначные соотношения. Но какой бы характер не носили эмпирические формулы, их структура неизменно предполагает вычисление конечного урожая культуры через тот или иной погодный фактор или комбинацию таких факторов. Если количественное выражение урожая есть величина Y , а элементы климата, характеризующие состояние приземного слоя воздуха и почвы суть $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ то статистический метод имеет в виду раскрытие, анализ и использование функции вида:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (8.2)$$

Выражение 8.2 устанавливается на основе длительных наблюдений, анализа многолетних данных и последующей их статистической обработки. Функция f может носить линейный, показательный, экспоненциальный или другой характер в зависимости от места наблюдений, климатической зоны, а также от вида растения. В реальной полевой обстановке на урожай влияет ряд метеорологических элементов и формула выражающая эти связи приобретает более сложный вид. Существенной проблемой является умение выразить видом функции f реальные зависимости между урожаем и комбинацией метеорологических параметров, влияющие на изменение величины Y . Наиболее часто для этих целей применяются методы регрессионного и информационного анализа [54, 62, 83, 90, 99, 104, 107].

Имитационно-модельный подход является противоположным эмпирико-статистическому. В этом случае не вывод из среднестатистической обработки, а физические соображения, вытекающие из существа рассматриваемого явления, кладутся в основу анализа и оценки урожайности культурных растений. При этом, прежде всего, требуется выработать модель какой-либо стороны вегетационного периода, описать ее математически и проанализировать полученное решение. А затем перейти к тем же манипуляциям при рассмотрении других сторон процесса выращивания урожая.

Излагаемый подход нельзя выдержать в едином физико-математическом ключе. В силу огромной сложности полученные формулы содержат много параметров приземного слоя воздуха, почвы и самого растения, знание которых недостоверно. Для их оценки прибегают к многофакторным экспериментам и к анализу опытных материалов по литературным источникам с последующей статистической обработкой тех и других. Все это делает методы не чисто теоретическими, а полуэмпирическими.

К настоящему времени учеными СНГ и стран дальнего зарубежья разработаны многочисленные модели различной сложности для описания продуктивности сельскохозяйственных культур [29, 44, 53, 86, 95, 108 и др.]. Эти модели условно можно разделить на два класса: 1) физико-статистические; 2) динамико-статистические. Рассмотрим те из них, кото-

рые перспективны или уже применяются для агроклиматической оценки урожайности на той или иной территории.

Заметным шагом вперед в разработке физико-статистических моделей для оценки агроклиматических ресурсов и урожайности явились методы оценки сельскохозяйственного бонитета климата предложенные П.И. Колосковым [41] и С.А. Сапожниковой [92]. Позднее Д.И. Шашко [109, 110] предложил метод оценки земли по показателям потенциальной биологической продуктивности – биоклиматическому потенциалу (структура модели описана в главе 6). Для программирования урожаев культурных растений модификационная формула имеет вид:

$$Y_{\phi} = \eta_{\phi} \frac{P_n}{P_m} \left(\frac{\Sigma T_c - 10^0 C}{1000^0 C} \right) = \eta_{\phi} \cdot K_p \cdot \beta, \quad (8.3)$$

где Y_{ϕ} – возможный ожидаемый урожай; η_{ϕ} – коэффициент использования ФАР, выраженный в долях единицы; P_m, P_n , – максимальная продуктивность в условиях достаточного увлажнения, продуктивность при недостатке влаги; K_p – коэффициент биологической активности или роста; β – отношение сумм средних суточных температур воздуха выше $10^0 C$ к базисной сумме температур ($1000^0 C$).

Итак, зная β и задаваясь значениями P_m и P_n , а также их соотношением, которое на территории СНГ меняется от 1,0 (лесная зона) до 0,2 (пустынная зона) в зависимости от показателя увлажнения, находят $BKP = K_p \cdot \beta$, а затем рассчитывают урожай по формуле вида

$$Y_{\beta} = BKP \cdot \eta_{\phi}. \quad (8.4)$$

Для облегчения расчетов Д.И. Шашко предлагает использовать специально составленную таблицу для перехода от БКП к урожайности ряда зерновых и технических культур. Применительно к конкретной культуре биоклиматический потенциал рассчитывается по ΣT_c за её вегетационный период.

Из зарубежных физико-статистических моделей более приемлемыми являются модели продукционного процесса агробиоценозов. Простейшая из них предложена де Витом [53] для районов с лимитированной влагой и достаточным количеством тепла. Модель имеет вид

$$P_c = \frac{f \cdot T_r}{E_{ep}}, \quad (8.5)$$

где P_c – надземная сухая масса вещества; T_r – фактическая транспирация посева, являющаяся показателем влагообеспеченности; E_{ep} – потенциальная эвалотранспирация (потенциальное суммарное испарение, свойственное данному растительному сообществу для конкретных условий; f – эмпирический коэффициент, характеризующий биологические особенности культуры.

Более широкое применение получила модель де Вита в модификации Хенкса [53] в виде

$$\frac{Y}{Y_p} = \frac{T_r}{T_{rp}}, \quad (8.6)$$

где Y – рассматриваемый урожай культуры; Y_p – потенциальный урожай; T_{rp} – потенциальная транспирация. Дальнейшее усовершенствование модели шло по пути дифференцированного учета фактической и потенциальной транспирации в различные этапы развития конкретной культуры с привлечением информации об изменении запасов влаги в почве.

Заслуживает внимания физико-статистическая модель, предложенная Т. Хенксом [62], с помощью которой представляется возможным оценивать агроклиматические ресурсы территории. Модель базируется на связи между урожаем и суммарным испарением, но по своей конструкции отличается от описанной выше и имеет вид

$$1 - \frac{YA}{YM} = KY \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right). \quad (8.7)$$

Откуда

$$YA = YM - YM \cdot KY \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right), \quad (8.8)$$

где YA – действительный урожай культуры (кг/га); YM – потенциально возможный урожай при достигнутом уровне культуры земледелия в условиях достаточной тепло и влагообеспеченности (кг/га); KY – множитель, зависящий от данной культуры и фазы развития; ET_a, ET_m – соответственно фактическое суммарное испарение и максимальное суммарное испарение растительного покрова. Сложность расчета показателя KY затрудняет практическое использование данной модели для комплексной оценке агроклиматических ресурсов территории применительно к продуктивности культур.

Из физико-статистических моделей агроклиматических ресурсов территории СНГ представляют интерес комплексные модели

А.Р. Константинова [44] и В.П. Дмитренко [32]. В общем виде модель А.Р. Константинова имеет вид

$$Y_{pac} = Y_1^2 + \sum_{i=2}^n \Delta Y_i^2, \quad (8.9)$$

где Y_{pac} – относительное значение расчетной урожайности (в долях средней урожайности, достаточной при существующем уровне культуры земледелия на конкретную дату); Y_1^2 – графическое значение относительной урожайности, обусловленное влиянием первого фактора; ΔY_i^2 – добавочное влияние на урожайность других факторов, определяемое с помощью графических регрессий.

В качестве основных факторов, влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур, автор выбрал биологические особенности культуры, гидрометеорологические элементы, плодородия почвы и агротехнику. Таким образом, модель имеет четыре блока: биологический, метеорологический, плодородия почвы и агротехники. Влияние метеорологических факторов сводится к учету температуры и абсолютной влажности воздуха в летний период, а также температуры воздуха и высоты снежного покрова в зимний период. Влияние всех факторов среды предложено оценивать в относительных единицах урожайности, что позволяет наглядно судить об их значимости.

С учетом сказанного модель принимает следующий вид:

$$Y_{pac} = Y_{m,e}^2 + Y_{m,h}^2 + Y_{w,Q}^2 + Y_{A,\Pi}^2 + Y_{A,yd}^2 + Y_{A,C}^2 - 5, \quad (8.10)$$

где $Y_{m,e}^2$ – урожайность, обусловленная влиянием температуры и влажности воздуха теплого периода; $Y_{m,h}^2$ – урожайность, обусловленная влиянием условий перезимовки; $Y_{w,Q}^2$ – урожайность, обусловленная почвенным плодородием; $Y_{A,\Pi}^2$ – урожайность, обусловленная влиянием предшественника; $Y_{A,C}^2$ – урожайность, обусловленная сортом культуры; $Y_{A,yd}^2$ – урожайность, обусловленная удобрениями.

С помощью этой модели А.Р. Константинов, Е.К. Зоидзе и С.И. Смирнова [44] выполнили оценку влияния почвенно-климатических ресурсов на урожайность озимой пшеницы, озимой ржи, яровой пшеницы, ярового ячменя, овса и кукурузы на территории СНГ в ареале их возделывания. Составлен ряд схематических карт распределения потенциальной

урожайности этих культур в относительных единицах на территории СНГ в ареале их возделывания. Достоинством данной модели является полнота учета факторов, влияющих на урожайность.

Однако методология учета влияющих факторов с помощью графических регрессий далеко не бесспорна. Кроме того, основным недостатком модели является слишком упрощенная оценка влияния метеорологических условий (температура и влажность воздуха) на урожайность культур. Это ограничивает использование модели для решения агроклиматических задач.

Модель В.П. Дмитренко [29], так же как описанная выше, учитывает влияние на урожайность различных факторов в динамике по периодам вегетации культур. Для оценки ресурсов урожайности озимой пшеницы эта модель, являющаяся наиболее полной имеет вид:

$$Y = Y_{\max} (1 - a) f(K) S(T, W, P)_{III-VII} \varphi(\lambda) + \Delta, \quad (8.11)$$

где Y_{\max} – ежегодный статистический максимум урожайности; a – изреженность посевов; $f(K)$ – функция кустистости; $S(T, W, P)_{III-VII}$ – показатель продуктивности гидрометеорологических условий в период март-июль, $\varphi(\lambda)$ – показатель уровня урожайности при различных соотношениях площадей уборки и посева; Δ – ошибка расчета за счет неучтенных факторов. Из гидрометеорологических факторов в модели учитываются температура воздуха, осадки в весенне-летний период и запасы влаги в почве на весну.

Модель универсальная и в настоящее время автором на основании её построены схемы расчета урожайности (озимая пшеница, озимая рожь, яровой ячмень, кукуруза, картофель, сахарная свекла и подсолнечник), реализованные применительно к Украине в прогностических целях. Недостатком модели является то, что она содержит большое количество эмпирических коэффициентов, которые необходимо рассчитывать для каждой природно-климатической зоны. Кроме того, в ней не учитывается влияние местного климата и микроклимата на вариабельность урожайности в пределах ограниченных территорий, что затрудняет использование модели для агроклиматической оценки продуктивности сельскохозяйственных культур.

Основываясь на концепции максимальной продуктивности посевов Х.Г. Тооминг предложил метод эталонных урожаев [101, 102]. Суть его заключается в определении и сравнении разных категорий урожаев: потенциальный урожай (Y_{nm}), действительно-возможный урожай ($Y_{\partial\theta}$) и урожай в производстве (Y_n). Первый из них (Y_{nm}) – это урожай сорта в идеальных метеорологических условиях; он определяется приходом ФАР и биологическими свойствами культур и сортов. Второй урожай ($Y_{\partial\theta}$) – это

максимально возможный урожай культуры в существующих метеорологических и почвенных условиях.

Разность $(Y_{nm} - Y_{\partial\partial})$ – характеризует недобор урожая, вызванный тем, что погодные условия не идеальны. Отношение $K_n = \frac{Y_{\partial\partial}}{Y_{nm}}$ – это коэффициент благоприятности погоды или климата. Для сравнительной оценки рассматривается и разность $(Y_{\partial\partial} - Y_n)$, т.е. недобор урожая из-за неполного использования агроклиматических ресурсов в конкретном районе. Отношение $K_{\partial} = \frac{Y_n}{Y_{\partial\partial}}$ – это коэффициент эффективности использования погодных или климатических ресурсов. Значения $(Y_{\partial\partial} - Y_n)$ и K_{∂} позволяют оценить уровень и культуру растениеводства.

Для агроклиматической оценки продуктивности сельскохозяйственных культур Х.Г. Тооминг разработал физико-статистическую модель, позволяющую расчетным путем определять потенциальную и действительную урожайность той или иной культуры. Потенциальный урожай общей сухой биомассы культуры (Y_{nc}) рассчитывается по формуле

$$Y_{nc} = \int_0^{\tau_0} \frac{\eta_n(t) \cdot Q_{\phi}(t) \cdot dt}{q(t)}, \quad (8.12)$$

где Y_{nc} – потенциальный урожай общей сухой биомассы в кг/м²; $Q_{\phi}(t)$ – функция дневных сумм фотосинтетически активной радиации (ФАР) в МДж/м²; $\eta_n(t)$ – функция (ход) потенциального КПД посева в течении вегетационного периода в %; q – удельная теплота сгорания (калорийность растений в МДж/кг); τ – продолжительность вегетационного периода в днях.

Приближенно Y_{nc} общей сухой биомассы можно рассчитать по формуле

$$Y_{nc} = \frac{\eta_n \cdot \sum Q_{\phi}}{q}, \quad (8.13)$$

где η_n – средний за вегетационный период потенциальный КПД посева; $\sum Q_{\phi}$ – сумма ФАР за вегетационный период культуры. При этом потенциальный КПД использования ФАР растениями (η_n) рассчитывается по формуле

$$\eta_n = \frac{q \cdot Y_{\partial\partial} \cdot 100}{\sum Q_{\phi}}, \quad (8.14)$$

где η_n – КПД в %; Y_{σ} – максимальный биологический урожай сухой биомассы в кг/м²; 100 – вводится для перевода числовых значений в проценты; ΣQ_{ϕ} – сумма ФАР за вегетационный период в МДж/м².

Потенциальный урожай хозяйственно ценных органов (зерна, клубней и др.) в виде Y_{nm} рассчитывается по формуле

$$Y_{nm} = \frac{\eta_n \cdot \Sigma Q_{\phi} \cdot K_{хоз}}{q}, \quad (8.15)$$

где $K_{хоз}$ – коэффициент, характеризующий долю хозяйственно полезной части урожая, т.е. отношение основной продукции к общей биомассе культуры.

Входящие в формулу 8.14 величины η_n , q и $K_{хоз}$ определяются экспериментально или на основе анализа литературных источников. Потенциальный КПД зависит от множества факторов и его средние за вегетационный период значения для разных культур варьируют в пределах 1-4 %. Средняя удельная теплота сгорания различных фитоценозов изменяется в пределах 16,7-20,5 КДж/г (или 16700-20500 КДж/кг). Величина q меняется в онтогенезе и различна по органам конкретных культурных растений [105]. Коэффициент $K_{хоз}$ для зерновых культур варьирует в пределах 0,35-0,60 (озимая рожь, яровая пшеница), а для технических культур – в пределах 0,50-0,75 (картофель, сахарная свекла).

Действительно возможная урожайность ($Y_{\partial в}$) отличается от Y_{nm} тем больше, чем значительные почвенно-климатические факторы отличаются от оптимальных. Его можно определить по формуле

$$Y_{\partial в} = Y_{nm} \cdot f_1(x_1) f_2(x_2) \dots f_n(x_n), \quad (8.16)$$

где $f_1(x_1)$ – характеризует зависимость урожая от условий увлажнения; $f_2(x_2)$ \dots $f_n(x_n)$ – от других лимитирующих факторов климата (заморозкоопасности, морозоопасности зимой, степени оптимальности термических ресурсов и др.).

В умеренном поясе, за исключением зоны избыточного увлажнения, при расчете действительно возможного урожая наиболее часто ограничиваются учетом первого фактора – влагообеспеченности растений и тогда используется формула вида

$$Y_{\partial в} = Y_{nm} \cdot \frac{E}{E_o}, \quad (8.17)$$

где E – суммарное испарение или фактическое водопотребление культуры; E_o – испаряемость или оптимальное водопотребление; E/E_o – индекс сухости климата или влагообеспеченность культуры.

Испаряемость можно определить по формуле, предложенной А.М. Алпатьевым [8], вида

$$E_o = K_{\delta} \cdot \Sigma d, \quad (8.18)$$

где K_{δ} – биологический коэффициент испарения, принятый в среднем равным 0,65; Σd – сумма дефицитов влажности воздуха, рассчитанная за вегетационный период культуры. Испаряемость можно рассчитать и по формуле, предложенной М.И. Будыко и Л.И. Зубенок [13, 35], вида

$$E_o = 0,70 \Sigma \left(\frac{R - B}{L} \right), \quad (8.19)$$

где R – радиационный баланс подстилающей поверхности; B – поток тепла в почву; L – скрытая теплота испарения.

Суммарное испарение (E) рассчитывается с помощью уравнения водного баланса вида

$$E = \Sigma r + (W_n - W_k) - f, \quad (8.20)$$

где Σr – сумма осадков за вегетационный период; $W_n - W_k$ – соответственно запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на начало и конец вегетации культуры; f – поверхностный сток.

Метод эталонных урожаев, предложенный Х.Г. Тоомингом [101, 102], и его физико-статистическая модель нашли широкое признание в развитии в последующих исследованиях А.Н. Полевого и А.Н. Витченко [53, 86], З.А. Мищенко [64, 66], Т.И. Турманидзе [103] и др. применительно к различным регионам СНГ. Достоинством рассмотренной модели является её лаконичность с ограниченным использованием эмпирических параметров. А входящие в неё агроклиматические показатели ΣQ_{ϕ} , E , E_o и E/E_o отличаются чувствительностью к микроклимату. Поэтому модель перспективна для агроклиматической оценки продуктивности однолетних и многолетних культур, как в зональном разрезе, так и в пределах ограниченных территорий со сложным рельефом или с большой пестротой почв.

Рассмотрим некоторые примеры агроклиматической оценки урожаев разного вида на основе моделирования с географическим подходом. Ориентируясь на значение КПД использования ФАР посевами в 2%, Х.Т. Тооминг и П.Х. Каринг [36, 102] рассчитали потенциальный урожай (Y_{nm}) и действительно возможный урожай ($Y_{\partial в}$) многолетних трав, а так-

же недоборы урожая, обусловленные дефицитом влаги, для территории Эстонии. Они также выполняли ЭВМ-картирование Y_{nm} , Y_{dv} и $(Y_{nm} - Y_{dv})$. Позднее Х.Г. Тооминг и Ю.В. Сепп выполнили агроклиматическую оценку Y_{nm} , Y_{dv} урожаев картофеля с вероятностной оценкой в Эстонии.

Принимая за теоретическую основу сформулированную Х.Г. Тоомингом концепцию максимальной продуктивности растений, А.Н. Полевой [53, 85] разработал динамико-статистическую модель для агроклиматической оценки потенциального (Y_{nm}) и действительно возможного (Y_{dv}) урожаев с введением модификационных формул. Шаг модели – месяц и за вегетационный период. Потенциальный КПД использования ФАР растениями (η_n) рассчитывается по модификационной формуле в виде

$$\eta_n = \frac{q \cdot Y_{\max} \cdot 100 \cdot B \cdot R}{\sum Q_{\text{ср.мин}}}, \quad (8.21)$$

где Y_{\max} – максимальная урожайность сельскохозяйственных культур, получаемых на уровне агротехники Госсортосети; $\sum Q_{\text{ср.мин}}$ – сумма ФАР за наиболее короткий период вегетации культуры (МДж/м²); B – коэффициент, характеризующий уровень плодородия пашни ключевого района, безразмерный

Коэффициент B рассчитывается по формуле

$$B = \frac{B_{nm}}{B_{ng}}, \quad (8.22)$$

где B_{nm} – бонитет пашни, баллы (без учета климатической поправки), исследуемой территории; B_{ng} – бонитет пашни госсортоучастка с максимальным урожаем культуры, баллы. Коэффициент R рассчитывается по формуле

$$R = 0,001 F (1-H), \quad (8.23)$$

где F – содержание сухого вещества в хозяйственно ценной части урожая сельскохозяйственных культур (%); H – переводной коэффициент, отражающий соотношение хозяйственно ценной части урожая к общей сухой биомассе, безразмерный.

Потенциальный урожай биомассы расчетного месяца вегетационного периода ($Y_{ny}^i, \text{ц} / \text{га}$) рассчитывается по формуле

$$Y_{ny}^i = \frac{\sum Q_{\phi}^i \cdot \eta_n}{q \cdot R}. \quad (8.24)$$

Действительно возможный урожай ($Y_{\partial в}$) рассчитывается с учетом лимитирующих факторов по формуле

$$Y_{\partial в}^i = Y_{ny}^i \cdot \psi^i \cdot \lambda^i \cdot \alpha, \quad (8.25)$$

где ψ^i - функция воздействия температуры на продуктивность посевов; λ^i – функция воздействия влажности полуметрового слоя почвы; α - функция воздействия условий перезимовки на продуктивность озимых культур.

С помощью вышеуказанной модели авторы выполнили оценку агро-экологического потенциала ландшафтов Беларуси на примере озимой ржи, озимой пшеницы, ярового ячменя, картофеля и льна-долгунца. Для этих культур они рассчитали Y_{ny} , $Y_{\partial в}$ в сравнении с производственными урожаями (Y_n), а также разности ($Y_{ny} - Y_{\partial в}$) и ($Y_{\partial в} - Y_n$). Авторы также составили ряд карто-схем распределения потенциальных и действительно возможных урожаев сельскохозяйственных культур по административным районам страны

Иной подход осуществила З.А. Мищенко [61, 66] для выявления географической изменчивости расчетных урожаев ряда культур в зависимости от показателей агроклиматических ресурсов. На первом этапе она выполнила агроклиматическое районирование радиационно-световых и тепловых ресурсов в среднем масштабе. (1:400000) на территориях Молдовы и Одесской области. На втором этапе приняв за основу физико-статистическую модель Х.Г. Тооминга «Климат – урожай» и введя ряд модификационных формул, автор определила для каждого мезорайона, выделенного на соответствующих картах, потенциальные (Y_{nm}) и действительно возможные урожаи ($Y_{\partial в}$) винограда, кукурузы, подсолнечника с учетом географической изменчивости показателя влагообеспеченности в виде относительно-го испарения – E/E_o . Расчеты Y_{nm} и $Y_{\partial в}$ выполнялись по заданным значениям КПД использования ФАР растениями (η) в 1, 2, 3 %. Позднее З.А. Мищенко, С.В. Ляхова, Н.В. Кирнасовская [64, 76, 79] с аналогичным подходом выполнили региональную оценку и районирование агроклиматических ресурсов на всей территории Украины применительно к продуктивности винограда и подсолнечника. Потенциальные и действительно-возможные урожаи определены при разных значениях КПД использования ФАР (η) с помощью модели "Климат - урожай", адаптированной к этим культурам.

8.2. Агроклиматическая оценка расчетных урожаев винограда разного вида и уровня с учетом микроклимата

В настоящее время созданы различные модели агроклиматического районирования территории СНГ или крупных ее частей в мелком масштабе. Большинство из них можно условно разделить на две группы. В первой – по распределению тех или иных агроклиматических показателей определяются ареалы распространения сельскохозяйственных культур. Во второй группе рассматривается урожайность, т.е. на карте выделяются макрорайоны, различающиеся по величине урожая конкретной культуры или нескольких культур в абсолютных или относительных значениях. Несмотря на их ценность, они не удовлетворяют современные запросы сельскохозяйственной науки и практики. С их помощью затруднительно разработать научно-обоснованные рекомендации по развитию адаптивного растениеводства на ограниченной территории (небольшая страна, административная область, район, отдельное хозяйство).

Оптимальное решение задачи возможно при осуществлении системного подхода, содержащего все необходимые компоненты для получения исчерпывающей агроклиматической информации. На карте агроклиматического районирования и в легенде к ней должны быть выделены таксономические единицы, различающиеся не только по показателям климата и набору сельскохозяйственных культур, но и по их урожайности. Для оценки урожаев, получаемых не только в производственных условиях, но и в соответствии с биоклиматическим потенциалом территории применяются физико-статистические модели «Климат-урожай» различной сложности.

В данной главе рассматривается такой комплексный подход к решению задачи применительно к территории Украины. В качестве модельной культуры взят виноград, являющийся весьма ценной культурой, под которой заняты значительные площади сельскохозяйственных угодий и предполагается их расширение. Концепция максимальной продуктивности культурных растений основывается на учете фотосинтетически активной радиации (ФАР) и ряда лимитирующих факторов климата. Поэтому на первом этапе решается задача агроклиматического районирования радиационно-тепловых ресурсов на территории Украины. На втором этапе выполняется количественная оценка потенциально возможных и действительно возможных урожаев средне-спелых сортов винограда разного уровня с привязкой к выделенным на карте макрорайонам в ареале промышленного виноградарства.

В качестве картографической основы использовалась физико-географическая карта Украины в рабочем масштабе, максимально приближенному к среднему (1:1000000). Комплексное районирование радиационно-световых ресурсов и тепловых ресурсов выполнено с применением методики уплотнения агроклиматической информации для условий открыто-

го ровного места. Результаты этой работы представлены в главе 1 на рис. 1.3 и в табл. 1.6.

На карте агроклиматического районирования выделено 7 макрорайонов, значительно различающихся в зональном разрезе по показателям ΣQ , ΣQ_{ϕ} , ΣS_c , ΣT_c выше 10°C и $N_{\text{ТП}}$ в пределах страны. Представленная агроклиматическая карта и количественная легенда к ней (рис. 1.3 и табл. 1.6) послужила научной основой для разработки практических рекомендаций по оптимизации размещения винограда, кукурузы и подсолнечника на сортовом уровне, как на равнинных землях, так и на склоновых землях в Украине. Кроме того, с ее помощью можно выполнить количественную оценку продуктивности теплолюбивой группы однолетних и многолетних культур, в том числе винограда.

Количественная оценка расчетных урожаев винограда разного вида и уровня выполнена с применением физико-статистической модели Х.Г.Тооминга [101, 102]. Модель «Климат-урожай» адаптирована к виноградному растению с введением ряда методических приемов и модификационных формул. Расчеты потенциальных и действительно возможных урожаев выполнены для заданных значений КПД использования ФАР (η) в 1%, 2 и 3% с привязкой к выделенным макрорайонам на агроклиматической карте (рис.1.3). При расчете действительно-возможных урожаев винограда учтена географическая изменчивость в пределах страны показателя влагообеспеченности в виде относительного испарения – E/E_0 .

Потенциальный урожай сухой биомассы кустов винограда (Y_{nm}) обеспечивается приходом энергии фотосинтетически активной радиации (ФАР) за период активной вегетации и рассчитывался по формуле:

$$Y_{nm} = \frac{\eta \Sigma Q_{\phi\delta}}{q}, \quad (8.26)$$

где Y_{nm} – потенциальный урожай сухой биомассы в $\text{кг}/\text{м}^2$; η – КПД использования ФАР виноградниками в %; q – удельная теплота сгорания в $\text{МДж}/\text{кг}$; $\Sigma Q_{\phi\delta}$ – сумма ФАР, рассчитанная от даты набухания почек до созревания винограда среднеспелых сортов в $\text{МДж}/\text{м}^2$. Удельная теплота сгорания сухой биомассы принята равной $16.76 \text{ МДж}/\text{кг}$. При этом $Y_{\text{ПТ}}$ рассчитан по заданным значениям КПД по использованию солнечной радиации виноградниками (η): 0,5; 1,0; 2,0; 3,0%.

Потенциальный урожай винограда (сухая биомасса гроздей) в идеальных климатических условиях рассчитывался при различных η (%) по формуле:

$$Y_{nv} = \frac{\eta \Sigma Q_{\phi\delta} \cdot K_X}{q}, \quad (8.27)$$

где K_x - коэффициент, определяющий хозяйственно ценную часть урожая. Этот коэффициент представляет собой отношение хозяйственно ценной части урожая к урожаю потенциальному (Y_{nm} / Y_{nv}). Для винограда K_x принимают равным 0,4-0,5.

В производственных условиях урожай винограда получают в виде сырых гроздей. Поэтому для сравнительной оценки расчетных урожаев разного уровня с производственными (Y_n) представляется важным их определение не только в виде сухой биомассы, но и сырых гроздей. Потенциально возможный урожай сырых гроздей рассчитывался по формуле:

$$Y_{nc} = \frac{100 \cdot Y_{nm} \cdot K_x}{B_c}, \quad (8.28)$$

где B_c - содержание сухого вещества в гомогенате ягод винограда (%). Значения B_c - колеблются в зависимости от сорта в пределах 20-25%.

Действительно возможный урожай сухой биомассы Y_{dv} в существующих почвенно-климатических условиях рассчитывался по формуле:

$$Y_{dv} = Y_{nm} \cdot E / E_o, \quad (8.29)$$

где E - фактическое водопотребление культуры (суммарное испарение); E_o - оптимальное водопотребление (испаряемость).

Значения E_o , характеризующее оптимальное водопотребление рассчитывалось по формуле, предложенной А.М Алпатьевым (8.18). Фактическое водопотребление (суммарное испарение) рассчитывалось по уравнению водного баланса (8.20)

Действительно возможный урожай сырых гроздей винограда (Y_{dc}) рассчитывался по формуле:

$$Y_{dc} = \frac{100 \cdot Y_{nm} \cdot K_x}{B_c} \cdot E / E_o, \quad (8.30)$$

где K_x принят равным 0,4, а B_c - 25%.

Результаты расчетов с привязкой к ряду макрорайонов, выделенных на комплексной агроклиматической карте (рис.1.3) в ареале промышленного виноградарства представлены в табл. 8.1 и 8.2. Они являются дополнительной легендой к карте и содержат количественную оценку расчетных урожаев винограда разного вида и уровня. Как видно из табл.8.1, потенциальные урожаи сухой биомассы (Y_{nm}) при различных η увеличиваются в направлении с севера на юг страны с возрастанием суммы ФАР как за теплый период с T_c выше 10^0C , так и за период активной вегетации винограда. Например, при η , равном 1% и 2%, диапазон зональных различий в Y_{nm} между четвертым и седьмым макрорайонами составляет 1,3 т/га и 2,5 т/га.-

Таблица 8.1. Агроклиматическая оценка потенциально возможных урожаев сухой биомассы винограда (Y_{nt}) и сырых гроздей (Y_{nc}) в ряде макрорайонов Украины (т/га)

Макро- район	Станция	$\Sigma Q_{фб}$ МДж/м ²	Y_{nt} при η , %				Y_{nc} при η , %			
			0,5	1,0	2,0	3,0	0,5	1,0	2,0	3,0
4	Любашевка	1355	4,0	8,1	16,1	24,2	6,5	13,0	26,0	39,0
	Запорожье	1380	4,1	8,2	16,4	24,6	6,5	13,1	26,2	39,3
	Вознесенск	1399	4,2	8,4	16,8	25,2	7,2	13,4	26,8	40,2
5	Берегово	1414	4,2	8,4	16,8	25,2	6,7	13,4	26,8	40,2
	Раздельная	1430	4,3	8,5	17,0	25,6	6,8	13,6	27,2	40,8
	Николаев	1433	4,3	8,6	17,2	25,8	6,8	13,8	27,6	41,4
	Аскания-Нова	1462	4,3	8,7	17,4	26,1	6,9	13,9	27,8	41,7
6	Одесса	1480	4,4	8,8	17,6	26,4	7,0	14,1	28,2	42,3
	Измаил	1515	4,4	9,1	18,2	27,3	7,3	14,6	29,2	43,8
	Владиславовка	1503	4,4	8,9	17,8	26,7	7,1	14,2	28,4	42,6
	Керчь	1508	4,5	9,0	18,0	27,0	7,2	14,4	28,8	43,2
7	Евпатория	1545	4,6	9,2	18,4	27,6	7,3	14,7	29,4	44,1
	Севастополь	1555	4,6	9,3	18,6	27,9	7,4	14,9	29,8	44,7
	Ялта	1562	4,7	9,4	18,6	28,0	7,4	14,9	29,8	44,7
	Алушта	1536	4,6	9,2	18,4	27,6	7,3	14,7	29,4	44,4

Таблица 8.2. Агроклиматическая оценка действительно возможных урожаев сухой биомассы винограда ($Y_{\partial в}$) и сырых ягод ($Y_{\partial с}$) в ряде макрорайонов Украины (т/га)

Макро район	Станция	$Y_{\partial в}$ при η , %				E/E_0	$Y_{\partial с}$ при η , %			
		0,5	1,0	2,0	3,0		0,5	1,0	2,0	3,0
4	Любашевка	2,2	4,4	9,0	13,5	0,55	3,6	7,2	14,4	21,6
	Вознесенск	2,0	4,0	8,0	12,0	0,47	3,2	6,3	12,6	18,9
	Запорожье	2,1	4,2	8,4	12,6	0,50	3,3	6,5	13,0	19,5
5	Берегово	2,7	5,5	11,0	15,5	0,65	4,4	8,7	17,4	26,1
	Раздельная	2,0	3,9	6,8	10,7	0,46	2,7	6,3	12,6	18,9
	Николаев	1,8	3,6	7,2	10,8	0,42	2,9	5,8	11,6	17,4
	Аскания-Нова	1,7	3,4	6,8	10,2	0,39	2,7	5,4	10,8	16,2
6	Одесса	2,0	3,9	7,8	11,7	0,44	3,1	6,2	12,4	18,6
	Измаил	2,0	3,9	7,8	11,7	0,43	3,2	6,3	12,4	18,9
	Владиславовка	1,8	3,6	7,2	10,8	0,40	2,8	5,7	11,4	17,1
	Стрелковое	2,0	3,9	7,8	11,7	0,43	3,1	6,2	12,4	18,6
	Керчь	1,9	3,8	7,9	11,4	0,42	3,0	6,0	12,0	18,0
7	Евпатория	1,7	3,3	6,6	9,9	0,36	2,7	5,3	10,6	15,9
	Севастополь	1,8	3,7	7,4	11,1	0,40	3,0	6,0	12,0	18,0
	Ялта (Никитск. сад)	1,7	3,4	6,8	10,2	0,39	2,9	5,8	11,6	17,4
	Алушта	1,8	3,6	7,2	10,8	0,39	2,8	5,7	11,4	17,4

Более значительная географическая изменчивость характерна для потенциально возможных урожаев сырых гроздей, которые так же возрастают в направлении с севера на юг. При η , равном 1% и 2%, U_{nc} составляют в четвертом макрорайоне 13 т/га и 26 т/га, а на Южном берегу Крыма в седьмом макрорайоне они увеличиваются соответственно до 14,9 т/га и 29,8 т/га. Диапазон зональных различий в U_{nc} между четвертым и седьмым макрорайонами возрастает до 1,9 т/га и 3,8 т/га.

Действительно возможный урожай винограда изменяется в обратном направлении, следуя за географической изменчивостью показателя влагообеспеченности в виде E/E_0 . Как видно из табл.8.2, урожаи сухой биомассы ($U_{\partial c}$) уменьшаются на богарных землях с севера на юг вследствие возрастания засушливости климата. При η , равном 1% и 3%, $U_{\partial c}$ винограда составляет в четвертом макрорайоне 4,0-4,5 т/га и 12,0-13,5 т/га, а на крайнем юге Украины в седьмом макрорайоне его значения не превышают 3,3-3,7 т/га и 9,9-11,1 т/га. Диапазон географических различий составляет при η , равном 1,0%, 2,0% и 3,0%, соответственно 0,7 т/га, 1,4 и 2,2 т/га.

Действительно возможный урожай сырых гроздей винограда также заметно уменьшается с севера на юг (при отсутствии орошения). При η , равном 1% и 3% $U_{\partial c}$ составляет в четвертом макрорайоне 6,3-7,2 т/га и 18,9-21,6 т/га, а в седьмом макрорайоне он не превышает соответственно 5,3-6,0 т/га и 15,9-18,0 т/га. Диапазон зональных различий увеличивается с возрастанием КПД использования ФАР и составляет при η , равном 1%, 2%, 3%, 1,0 т/га, 1,9 и 2,9 т/га. Заметное увеличение урожая винограда разного уровня характерно для Закарпатской области (ст. Берегово) с особым местным климатом и лучшими условиями увлажнения (5 макрорайон).

Выполнена оценка точности расчетов урожаев по модели путем сопоставления урожаев винограда, выраженного в производственных условиях (U_n), с действительно-возможными урожаями сырых гроздей ($U_{\partial c}$) при КПД использования ФАР (η) 0,5-1%. Установлено, что ошибка расчетов $U_{\partial c}$ не превышает $\pm 5-12\%$.

Проведена сравнительная оценка урожаев потенциально возможных и действительно возможных с производственными урожаями сырых ягод винограда (U_n). Установлено, что недобор урожая сырых гроздей в виде разности ($U_{\partial c} - U_n$) уменьшается к югу страны и составляет при η , равном 1% и 2%, в четвертом макрорайоне 3,8 и 9,8 т/га, а в седьмом – 1,3 и 7,0 т/га. Коэффициент благоприятности климата (K_{Π}), представляющий собой отношение $U_{\partial c}$ к U_{nc} , в рассмотренных макрорайонах не превышает 0,44 - 0,60. А коэффициент эффективности (K_{Θ}) использования агроклиматических ресурсов при возделывании винограда в виде отношения U_n к $U_{\partial c}$ составляет при η , равном 1 и 2%, в четвертом макрорайоне только 0,48 и 0,26, а в седьмом макрорайоне – 0,77 и 0,39.

На территории Украины склоновые земли занимают около 60% от общей площади сельскохозяйственных угодий. Потому представляет научный интерес количественная оценка влияния микроклимата склонов различной экспозиции и крутизны на возможную вариабельность потенциальных урожаев сухой биомассы винограда и сырых гроздей. Поскольку эти виды урожаев находятся в прямой зависимости от сумм суммарной радиации и ФАР, расчеты выполнены с привязкой к агроклиматической карте (рис.1.3) для 3,4,5,6,7 макрорайона по формулам:

$$Y'_{nm} = \frac{\eta \sum Q_{\phi\delta}}{q} \cdot K_Q = Y_{nm} K_Q, \quad (8.31)$$

$$Y'_{nc} = \frac{100 \cdot Y_{nm} \cdot K_x}{B_c} \cdot K_Q = Y_{nc} \cdot K_Q, \quad (8.32)$$

где Y'_{nm}, Y'_{nc} – урожаи сухой биомассы винограда и сырых гроздей на северных и южных склонах крутизной 5,10,15,20°; Y_{nm}, Y_{nc} – те же урожаи на равнинных землях (открытое ровное место); K_Q – переходные коэффициенты для пересчета $\sum Q, \sum Q_{\phi}$ с горизонтальной поверхности, на склоны.

Переходные коэффициенты K_Q для склонов различной экспозиции и крутизны разработаны Т.А. Голубовой, З.А. Мищенко, Г.Б. Пигольциной применительно к территории СНГ и наиболее детально к Украине [20, 55, 69]. Они представляют собой отношение в виде:

$$K_Q = \frac{\sum Q_c}{\sum Q}, \quad (8.33)$$

где $\sum Q_c$ – сумма суммарной радиации на искомом склоне для конкретного месяца с апреля по октябрь или за вегетационный период той или иной культуры; $\sum Q$ – то же на горизонтальной поверхности.

В главе 1 (§ 1.4) содержится оценка микроклиматической изменчивости $\sum Q_c$ на северных и южных склонах крутизной 5, 10, 15, 20° с привязкой к семи макрорайонам, выделенным на агроклиматической карте Украины. Неполные результаты расчетов Y'_{nm}, Y'_{nc} представлены в табл.8.3. Общей закономерностью является существенное увеличение потенциально возможных урожаев винограда на южных склонах и уменьшение их на северных склонах по сравнению с равнинными землями во всех макрорайонах страны. Повсеместно с увеличением крутизны склонов происходит возрастание Y'_{nm}, Y'_{nc} на южных склонах и уменьшение на северных склонах.

Таблица 8.3. Количественная оценка возможных урожаев винограда (Y'_{nm}, Y'_{nc}) на северных и южных склонах в ряде макрорайонов (т/га)

Макро- район	Склон	Крутизна, град	Y'_{nm} при η , %			Y'_{nc} при η , %		
			1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Северный	5	7,6	15,2	22,8	12,1	24,1	36,1
		10	7,3	14,5	21,7	11,6	23,2	34,8
		15	7,1	14,1	21,1	11,3	22,5	33,7
		20	6,9	13,7	20,5	11,0	22,0	33,0
	Южный	5	8,2	16,4	24,6	13,1	26,3	39,5
		10	8,4	16,8	25,2	13,4	26,8	40,2
		15	8,6	17,2	25,8	13,7	27,3	40,9
		20	8,7	17,5	26,3	13,9	27,7	41,9
4	Северный	5	8,2	15,5	23,2	12,4	24,7	37,0
		10	7,8	14,9	22,4	11,8	23,7	35,5
		15	7,5	14,3	21,2	11,2	22,6	33,8
		20	7,1	13,4	20,1	10,6	21,3	31,9
	Южный	5	8,4	16,7	25,0	13,4	26,7	40,0
		10	8,6	17,1	25,6	13,6	27,3	40,9
		15	8,8	17,5	26,2	14,0	27,9	41,8
		20	8,9	17,8	26,7	14,1	28,4	42,6

Продолжение таблицы 8.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Северный	5	8,2	16,4	24,6	13,1	26,2	39,3
		10	7,8	15,6	23,4	12,4	24,9	37,4
		15	7,4	14,8	22,2	11,8	23,6	35,4
		20	7,0	13,9	20,8	11,2	22,1	33,2
	Южный	5	8,7	17,4	26,1	13,9	27,8	41,7
		10	9,0	17,9	26,8	14,2	28,6	42,9
		15	9,0	18,1	27,1	14,4	28,8	43,2
		20	9,2	18,4	27,6	14,7	29,4	44,1
6	Северный	5	8,6	17,1	25,6	13,6	27,3	41,0
		10	8,2	16,4	24,6	13,1	26,2	39,3
		15	7,8	15,5	23,2	12,4	24,7	37,0
		20	7,2	14,5	21,8	11,6	23,1	34,6
	Южный	5	9,1	18,2	27,3	14,5	29,0	43,5
		10	9,4	18,7	28,0	15,0	29,9	44,8
		15	9,5	19,0	28,5	15,2	30,3	45,4
		20	8,9	17,8	26,7	14,1	28,4	42,6
7	Северный	5	9,8	17,5	26,2	14,0	27,9	41,8
		10	8,3	16,6	24,9	13,2	26,5	39,8
		15	7,7	15,4	23,1	12,2	24,5	36,8
		20	7,1	14,2	21,3	11,4	22,7	34,0
	Южный	5	9,5	19,0	28,5	15,2	30,3	45,4
		10	9,8	19,5	29,2	15,6	31,1	46,6
		15	10,0	20,1	30,2	16,0	32,1	48,2
		20	10,3	20,4	30,9	16,4	32,9	49,4

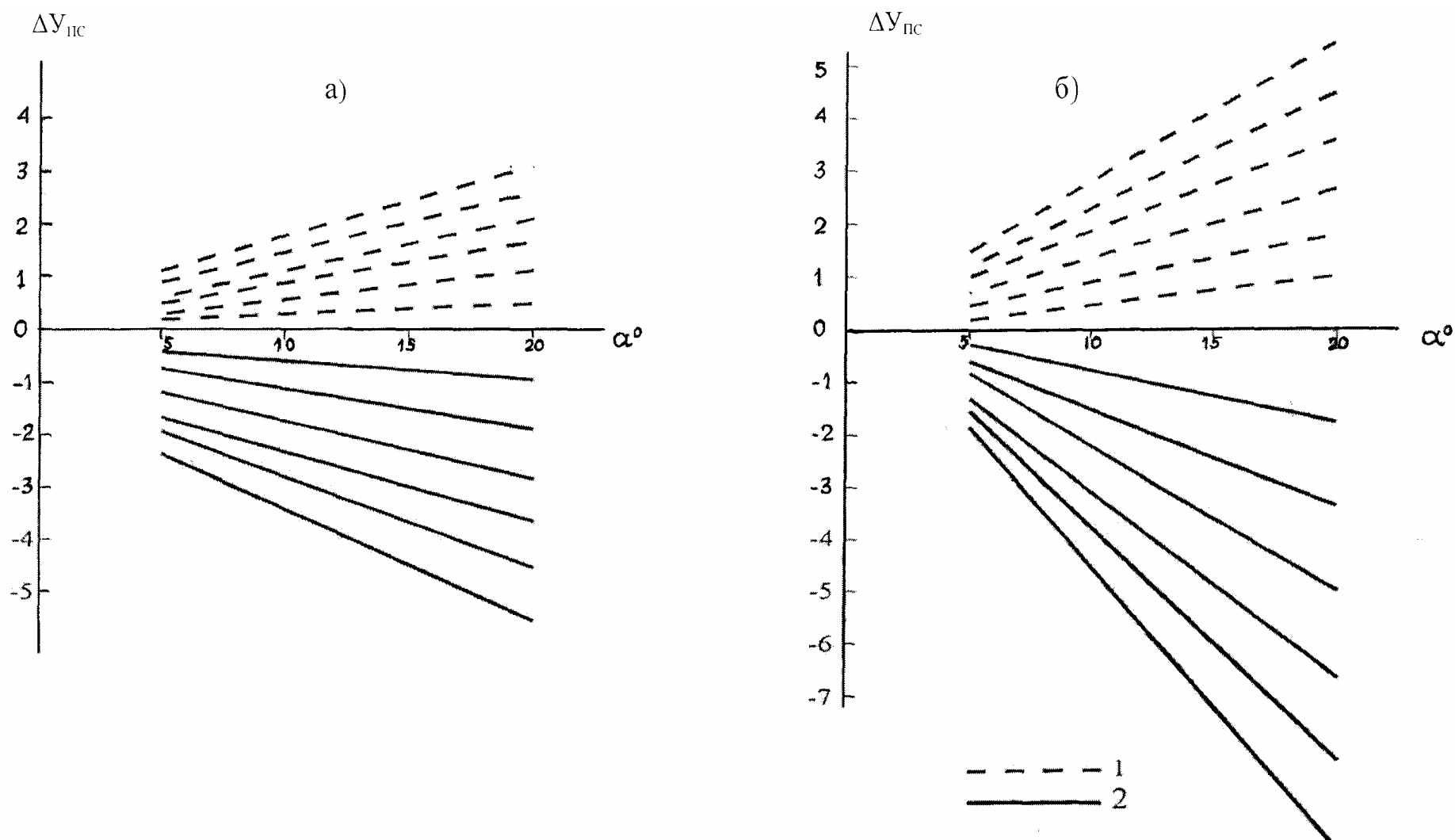


Рис. 8.1. Отклонения потенциально возможных урожаев сырых гроздей винограда (Y_{nc} , т/га) на северных и южных склонах различной крутизны (α°) по сравнению с открытым ровным местом при различных значениях η %, (0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3). Макрорайоны: а) третий; б) седьмой; склоны: 1 – южный, 2- северный

Например, в 3-ем макрорайоне на северных склонах крутизной $10,20^0$ при η , равном 1%, U'_{nm} и U'_{nc} составляют 7,3 – 6,9 т/га и 11,6 и 11,0 т/га, а на южных склонах той же крутизны возрастают до 8,4 – 8,7 т/га и 13,4 и 13,9 т/га. В пятом макрорайоне на северных склонах крутизной 10 и 20^0 при η равном 1% U'_{nm} и U'_{nc} не превышают 7,8 – 7,0 т/га и 12,4 – 11,2 т/га, а на южных склонах той же крутизны – увеличиваются до 9,0 – 9,2 т/га и 14,2 – 14,7 т/га. В седьмом макрорайоне на Южном берегу Крыма на северных склонах крутизной 10 и 20^0 при η равном 1% потенциальный урожай сухой биомассы и сырых гроздей винограда не превышают 8,3 – 7,1 т/га и 13,2 – 11,4 т/га, а на южных склонах той же крутизны U'_{nm} и U'_{nc} возрастают до 9,8 – 10,3 т/га и 15,6 – 16,4 т/га. При η , равном 2% потенциальные урожаи винограда на склонах увеличивается в два раза и соответственно возрастает их изменчивость под влиянием микроклимата.

Выполнена также агроклиматическая оценка отклонений потенциально возможных урожаев винограда на склонах относительно ровного места в виде разностей $(U'_{nm} - U_{nm})$ и $(U'_{nc} - U_{nc})$ для тех же макрорайонов при различных значениях КПД использования ФАР (η , %). Установлено, что на южных склонах крутизной 10, 20^0 возможна прибавка урожая винограда (U_{nc}) при η равном 1%, в 6-11 и 11 – 19 ц/га. На северных склонах той же крутизны возможен недобор урожая из-за уменьшения прихода ФАР при η равном 1% в 12-13 ц/га и 18-32 ц/га.

Из рис. 8.1 видно, что диапазон различий в потенциально возможных урожаях сырых гроздей винограда под влиянием микроклимата склонов возрастает в направлении с севера на юг страны с увеличением их крутизны и КПД использования ФАР. Например, в 3-ем макрорайоне при η , равном 1%, микроклиматические различия U'_{nc} между южными и северными склонами крутизной 10 и 20^0 составляют 18 ц/га и 29 ц/га, а в 7-ом макрорайоне эти различия возрастают до 23 ц/га и 51 ц/га. При η , равном 2%, микроклиматические различия в U'_{nc} между южными и северными склонами крутизной 10, 20^0 возрастают в 3-ем макрорайоне до 36 ц/га и 57 ц/га, а в 7-ом макрорайоне – до 46 ц/га и 102 ц/га.

В заключение следует отметить следующее. В настоящее время при выращивании винограда в производственных условиях на территории Украины КПД использования ФАР виноградными плантациями не превышает 0,6-0,8%. Следовательно, имеется громадный резерв для получения более высоких урожаев винограда в соответствии с агроклиматическими ресурсами ряда макрорайонов на территории Украины. Вполне возможно повышение КПД использования ФАР (η) виноградниками за счет рационального размещения сортов с учетом микроклимата, введения дифференцированной технологии возделывания, включая укрывное и неукрывное вино-

градарство, а также правильно организованного орошения в ряде южных районов.

8.3. Агроклиматическая оценка расчетных урожаев подсолнечника разного вида и уровня

Подсолнечник является ценной технической культурой, под которой заняты значительные площади сельскохозяйственных угодий и предполагается их расширение. Однако до настоящего времени при агроклиматической оценке урожайности подсолнечника, как на территории СНГ, так и в Украине применялся эмпирико-статистический подход. В этом случае получали уравнения связи между ежегодными значениями урожая подсолнечника и тем или иным набором агрометеорологических показателей за прошедшие годы наблюдений с периодом в 25-30 лет.

Анализ динамики урожаев сельскохозяйственных культур (в том числе подсолнечника), получаемых в производственных условиях, за последние 30 лет на территории Украины позволяют сделать вывод о том, что их уровень значительно ниже биологических возможностей современных сортов. Причина кроется в отсутствии детальной оценке агроклиматических ресурсов в пределах ограниченных территорий с неоднородной деятельной поверхностью, а также в хозяйственных недоработках (неправильное размещение сортов и несоблюдение технология возделывания культур). Поэтому для повышения эффективности обслуживания сельскохозяйственного производства необходимо ориентировать потребителей агроклиматической информации на другие уровни урожайности культурных растений, которые можно получить в соответствии с биоклиматическим потенциалом той или иной территории.

Оптимальное решение задачи возможно на региональном уровне при осуществлении системного подхода для получения исчерпывающей агроклиматической информации. Его основными этапами являются: 1) выбор и расчеты наиболее информативных показателей; 2) комплексная оценка и районирование агроклиматических ресурсов в среднем и крупном масштабах на искомой территории; 3) оценка мезо- и микроклиматической изменчивости показателей климата; 4) количественная оценка расчетных урожаев сельскохозяйственных культур с привязкой к выделенным на карте макро- и мезо- районам.

В данной главе ставится задача применить вышеизложенную методику к агроклиматической оценке продуктивности подсолнечника на основе моделирования в Украине. Количественная оценка продуктивности подсолнечника с привязкой к агроклиматической карте радиационно-тепловых ресурсов на территории Украины выполнена по методу эталонных урожаев, предложенному Х.Г. Тоомингом [102], с применением физико-статистической модели. Суть его заключается в сравнении урожаев сель-

скохозяйственных культур разного вида - от производственных (U_n) до потенциальных при идеальных метеорологических условиях (U_{nm}) и действительно-возможных урожаев ($U_{\partialв}$) в реальных существующих почвенно-климатических условиях. Модель «Климат–урожай» для средних многолетних условий адаптирована к подсолнечнику с введением ряда методических приемов. Расчеты U_{nm} и $U_{\partialв}$ выполнены для 75 пунктов с следующей привязкой к семи выделенным на карте макрорайонам для среднеспелых сортов подсолнечника.

Потенциальный урожай сухой биомассы подсолнечника рассчитывался по модификационной формуле 8.15, где удельная теплота сгорания сухой биомассы принята равной 16,75 МДж/м²; биологическая сумма ФАР рассчитывалась от даты посева до даты технической спелости подсолнечника в МДж/м², коэффициент, определяющий хозяйственно ценную часть урожая для культуры, принят равным 0,6. Обычно при программировании урожая той или иной культуры в конкретной местности значение η определяется отношением количества энергии запасенной в образовавшейся фитомассе урожая к количеству ФАР за вегетационный период и выражается формулой 8.21. Однако достоверно определить биологический урожай любой культуры в масштабе страны затруднительно. Кроме того в литературных источниках потенциальные значения η_n для подсолнечника отсутствуют. Поэтому значения U_{nm} и $U_{\partialв}$ рассчитывались по заданным величинам КПД использования ФАР посевами (η): 0,5%; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0%.

Расчет действительно-возможного урожая любой культуры ($U_{\partialв}$), в том числе подсолнечника, рассчитывается с учетом использования посевами энергии ФАР и лимитирующих факторов климата. В общем виде $U_{\partialв}$ рассчитывается по формуле 8.17, где относительное испарение или коэффициент влагообеспеченности (E/E_o) рассчитывался за вегетационный период подсолнечника.

В результате проведенных расчетов выполнена оценка и комплексное районирование агроклиматических ресурсов ($\Sigma Q_{фб}$, E/E_o) в среднем масштабе (1:1000000) на территории Украины с учетом продуктивности подсолнечника в соответствии с биоклиматическим потенциалом земель. На карте (рис. 8.2) выделено семь макрорайонов, значительно различающихся по климатическим суммам ФАР за теплый период с температурой воздуха выше 10 °С, а также по условиям влагообеспеченности подсолнечника. К агроклиматической карте прилагается легенда в виде табл. 8.4, содержащая количественную оценку для 11-ти показателей, в том числе потенциальных и действительно-возможных урожаев подсолнечника различного уровня (т.е. при разных η).

Как видно из рис. 8.2 и табл. 8.4 климатические суммы ФАР на севере Украины (макрорайон 1) не превышают 1350 МДж/м², а на крайнем юге

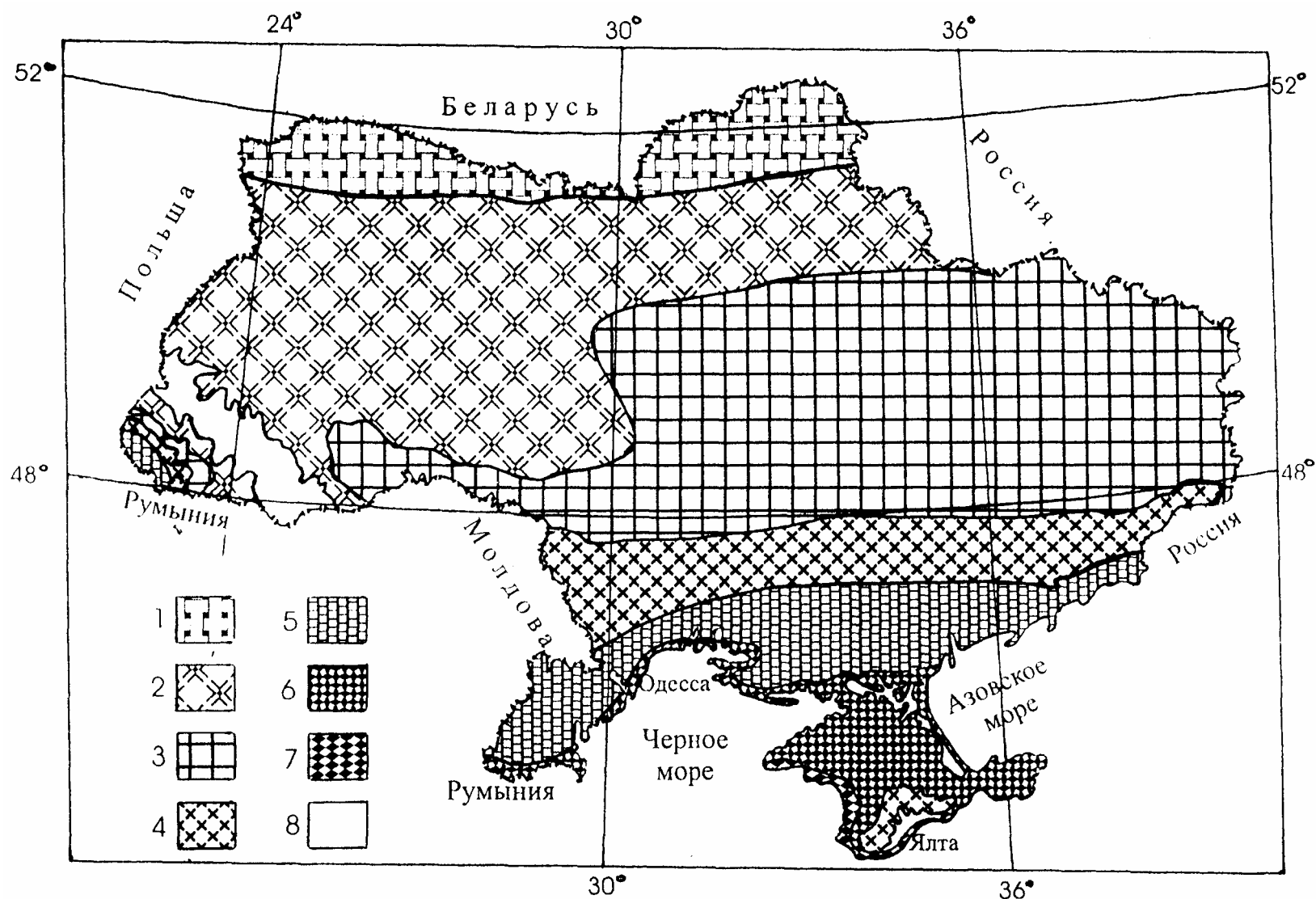


Рис. 8.2. Агроклиматическое районирование урожаев подсолнечника разного вида и уровня на основе моделирования в Украине. Макрорайоны 1 – 7 (см. табл. 8.4); 8 – горы

Таблица 8.4. Региональная агроклиматическая оценка потенциальных (Y_{nm}) и действительно-возможных урожаев (ц/га) подсолнечника ($Y_{\partial\partial}$) при разных значениях η (%) в Украине

Макро район	ΣQ_{ϕ} МДж/м ²	$\Sigma Q_{\phi\partial}$ МДж/м ²	Y_{nm} при η , %				E/E_o	$Y_{\partial\partial}$ при η , %			
			0,5	1,0	2,0	3,0		0,5	1,0	2,0	3,0
1	< 1350	1162	20,9	41,8	83,4	125,0	0,72	15,0	30,0	60,0	90,0
2	1350-1450	1170	21,0	42,0	84,0	125,4	0,70	14,7	29,4	58,8	88,2
3	1450-1550	1240	22,3	44,5	89,0	133,2	0,63	14,0	29,0	57,0	86,0
4	1550-1650	1279	23,1	46,2	92,4	138,6	0,46	10,6	21,2	42,5	63,8
5	1650-1750	1317	23,2	46,5	93,0	139,0	0,44	10,2	20,4	40,8	61,2
6	1750-1850	1342	24,0	48,0	96,0	144,0	0,43	10,3	20,6	41,2	61,8
7	>1850	1343	24,1	48,2	96,4	144,6	0,40	9,6	19,2	38,4	57,6

(макрорайон 7) они увеличиваются до 1850 МДж/м² и более. Диапазон зональных различий в приходе ФАР составляет 500 МДж/м², а в суммах суммарной радиации он увеличивается вдвое и оказывается более 1000 МДж/м². Биологические суммы ФАР ($\Sigma Q_{фб}$) для подсолнечника характеризуются большой устойчивостью в пространстве с тенденцией у их увеличению в направлении с севера на юг страны от 1162 МДж/м² до 1343 МДж/м².

Так как потенциальный урожай в значительной степени зависит от фотосинтетически активной радиации, а суммы ФАР возрастают с севера на юг, то соответственно и U_{nm} хозяйственно ценной части урожая подсолнечника увеличивается в этом направлении. Например, при η равном 1% и 3% на севере (макрорайон 1) урожай составляет 41,8 и 125,0 ц/га, в центральном регионе (макрорайон 4) соответственно - 46,2 и 138,6 ц/га, а на юге (макрорайон 7) он возрастает до 48,2 и 144,6 ц/га. Географическая изменчивость потенциальных урожаев при идеальных метеорологических условиях и высокой агротехнике в масштабе страны при η равном 1%, 2%, 3% составляет соответственно 6,4 ц/га, 13,0 ц/га и 19,6 ц/га.

Действительно-возможный урожай семян подсолнечника изменяется в обратном направлении, следуя за географической изменчивостью показателя влагообеспеченности в виде $E_{ф}/E_0$. Как видно из табл.8.4, $U_{дв}$ уменьшается с севера на юг вследствие возрастания сухости климата. Наглядно видно, что при η равном 1 и 3% $U_{дв}$ составляет в 1 макрорайоне 30,0 ц/га и 90,0 ц/га, а на крайнем юге Украины в Крыму (7 макрорайон) его значения не превышают 19,2 ц/га и 57,6 ц/га. Диапазон географических различий в действительно возможных урожаях составляет при КПД использования ФАР посевами подсолнечника равными 1%, 2% и 3% соответственно 11 ц/га, 22 ц/га и 32 ц/га.

Следует иметь в виду, что самые высокие значения действительно-возможного урожая подсолнечника имеют место на севере страны – первый макрорайон и северо-западная часть второго (этот факт подтверждается литературными источниками и данными Госсортосети), но вероятность их получения мала из-за нехватки солнечного тепла и не превышает 20-30%, т.е. такие урожаи можно получать здесь не чаще 2-3 раз в 10 лет. Поэтому эта территория не пригодна для возделывания подсолнечника на промышленной основе.

Зональная оценка урожаев подсолнечника разного вида и уровня, представленная на рис. 8.2 и в табл. 8.4 подтверждается и расчетами на отдельных станциях, входящих в тот или иной макрорайон. На рис. 8.3 представлена зависимость потенциальных (U_{nm}) и действительно-возможных урожаев ($U_{дв}$) от КПД использования ФАР посевами (η). Наглядно видно, что повсеместно при возрастании η от 1% до 3% оба вида расчетных

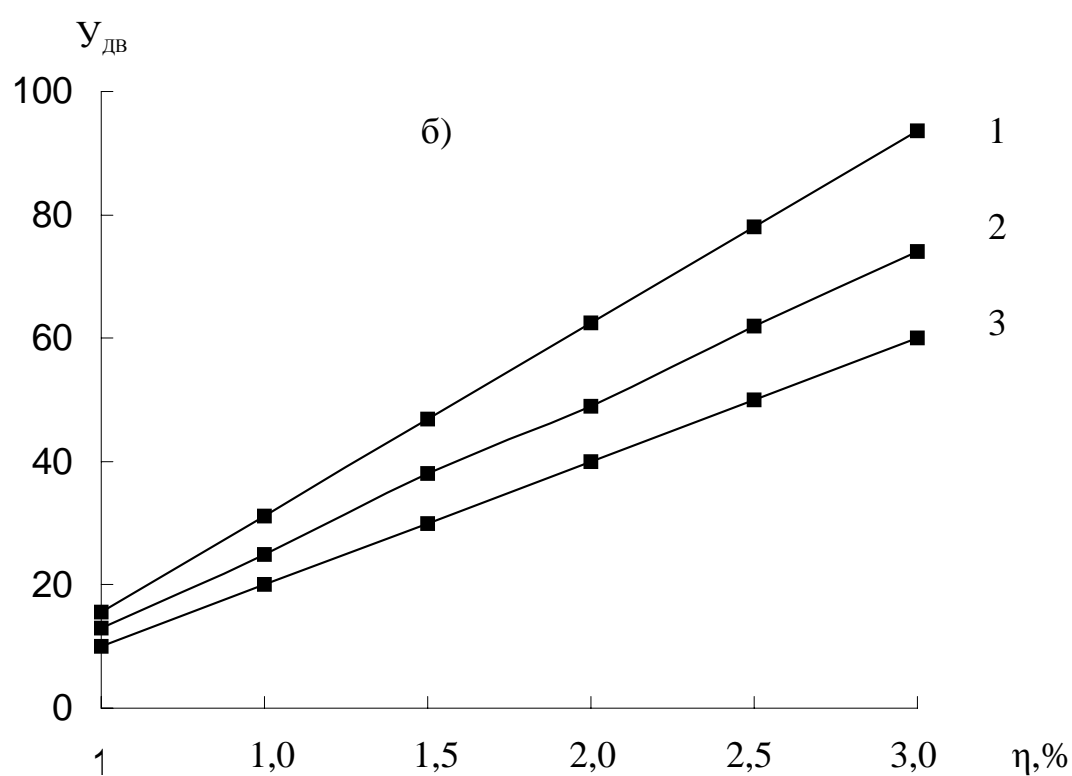
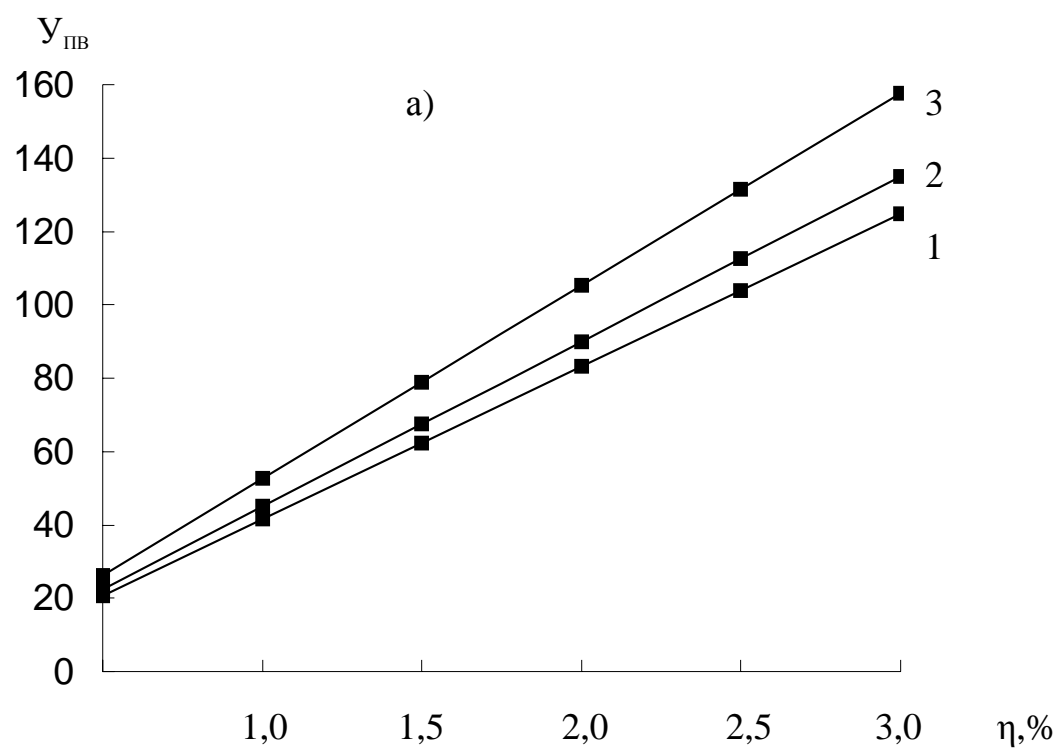


Рис. 8.3. Зависимости потенциально-возможного урожая (ц/га) подсолнечника (а) и действительно-возможного урожая (б) от КПД использования ФАР ($\eta, \%$): 1 – ст. Любешев; 2 – ст. Любашевка; 3 – ст. Евпатория

урожаев подсолнечника увеличиваются в три раза. При этом сохраняются географические особенности распределения U_{nm} и $U_{\partial в}$ на территории Украины.

А именно, потенциальные урожаи увеличиваются в направлении с севера на юг и составляют при $\eta = 1, 2, 3 \%$: на ст. Любешев (макрорайон 1) соответственно 42,0; 83,0; 125,0 ц/га; на ст. Любашевка (макрорайон 4) 45,0, 90,0, 135,0 ц/га; на ст. Евпатория (макрорайон 7) 53,0; 105,0; 158,0 ц/га. Действительно-возможные урожаи изменяются по территории в обратном направлении и составляют при $\eta = 1, 2, 3 \%$: на ст. Любешев (макрорайон 1) соответственно 31,0; 62,0; 94,0 ц/га; на ст. Любашевка (макрорайон 4) 25,0; 49,0; 74,0 ц/га; на ст. Евпатория (макрорайон 7) 20,0; 40,0; 60,0 ц/га.

Проведена сравнительная оценка урожаев подсолнечника трех видов: потенциально-возможного, действительно-возможного и производственного. Для этой цели рассчитана разность $(U_{nm} - U_{\partial в})$, характеризующая недобор урожая, вызванный тем, что климатические условия не идеальны. Определен также коэффициент благоприятности климатических ресурсов (K_{∂}) для выращивания подсолнечника по формуле, описанной в § 8.1. Коэффициент эффективности использования агроклиматических ресурсов (K_{η}) показывает какую долю составляет урожай в производстве (U_n) от действительно-возможного урожая в соответствии с биоклиматическим потенциалом территории (см. § 8.1). Фактически этот коэффициент (K_{η}) и разность $(U_{\partial в} - U_n)$ характеризуют существующий уровень земледелия в конкретном регионе.

Результаты расчетов представлены в табл. 8.5. В ней содержатся количественные характеристики разностей $(U_{nm} - U_{\partial в})$, $(U_{\partial в} - U_n)$, а также коэффициентов K_{∂} и K_{η} для семи макрорайонов. Наглядно видно, что недобор урожая подсолнечника в виде разности $(U_{nm} - U_{\partial в})$ увеличивается с возрастанием сухости климата с севера на юг страны и составляет при η равном 1% и 2% в первом макрорайоне 12, ц/га и 23,0 ц/га, в четвертом макрорайоне 25,0 ц/га и 50,0 ц/га, а в седьмом макрорайоне 29,0 ц/га и 58,0 ц/га. Коэффициент благоприятности климата для выращивания этой культуры в указанных макрорайонах уменьшается с севера на юг от 0,70 до 0,40.

Недобор урожая подсолнечника в виде разности $(U_{\partial в} - U_n)$ составляет при η равном 1% и 2%: в первом макрорайоне 9,0 ц/га и 39,0 ц/га; в четвертом макрорайоне 3,0 ц/га и 25,0 ц/га; в седьмом 5,0 ц/га и 24,0 ц/га. При этом коэффициент эффективности использования климатических ресурсов K_{η} , характеризующий уровень культуры земледелия не превышает при η равном 1% и 2% в первом макрорайоне 0,7 и 0,4, в четвертом макрорайоне 0,8 и 0,4, а в седьмом – 0,7 и 0,4.

Таблица 8.5. Сравнительная оценка степени благоприятности климата и эффективности его использования для получения урожая подсолнечника (ц/га) в Украине

макро район	Y_n	$(Y_{nm} - Y_{де})$ при η , %		K_6 при η , %	$(Y_{де} - Y_n)$ при η , %		K_9 при η , %	
		1	2	1-2	1	2	1	2
1	21	12	23	0,7	9	39	0,7	0,4
2	20	13	25	0,7	9	39	0,7	0,3
3	19	16	32	0,7	10	38	0,7	0,3
4	18	25	50	0,6	3	25	0,8	0,4
5	17	26	52	0,4	3	24	0,8	0,4
6	15	27	55	0,4	7	26	0,7	0,4
7	14	29	58	0,4	5	24	0,7	0,4

На основе впервые полученных данных по урожаям подсолнечника различного вида и уровня можно сделать следующее заключение. В настоящее время в Украине при выращивании подсолнечника в производственных условиях КПД использования ФАР находится в северных районах на уровне 0,8 %, а в южных, при естественном увлажнении, на уровне 0,6 %. Следовательно, имеется большой резерв для получения более высоких урожаев этой культуры в соответствии с агроклиматическими ресурсами ряда макрорайонов страны. Вполне возможно в ближайшие годы повышение КПД использования ФАР посевами (η) за счет рационального размещения сортов с учетом микроклимата, введение дифференцированной технологии возделывания, а в южных районах - периодического орошения.

8.4. Региональная оценка и районирование урожаев винограда, подсолнечника и кукурузы в среднем масштабе с учетом микроклимата

Актуальной проблемой современной агрометеорологии является разработка эффективных методов детальной оценки агроклиматических ресурсов на ограниченных территориях (административная область, район, отдельное хозяйство) с использованием показателей климата, характеризующихся высокой биологизацией и чувствительных к микроклимату. Систематизация агроклиматических и микроклиматических параметров в масштабе СНГ послужила основой для разработки нового метода регио-

нальной оценки и разномасштабного картографирования агроклиматических ресурсов с учетом микроклимата (макро, мезо, микро). Реализация метода осуществлена З.А. Мищенко [55, 63, 66, 72] на примере ряда административных областей России и Молдовы.

В последние годы указанное направление исследований получило дальнейшее развитие с целью объединить в комплексном районировании ограниченных территорий оценку агроклиматических ресурсов с расчетными урожаями сельскохозяйственных культур на основе моделирования. Рассмотрим результаты научных разработок на примере Одесской области Украины. На первом этапе решалась задача комплексного агроклиматического районирования показателей радиационно-световых и тепловых ресурсов на территории области в среднем масштабе с учетом микроклимата склонов. На втором этапе выполнялась количественная оценка потенциальных и действительно возможных урожаев винограда, кукурузы на зерно и семян подсолнечника с привязкой к выделенным на карте мезорайонам (Рис. 8.4).

На территории области имеются только две актинометрические станции. Поэтому необходимый для картографирования банк данных о суммарной солнечной радиации ΣQ , фотосинтетически активной радиации (ФАР) ΣQ_{ϕ} и продолжительности солнечного сияния за теплый период со средней суточной температурой воздуха выше 10°C ΣS_c получен с помощью методики уплотнения агроклиматической информации. Суть ее заключается в установлении количественных зависимостей между известными и искомыми традиционными или новыми агроклиматическими характеристиками.

В данном случае были установлены линейные зависимости между суммами активных средних суточных температур воздуха (ΣT_c) за теплый период с температурой выше 10°C и перечисленными выше агроклиматическими показателями: ΣT_c и ΣQ ; ΣT_c и ΣQ_{ϕ} ; ΣT_c и ΣS_c , а также ΣT_c и продолжительностью теплого периода N_{mn} . Рассчитаны соответствующие уравнения и статистические характеристики (табл. 8.6). Коэффициенты корреляции (r) между этими показателями климата колеблются в пределах 0,70—0,84. Средние квадратические ошибки коэффициентов корреляции σ_r , и вероятные ошибки малы. Таким образом, по данным по ΣT_c для 38 пунктов получены соответствующие значения ΣQ и ΣQ_{ϕ} . Сравнение ΣQ , полученных по данным актинометрических наблюдений и расчетным путем по ΣT_c , показали, что погрешность последних не превышает 5—8%.

В качестве картографической основы использовалась средне масштабная физико-географическая карта Одесской области (рабочий масштаб 1:600 000). Карта составлена для условий открытого ровного места по ос-

Таблица 8.6. Статистические параметры уравнений связи между показателями радиационно-тепловых ресурсов в Украине

Уравнение	r	σ_r	σ_y	σ_x	\bar{S}_y
$\Sigma S_{\Theta} = 0,330 \Sigma T_c + 492$	0,79	0,030	201	422	± 147
$\Sigma Q = 0,583 \Sigma T_c + 1424$	0,70	0,050	349	422	± 250
$\Sigma Q_{\phi} = 0,292 \Sigma T_c + 712$	0,70	0,050	124	422	± 125
$N_{\text{тп}} = 0,033 \Sigma T_c + 76$	0,84	0,020	16	422	± 9

новному показателю - суммам суммарной радиации (ΣQ). А далее для каждого макрорайона определены значения ΣQ_{ϕ} ; ΣT_c ; ΣS_c и N_{mn} .

Такой прием позволил избежать трудоемких работ по составлению отдельных карт для каждого показателя климата, т. е. уплотнить агроклиматическую информацию и представить ее в компактном виде на одной карте комплексного районирования, значительно обогатив легенду к ней.

На агроклиматической карте выделено 10 мезорайонов, существенно различающихся по значениям ΣQ ; ΣQ_{ϕ} ; ΣT_c ; ΣS_c и N_{mn} (рис. 8.4). Качественная характеристика выделенных мезорайонов дана в табл. 8.7. Наглядно видно, что радиационно-световые и тепловые ресурсы в Одесской области возрастают в направлении с севера на юг. В крайнем северном районе ΣQ ; ΣQ_{ϕ} и ΣS_c не превышают 3100 МДж/м², 1550 МДж/м² и 1440 ч. В южном, очень теплом, районе значения этих величин возрастают соответственно до 3500 МДж/м², 1750 МДж/м² и 1670 ч. Соответствующим образом по территории области изменяются ΣT_c и N_{mn} за теплый период (T_c выше 10 °С). В северных районах их значения не превышают 2800—2900 °С и 170 сут, а в южных возрастают до 3500—3600 °С и 195 сут. Диапазон географической изменчивости всех показателей значителен:

Параметр	ΣQ	ΣQ_{ϕ}	ΣS_c	ΣT_c	N_{mn}
Диапазон изменчивости	500 МДж/м ²	250 МДж/м ²	230 ч	700°С	25 сут

Полученные данные позволяют дать научные рекомендации к оптимизации размещения однолетних и многолетних культур на сортовом уровне. В частности, применительно к кукурузе они сводятся к следующему. В первых трех мезорайонах области ранние сорта кукурузы на зерно обеспечены ФАР и теплом на 100%. В мезорайонах 4 – 6 возможно возделывание как ранних, так и среднеспелых сортов с такой же обеспеченностью. На юге области (мезорайоны 7—10) целесообразно возделывание средне- и позднеспелых сортов кукурузы на зерно (рис. 8.4).

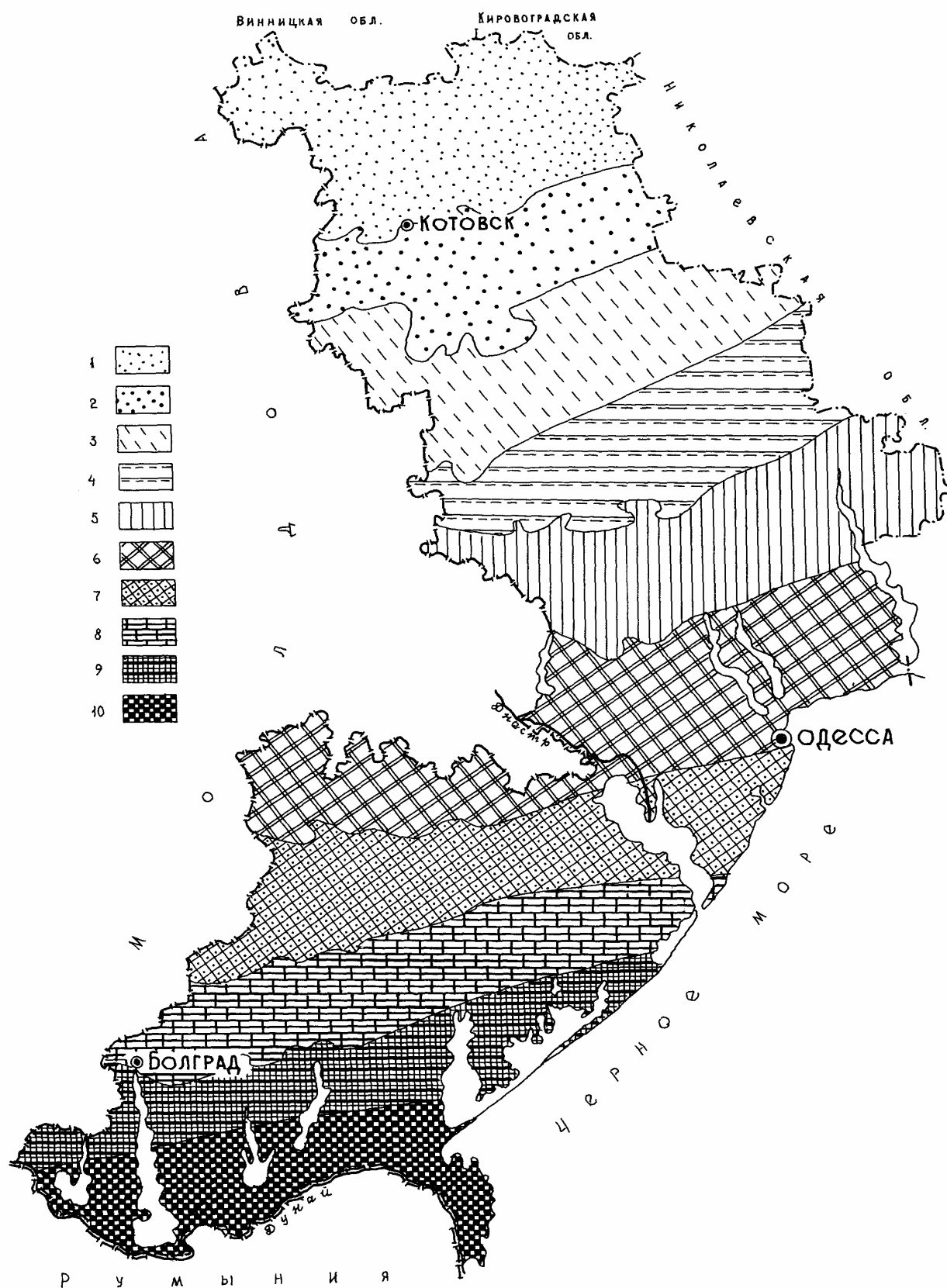


Рис. 8.4. Комплексное агроклиматическое районирование радиационно-световых и тепловых ресурсов в среднем масштабе на примере Одесской области. Мезорайоны 1 – 10 (см. в табл. 8.7)

Таблица 8.7. Количественная оценка мезорайонов Одесской области по радиационно-световым и тепловым показателям за теплый период с $T_c > 10^\circ C$

Номер района	Мезорайон	ΣQ , МДж/м ²	ΣQ_ϕ , МДж/м ²	ΣS_Θ , ч	ΣT_c , °C	$N_{\text{тп}}$, сут
1	Крайний северный, прохладный	< 3100	<1550	<1440	<2870	<170-171
2	Северный, относительно прохладный	3100-3150	1550-1575	1440-1470	2870-2960	171-174
3	Северный, сравнительно прохладный	3150-3200	1575-1600	1470-1500	2960-3050	174-177
4	Северный, относительно теплый	3200-3250	1600-1625	1500-1525	3050-3130	177-179
5	Центральный, сравнительно теплый	3250-3300	1625-1650	1525-1550	3130-3220	179-182
6	Центральный, умеренно теплый	3300-3350	1650-1675	1550-1580	3220-3300	182-185
7	Центральный, теплый	3350-3400	1675-1700	1580-1610	3300-3390	185-188
8	Южный, умеренно теплый	3400-3450	1700-1725	1610-1640	3390-3480	188-191
9	Южный, теплый	3450-3500	1725-1750	1640-1670	3480-3560	191-193
10	Южный, очень теплый	>3500	>1750	>1670	>3560	>193-195

Количественная оценка продуктивности винограда, кукурузы и подсолнечника выполнена с помощью физико-статистической модели "Климат-урожай", адаптированной к этим культурам. Структура модели и формулы расчетов описаны в §8.1 и 8.2. Расчеты потенциальных и действительно возможных урожаев каждой из этих культур производились с привязкой к агроклиматической карте (рис. 8.4) и при разных значениях КПД использования ФАР (η): 0,5%; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0%. для винограда были определены потенциальные (Y_{nm}) и действительно-возможные (Y_{dv}) урожая сухой биомассы гроздей по формулам 8.13; 8.17. Потенциальные (Y_{nc}) и действительно-возможные (Y_{dc}) урожаи сырых гроздей рассчитывались по модификационным формулам 8.15; 8.17. результаты этой работы представлены в табл. 8.8, которая является дополнительной легендой к агроклиматической карте.

Например, потенциальный урожай сырых гроздей винограда (Y_{nc}) при КПД использования ФАР (η) равном 1% и 2% составил на севере Одесской области (мезорайон 1) 124 ц/га и 248 ц/га, в центральном мезорайоне 5 – 138 ц/га и 276 ц/га, а на юге (мезорайон 10) соответственно 148 ц/га и 296 ц/га. Действительно-возможный урожай сырых гроздей винограда (Y_{dc}) лимитируется показателем влагообеспеченности E/E_o и поэтому изменяется в обратном направлении. При КПД использования ФАР (η) равном 1% и 2% Y_{dc} составляет на севере области (мезорайон 1) 70 ц/га и 140 ц/га, а на юге (мезорайон 10) только 62 ц/га и 124 ц/га.

Аналогичным образом рассчитаны потенциальные (Y_{nm}) и действительно-возможные (Y_{dv}) урожаи кукурузы на зерно и семян подсолнечника по формулам (8.15; 8.17). В табл. 8.9 содержится агроклиматическая оценка расчетных урожаев кукурузы содержится агроклиматическая оценка расчетных урожаев кукурузы разного вида и уровня с привязкой к агроклиматической карте (рис. 8.4) и фактически также является легендой к ней. Так как потенциальные урожаи в значительной степени зависят от фотосинтетической радиации, а суммы ФАР возрастают с севера на юг, то соответственно и Y_{nm} кукурузы увеличивается в этом направлении. Так, при $\eta = 1$ и 2 % в северном мезорайоне 1 урожай кукурузы на зерно составляет 76 и 152 ц/га, в центральном мезорайоне 5 – 80 и 160 ц/га, а на юге (мезорайон 10) он возрастает до 86 и 170 ц/га.

Действительно возможный урожай кукурузы на зерно изменяется в обратном направлении. А именно Y_{dv} уменьшается по мере продвижения к югу вследствие возрастания засушливости климата. При КПД использования ФАР посевами, равном 1 и 2 %, Y_{dv} кукурузы в мезорайоне 1 составляет соответственно 37 и 74 ц/га, в центральном районе – 34 и 68 ц/га, в южном (мезорайон 10) – 31 и 62 ц/га.

Таблица 8.8. Агроклиматическая оценка Y_{nc} и Y_{dc} сырых гроздей винограда (ц/га) на территории Одесской области

Мезорайон	$\Sigma Q_{фб}$ (МДж/м ²)	Y_{nc} при η (%)				$\frac{E}{E_o}$	Y_{dc} при η (%)			
		0,5	1,0	2,0	3,0		0,5	1,0	2,0	3,0
1	1330	62	124	248	372	0,56	35	70	140	210
2	1360	64	128	256	384	0,54	35	70	140	210
3	1390	67	134	268	402	0,48	32	64	128	292
4	1410	68	136	272	408	0,47	32	64	128	292
5	1440	69	138	276	414	0,46	32	64	128	192
6	1470	70	140	280	420	0,44	31	62	124	186
7	1500	72	144	288	432	0,44	32	64	128	192
8	1510	72	144	288	432	0,43	31	62	124	186
9	1520	73	146	292	438	0,43	31	62	124	186
10	1525	74	148	296	444	0,42	31	62	124	186

Таблица 8.9. Агроклиматическая оценка потенциальных (Y_{nm}) и действительно-возможных (Y_{dv}) урожаев кукурузы на зерно (ц/га) на территории Одесской области

Мезорайон	$\Sigma Q_{\phi\delta}$ (МДж/м ²)	Y_{nm} при η (%)			$\frac{E}{E_o}$	Y_{dv} при η (%)		
		1,0	2,0	3,0		1,0	2,0	3,0
1	<1400	<76	<152	<227	0,49	>37	>74	>112
2	1400-1425	75-77	152-154	227-230	0,47	36	72-73	107-108
3	1425-1450	77-78	154-156	230-234	0,45	35	70-71	103-106
4	1450-1475	78-79	156-159	234-238	0,44	35	69-70	103-105
5	1475-1500	79-81	159-161	238-242	0,43	34	68-69	102-104
6	1500-1525	81-82	161-164	242-246	0,42	34	68-69	102-103
7	1525-1550	82-83	164-166	246-250	0,41	34	67-68	101-103
8	1550-1575	83-84	166-169	250-253	0,40	33	66-67	100-101
9	1575-1600	84-86	169-171	253-257	0,38	32	64-65	96-98
10	>1600	>86	>171	>257	0,36	<31	<62	<92

Проведена сравнительная оценка полученных эталонных урожаев кукурузы на зерно (Y_{nm} и $Y_{дв}$) с производственными урожаями (Y_n), определенными для ряда административных районов области. Для этой цели рассчитаны разность $Y_{nm} - Y_{дв}$, характеризующая недобор урожая, вызванный тем, что погодные условия «неидеальны», а также коэффициенты благоприятности климата ($K_{б}$) и эффективности использования агроклиматических ресурсов ($K_{э}$). Фактически значения $K_{э}$, и разность $Y_{дв} - Y_n$ характеризуют существующий уровень культуры земледелия.

Данные расчетов (неполные) представлены в табл. 8.10. Наглядно видно, что при возделывании кукурузы в засушливых и очень засушливых условиях на богарных землях разность ($Y_{nm} - Y_{дв}$) увеличивается с севера на юг и составляет при η , равном 1 и 2%, соответственно 39 и 78 ц/га для мезорайона 1; 55 и 109 ц/га для мезорайона 10. Коэффициент степени благоприятности климата $K_{б}$ изменяется в том же направлении от 0,49 до 0,36. Разность ($Y_{дв} - Y_n$) уменьшается с севера на юг и при η равном 1, 2% составляет 13 и 50 ц/га в мезорайоне 1; 1 и 32 ц/га в мезорайоне 10. При этом коэффициент эффективности использования климатических ресурсов не превышает 0,32 на севере и 0,48 на юге при $\eta = 2\%$.

Таблица 8.10. Количественная оценка степени благоприятности климата и эффективности его использования для получения урожаев кукурузы на зерно при $\eta = 1, 2\%$

Мезо- район	Y_n , ц/га	$(Y_{nm} - Y_{дв})$, ц/га		$(Y_{дв} - Y_n)$, ц/га		$K_{э}$		$K_{б}$ при $\eta=1-3\%$
		1%	2%	1%	2%	1%	2%	
1	24	39	78	13	50	0,65	0,32	0,49
6	26	47	93	8	42	0,76	0,38	0,42
10	30	55	109	1	32	0,97	0,48	0,36

В Одесской области склоновые земли занимают около 50% общей площади сельскохозяйственных угодий. Поэтому представляет научный и практический интерес количественная оценка микроклиматической изменчивости сумм суммарной радиации и сумм ФАР за теплый период на склонах различной экспозиции и крутизны. Для этой цели использовались соответствующие переходные коэффициенты с апреля по октябрь для северных, южных, западных и восточных склонов крутизной 5, 10, 15 и 20°, разработанные Т.А. Голубовой и З.А. Мищенко [20, 55, 69] применительно к территории СНГ и Украины.

Переходные коэффициенты представляют собой отношение суммы суммарной радиации на склоне $\Sigma Q_{ск}$, к сумме суммарной радиации на горизонтальной поверхности ΣQ за конкретный месяц с апреля по октябрь. Методика расчетов подробно изложена в главе 1, § 1.5. С их помощью определены суммы суммарной радиации и ФАР за теплый период для северных и южных склонов соответствующей крутизны для 10 мезорайонов Одесской области. Расчитаны также относительные характеристики в виде отклонений сумм суммарной радиации и сумм ФАР на северных и южных склонах от их сумм на открытом ровном месте.

Неполные данные расчетов представлены в табл. 8.11. Из нее видно, что микроклиматические различия в суммах ФАР между северными и южными склонами весьма существенны и возрастают с увеличением крутизны склонов и по мере продвижения с севера на юг области. Например, микроклиматические различия в суммах ФАР за теплый период между северными и южными склонами крутизной 10° и 20° составляет в 1-м мезорайоне 140 и 280 МДж/м², в 5-м — 150 и 296 МДж/м², а на юге, в 10-м мезорайоне – 163 и 312 МДж/м². А диапазон микроклиматических различий в суммах суммарной солнечной радиации для этих склонов в два раза больше.

Таблица 8.11. Микроклиматическая изменчивость сумм ФАР (МДж/м²) за теплый период на северных и южных склонах с разной крутизной по сравнению с суммами ФАР на открытом ровном месте

Мезо-район	Северный склон				Южный склон			
	20°	15°	10°	5°	5°	10°	15°	20°
1	-202	-147	-93	-46	23	46	62	78
3	-206	-152	-96	-48	24	48	64	80
5	-214	-157	-100	-50	25	50	66	82
7	-220	-162	-104	-52	26	52	68	84
10	-226	-168	-109	-55	27	54	70	86

Для оценки влияния микроклимата склонов на возможную изменчивость потенциальных урожаев кукурузы выполнены расчеты U_{nt} для северных и южных склонов при различных значениях η с привязкой к мезорайонам 1, 5 и 10, выделенным на агроклиматической карте (рис. 8.4). Выявлено, что на южных склонах крутизной 10° и 20° возможна прибавка урожая кукурузы на зерно при $\eta = 2,5\%$ на 5 – 6 и 9 – 10 ц/га по сравнению с открытым ровным местом. На северных склонах той же крутизны возможен недобор урожая из-за уменьшения прихода ФАР при $\eta = 2,5\%$ в 12 – 13 и 25 – 28 ц/га.

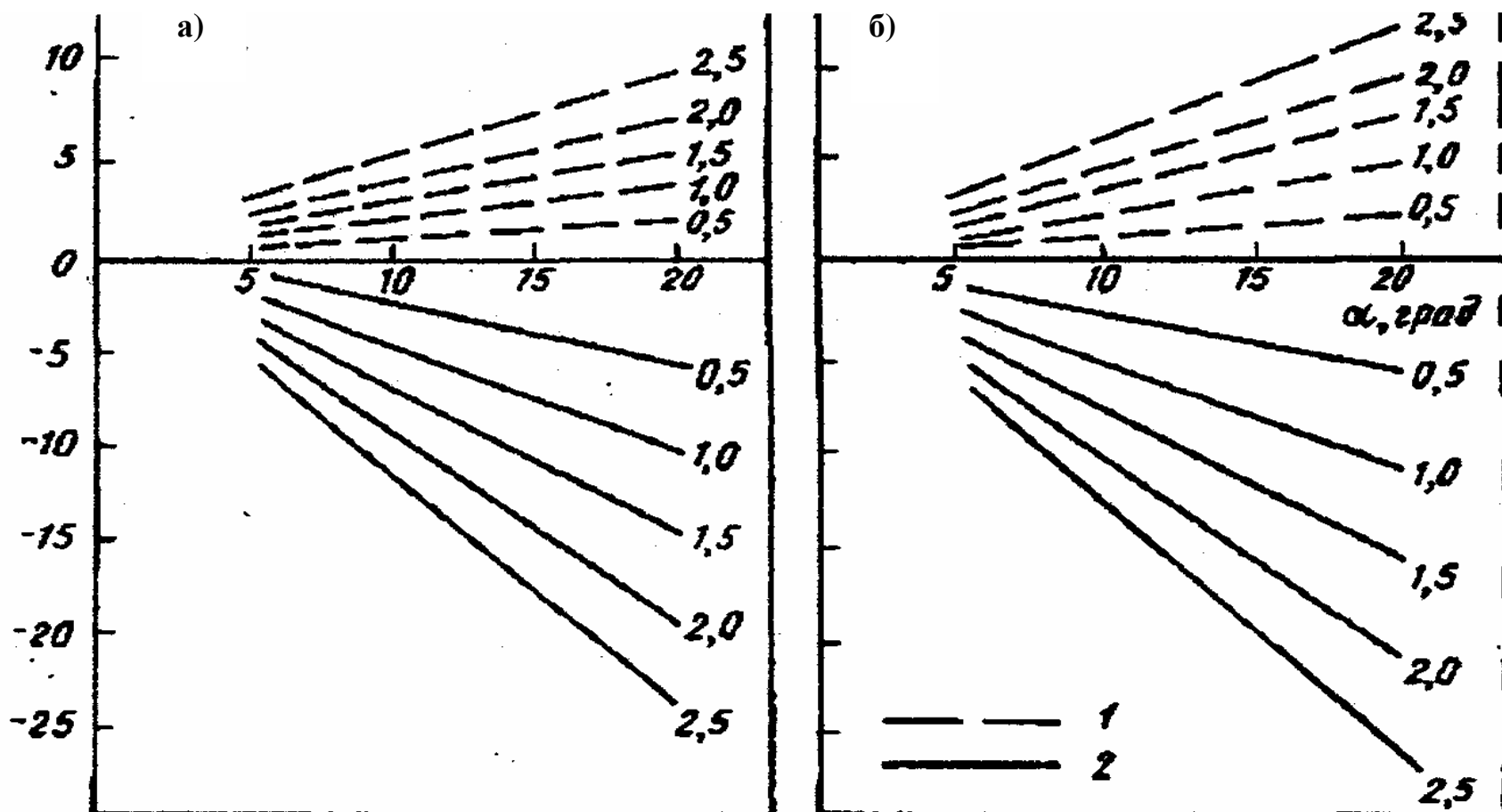


Рис. 8.5. Отклонения потенциальных урожаев кукурузы на зерно (ΔY_{nm} , ц/га) на южных (1) и северных (2) склонах различной крутизны (α) по сравнению с открытым ровным местом при разных значениях η в крайнем северном (а) и крайнем южном (б) мезорайонах.

Из рис. 8.5 видно, что диапазон различий в потенциальных урожаях под влиянием микроклимата склонов возрастает с увеличением их крутизны и КПД по использованию ФАР посевами кукурузы. Например, при $\eta = 1\%$ микроклиматические различия в Y_{nm} между северными и южными склонами крутизной 10° и 20° составляют соответственно 7 – 8 и 14 – 16 ц/га. При $\eta = 2,5\%$ эти различия существенно возрастают и составляют между северными и южными склонами той же крутизны 17 – 19 и 34 – 38 ц/га..

Для сравнительной оценки выполнены расчеты потенциальных и действительно-возможных урожаев ценной технической культуры – подсолнечника – с привязкой к агроклиматической карте (рис. 8.4). Как видно из данных табл. 8.12 все урожаи семян подсолнечника оказываются значительно меньше соответствующих урожаев зерна кукурузы, являющейся более продуктивной культурой. При этом сохраняется та же географическая закономерность в распределении Y_{nm} и $Y_{\partial в}$ на территории Одесской области. При $\eta = 1, 2\%$ потенциальный урожай (Y_{nm}) подсолнечника на севере мезорайона 1 составляет 45 и 90 ц/га, а на крайнем юге (мезорайон 10) возрастает до 49 и 99 ц/га.

Таблица 8.12. Агроклиматическая оценка потенциальных (Y_{nm}) и действительно-возможных ($Y_{\partial в}$) урожаев семян подсолнечника (ц/га) на равнинных землях Одесской области

Мезорайон	$\Sigma Q_{фб}$ (МДж/м ²)	Y_{nm} при η (%)			$\frac{E}{E_o}$	$Y_{\partial в}$ при η (%)		
		1,0	2,0	3,0		1,0	2,0	3,0
1	1250	45	90	135	0,55	25	49	74
2	1264	45	90	135	0,54	24	48	73
3	1272	45	90	135	0,52	23	47	70
4	1283	45	90	135	0,50	22	45	67
5	1294	46	93	139	0,48	22	44	66
6	1305	46	93	139	0,47	21	44	65
7	1317	46	93	139	0,46	21	43	64
8	1329	48	96	144	0,45	21	43	64
9	1342	48	96	144	0,43	20	41	62
10	1365	49	99	148	0,41	20	40	60

Действительно-возможный урожай подсолнечника изменяется в обратном направлении, следуя за географической изменчивостью показателя увлажнения E/E_o . При $\eta = 1, 2\%$ $U_{\partial\partial}$ в мезорайоне 1 составляет соответственно 25 и 49 ц/га, а на крайнем юге области (мезорайон 10) 20 и 40 ц/га. Диапазон географических различий составляет при $\eta = 1, 2$ и 3% соответственно 5, 9 и 4 ц/га. Разность $(U_{nm} - U_{\partial\partial})$ увеличивается с севера на юг при $\eta = 1, 2\%$ от 20 и 41 ц/га на севере области и до 29 и 59 ц/га на юге. Коэффициент благоприятности климата K_n во всех мезорайонах не превышает 0,4 – 0,5. Коэффициент эффективности использования климатических ресурсов при η , равном 1 и 2%, составляет соответственно на севере 0,8 и 0,5, а на юге – 0,5 и 0,2. разность $(U_{\partial\partial} - U_n)$ при η , равном 1%, увеличивается с севера на юг области от 3 до 5 ц/га, а при η , равном 2%, несколько уменьшается и изменяется с севера на юг от 25 до 27 ц/га.

Сравнительная оценка расчетных урожаев разного вида и уровня позволяет сделать следующее заключение. В настоящее время урожаи винограда, кукурузы и подсолнечника, выращиваемых в производственных условиях оказываются значительно ниже биологических возможностей современных сортов и не соответствуют агроклиматическим ресурсам Одесской области. Установлено, что при выращивании кукурузы и подсолнечника в производственных условиях КПД по использованию ФАР посевами для формирования урожая повсеместно находится лишь на уровне 0,7 – 1,0% для кукурузы и 0,7 – 0,8% для подсолнечника. Для винограда этот показатель несколько выше и колеблется в пределах 0,8 – 1,3%.

Следовательно имеется значительный резерв для получения более высоких урожаев кукурузы на зерно, семян подсолнечника и сырых гроздей винограда за счет рационального размещения этих культур на основе детальной оценки агроклиматических ресурсов с учетом микроклимата в каждом административном районе Одесской области. При этом важное значение имеет введение засухоустойчивых и более урожайных сортов культур, совершенствование технологии возделывания и правильная организация орошения сельскохозяйственных полей в южных районах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматический атлас Мира / Под ред. И.А. Гольцберг.- М.-Л.: ГУГК, Гидрометеиздат, 1972.- 186 с.
2. Агроклиматический атлас на Болгария. – София: Комплексен ин-т за проучване и проектиране по картография при МСА, 1982. – 117 с.
3. Агроклиматический атлас Украинской ССР /Под ред. С.А. Сапожниковой. – Киев: Урожай, 1964.- 36 с.
4. Агроклиматическое районирование пяти основных сельскохозяйственных культур на территории социалистических стран Европы. – София: БАМ, 1979. – 123 с., 14 карт.
5. Агроклиматические ресурсы и микроклимат Молдавии / Под ред. З.А. Мищенко. – Кишинев: Штиинца, 1988. – 163 с.
6. Агроклиматические ресурсы природных зон СССР и их использование / Под ред. Ф.Ф. Давитая, И.А. Гольцберг. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 160 с.
7. Алексеев Г.А. Графоаналитические способы определения и приведения к длительному периоду наблюдений параметров кривых распределения // Труды ГГИ. – 1960. - Вып. 73. - с. 90-140.
8. Алексеев Г.А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 362 с.
9. Алпатов А.М. Влагообороты в природе и их преобразования.- Л.:Гидрометеиздат, 1969.
10. Амирджанов А.Г. Солнечная радиация и продуктивность винограда. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 207 с.
11. Атлас природных условий и естественных ресурсов в Украинской ССР. – М.: ГУГК, 1978. – 183 с.
12. Будыко М.И. Аналоговый метод оценки предстоящих изменений климата // Метеорология и гидрология. – 1991. - №4. – с. 39-50.
13. Будыко М.И. Климат и жизнь. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 472 с.
14. Будыко М.И. Эволюция биосферы. – Л.:Гидрометеиздат, 1981. – 488 с.
15. Васильев Д.С. Подсолнечник.- Агропромиздат, 1990. – 173 с.
16. Вериге С.А., Разумова Л. А. Почвенная влага. – Л.: Гидрометеиздат, 1973.-328 с.
17. Вопросы агроклиматического районирования СССР/ Под ред. Ф.Ф. Давитая и А.М. Шульгина. – М.: Изд. МСХ СССР, 1958. – 132 с.
18. Гаврилюк Ф.Я. Бонитировка почв.- М.: Высшая школа, 1974. – 271 с.

19. Гойса Н.И. Радиационные факторы и продуктивность сельскохозяйственных культур. // Труды Укр НИГМИ, 1978. – Вып. 164. – с. 49-72.
20. Голубова Т.А., Мищенко З.А., Пигольцина Г.Б. Микроклиматическая изменчивость суммарной и фотосинтетически активной радиации на склонах // Труды ГГО.- 1977.- Вып.385.- с. 3-12.
21. Гольцберг И.А. Агроклиматическая характеристика заморозков в СССР и методы борьбы с ними. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. – 198 с.
22. Гольцберг И.А. Агроклиматическое районирование территории административных областей // Труды ГГО.- 1969.- Вып. 248. – с. 4-11
23. Горышина Н.Г. Особенности микроклимата почв и картирование их на примере Псковской области // Климат почвы. - Л.:Гидрометеиздат. – 1971. - с.73-78.
24. Горышина Н.Г. Теплообеспеченность почв на Северо-западе ЕТС// Труды ГГО.- 1970.- Вып. 264.- с. 73-81.
25. Давитая Ф.Ф. Исследование климатов винограда в СССР и обоснование их практического исследования. – Л.: Гидрометеиздат, 1952. – 302 с.
26. Давитая Ф.Ф. Основные принципы районирования культуры виноград / Физиология винограда и основы его возделывания. – София: БАН, 1981. – с. 27 – 51.
27. Дегтерев И.В. Земельный кадастр.- М.: Колос, 1979.- 454 с.
28. Димо В.Н. Тепловой режим почв СССР.- М.: Колос,1972.- 340с
29. Дмитренко В.П. Оценка влияния температуры воздуха и осадков на формирование урожая основных зерновых культур. Методическое пособие. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 49 с.
30. Дмитренко В.П., Вилькенс А.А., Перелет Н.А., Чекина Т.А. Учет агроклиматических ресурсов при специализации сельскохозяйственного производства // Метеорология и гидрология. – 1980. - №2. – с. 97-103.
31. Довідник з агрокліматичних ресурсів України. Агрокліматичні умови росту та розвитку основних сільськогосподарських культур. Серія 2.- Київ:МСП, 1993, Частина 2. - 718 с.
32. Ефимова Н.А. Радиационные факторы продуктивности растительного покрова. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 216 с.
33. Жуков В.А. Моделирование, оценка и рациональное использование агроклиматических ресурсов России: Автореф. докт. дис... – М.: Госгидрометиздат, 1998. – 54 с.
34. Зоидзе Е.К. Методологические основы оценок сельскохозяйственного потенциала агрометеорологических условий и

почвенно-климатических условий территории РФ.: Докт. дисс. В виде научного доклада. – М.: МПГУ, 1998. – 75 с.

35. Зубенок Л.И. Испарение на континентах. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 262 с.

36. Каринг П.Х. Агроклиматическая оценка и методы использования ресурсов мезо и микроклимата в сельском хозяйстве: Автореф. Докт. дисс. - Л.: АФИ, 1991. – 64 с.

37. Кельчевская Л.С. Влажность почвы Европейской части СССР.- Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 182 с .

38. Кирнасовская Н.В. Динамика урожайности подсолнечника в различных климатических районах Украины // Метеорология, климатология и гидрология. – Одесса. – 1999. – Вып. 39. – с. 155-161.

39. Климат почвы /Под ред. И.А. Гольцберг., Ф.Ф. Давитая. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 256 с.

40. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячка, В.М. Бабіченко. – Київ: видавн. Раєвського, 2003. – 343 с.

41. Колосков П.И. О биоклиматическом потенциале и его распределении на территории СССР// Труды НИИАК.- 1963.- Вып. 23.- с. 90-111.

42. Клыпучто В.С. Микроклиматические ресурсы мелиорируемых земель Южной Карелии и их учет в сельском хозяйстве Автореф. канд. дис.- Л. - 1987. – 27 с.

43. Константинов А.Р. Испарение в природе. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 537 с.

44. Константинов А.Р. Погода, почва и урожай озимой пшеницы.- Л.:Гидрометеиздат, 1978.- 263 с.

45. Краткий агроклиматический справочник Украины. / Под ред. К.Т. Лавинова.- Л.: Гидрометеиздат, 1976.- 256 с.

46. Кирнасовская Н.В. Сравнительная агроклиматическая оценка биоклиматического потенциала на территории Киевской и Запорожской области с учетом микроклимата. – Український гідрометеорологічний журнал. – № 3. – 2008. – с. 117-123.

47. Круківська А.В. Агрокліматична оцінка умов волого забезпечення території України у період вегетації сільськогосподарських культур. Автореф. дисс... - К.: “ЛОГОС”, 2008. – 20 с.

48. Ляшенко Г.В. Теоретичні і методологічні основи агрокліматичної оцінки продуктивності сільськогосподарських культур в Україні. – Автореф. докт. дис. – Одеса. – 2009. – 35 с.

49. Личикаки В.М. Перезимовка озимых культур. – М.: Колос, 1974. – 208 с.

50. Ляшенко Г.В. Агроклиматическое районирование Украины. – Укр. гідрометеорологічний журнал. - №3. – 2008. – с. 98-108.

51. Манелля А.И., Нагнибедов Н.И., Френкель А.А., Ващюков Л.И. Динамика урожайности сельскохозяйственных культур в РСФСР. – М.: Статистика, 1972. – 192 с.
52. Маринич О.М., Пащенко В.М., Шищенко П.Г. Природа Украинской ССР// Ландшафты и физико-географическое районирование. - Киев: Наукова Думка, 1985.- 224 с.
53. Математические методы оценки агроклиматических ресурсов / В.А. Жуков, А.Н. Полевой, А.Н. Витченко, С.А. Даниелов /. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 207 с.
54. Мельник Ю.С. Климат и произрастание подсолнечника. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 143 с.
55. Методи оцінки і районування мікрокліматичної мінливості радіаційно-теплових ресурсів України для оптимізації розміщення сільськогосподарських культур / Під ред. М.І. Кульбіді, З.А. Мищенко. – Київ: Укр.ГМЦ, 2004. – 111 с.
56. Микроклимат СРСР / Под ред. И.а. Гольцберг. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 286 с.
57. Мищенко З.А. Региональная оценка биоклиматического потенциала на территории Крымского полуострова и его использование виноградом и кукурузой // Матеріали наради-семінару з питань проведення агрометеорологічних спостережень. – Київ: Укр ГМЦ. – 2003. - с. 19 – 28.
58. Мищенко З.А. Агро- и микроклиматические ресурсы и их учет в адаптивном растениеводстве // Изв. АН Молдавской ССР. Сер. биол. и химич. наук. – 1986. - №1. – с. 16-29.
59. Мищенко З.А. Агроклиматическая оценка и районирование показателей морозоопасности для зимующих культур на территории Украины // Метеорологія, кліматологія і гідрологія. – 2008. – Вип. 50. – ч.2. - с.
60. Мищенко З.А. Агроклиматическая оценка и районирование показателей заморозков на территории Одесской области // Укр. гідрометеор. журн. – 2007.- №2. – с. 92-104.
61. Мищенко З.А. Агроклиматическая оценка радиационно-тепловых ресурсов дня на территории Молдовы // Метеорологія, кліматологія и гідрологія. – Киев: Либідь, 1993. – Вып. 29. – с. 170-179.
62. Мищенко З.А. Агроклиматология. Учебник. - Київ: “КНТ”, 2009. – 511 с.
63. Мищенко З.А. Биоклимат дня и ночи.- Л.: Гидрометеиздат, 1984.-280 с.
64. Мищенко З.А. Комплексное районирование агроклиматических ресурсов и продуктивность винограда в Украине // Укр. гідрометеор. журн. – 2006.- №1. – с. 104-118.

65. Мищенко З.А. Мезо и микроклиматическая изменчивость теплового режима дня и ночи на территории СНГ // Метеорология и гидрология. – 2002.- №8. – с. 94-104.
66. Мищенко З.А. Методика агроклиматической оценки и среднемасштабного районирования территории в связи с продуктивностью сельскохозяйственных культур // Метеорология и гидрология. – 1999. – №8. – с. 87 - 98.
67. Мищенко З.А. Новый метод агроклиматического районирования с учетом микроклимата для развития адаптивного растениеводства // Проблемы агроклиматического обеспечения Продовольственной программы СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1987.- с. 33-34.
68. Мищенко З.А. Разномасштабные модели тепловых ресурсов для территорий со сложным рельефом / Труды ГГО. – 1976. – Вып. 351. – с. 31-45.
69. Мищенко З.А. Расчет агроклиматических показателей радиационных ресурсов для ровного места и склонов. Методические указания. – Одесса: ОГМИ, 1990. – 27 с.
70. Мищенко З.А. Составление фоновых карт для оценки термического режима в пространстве // Методы составления агроклиматических карт. – Обнинск: ВНИИГМИ – МЦД, 1968.- с.88-104.
71. Мищенко З.А. Суточный ход температуры воздуха и его агроклиматическое значение. – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 198 с.
72. Мищенко З.А. Учет микроклимата при размещении виноградников и садов. – Кишинев: Штиинца, 1986. – 103 с.
73. Мищенко З.А., Кирнасовская Н.В. Агроклиматическое районирование ресурсов влаги в почве под подсолнечником на территории Украины // Метеорология, климатология и гидрология.– 2005. –Вып.49. –с.
74. Мищенко З.А., Кирнасовская Н.В. Метод региональной оценки и районирования биоклиматического потенциала территории Украины // Метеорология и гидрология. – 2005.- №5. – с. 72-81.
75. Мищенко З.А., Кирнасовская Н.В. Оценка и районирование биоклиматического потенциала Украины с учетом микроклимата // Вісник Одеського держ. екол. універс. – 2006. – Вип. 1. – с. 63-72.
76. Мищенко З.А., Кирнасовская Н.В. Региональная агроклиматическая оценка продуктивности подсолнечника на основе моделирования в Украине // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2002. – Вип.46. – с. 179-189.
77. Мищенко З.А., Кирнасовская Н.В. Сельскохозяйственная оценка климата различных почв на территории Украины // Метеорологія, кліматологія та гідрологія.- Одеса.- 2002. - Вип. 44. – 117-124 с.

78. Мищенко З.А., Ляхова С.В. Пространственно-временная изменчивость урожаев ягод винограда в Причерноморье Украины // Метеорология, климатология и гидрология. – 1996. - №33. – с. 24-32.
79. Мищенко З.А., Ляхова С.В. Региональная оценка агроклиматических ресурсов на территории Украины и урожай винограда // Метеорология, климатология и гидрология.- 1999.- Вып. 36.- с. 100-118.
80. Міщенко З.А., Ляшенко Г.В. Мікрокліматологія. – Київ: “КНТ”, 2007. – 330 с.
81. Моисейчик В.А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимой пшеницы. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 295 с.
82. Научно-прикладной справочник по климату СРСР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6. – Вып. 10. Украинская ССР, Книга 1. – Л.: Гидрометеиздат. – 1990. – 604 с.
83. Пасов В.М. Изменчивость урожаев и оценка ожидаемой продуктивности зерновых культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 152 с.
84. Пигольцина Г.Б. Радиационные факторы мезо и микроклимата. – С-П.: Лесотехническая академия, 2003. – 199 с.
85. Полевой А.Н. Прикладное моделирование продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – с. 319.
86. Полевой А.Н., Перстнева И.Ф. Оценка агроклиматических ресурсов различных ландшафтов Молдовы применительно к возделыванию кукурузы // Метеорология и гидрология. – 2001. - №6. – с. 107-116.
87. Природно-сельскохозяйственное районирование и использование земельного фонда СССР.- М.:Колос, 1975.- 256 с.
88. Промышленное виноградарство. – Киев: Урожай, 1989. – 208 с.
89. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. – Л.: Гидрометеиздат. – 1965. – т.1. – 663 с; . – 1969. – т.2. – 267 с.
90. Раунер Ю.Л. Климат и урожайность зерновых культур. – М.: Наука, 1981. – 163 с.
91. Романова Е.Н., Мосолова Г.И., Береснева И.А. Микроклиматология и ее значение для сельского хозяйства.- Л.: Гидрометеиздат, 1983.- 245 с.
92. Сапожникова С.А. Об уточнении оценки сельскохозяйственного бонитета климата // Агроклиматические ресурсы природных зон СССР и их использование. – Л.: Гидрометеиздат, 1970.- с. 80-91.
93. Селянинов Г.Т. Климатическое районирование СССР для сельскохозяйственных целей// Памяти академика Л.С. Берга. – М. – Л.: Наука, 1955.- с.187-225.

94. Селянинов Г.Т. Принципы агроклиматического районирования СССР / Вопросы агроклиматического районирования СССР. – М.: Изд. МСХ СССР, 1958. – с.7 – 13.
95. Сиротенко О.Д. Имитационная система "Климат – урожай" СССР // Метеорология и гидрология. – 1991 . - №4. – с. 67-73.
96. Сляднев А.п. Почвенно-климатический атлас Новосибирской области. – Новосибирск: «Наука». - 1978. – 121 с.
97. Справочник оп климату СССР. Атмосферные осадки. Снежный покров. – Л.: Гидрометеиздат, 1969.- Вып. - 10, ч. 4. – 696 с.
98. Справочник по климату СССР// Температура воздуха и почвы. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – Вып. - 10, ч. 2.-607 с.
99. Стойчо В.С. Макро и микроклимат та лозата в България. Автореф. докт. дис.. – София: Печатна база «Авангард», 2006. – 54 с.
100. Тепловой и водный режим Украины / Под ред. А.Р. Константинова, Н.И. Гойсы. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 360 с.
101. Тооминг Х..Г. Солнечная радиация и формирование урожая. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 197 с.
102. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 264 с.
103. Турманидзе Т.И. Климат и урожай винограда. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 264 с.
104. Уланова Е.С., Забелин В.Н. Методы корреляционного и регрессионного анализа в агрометеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 207 с.
105. Франс Дж., Торкли Дж. Математические модели в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1987. – 400 с.
106. Фурса Д.И. Погода, орошение и продуктивность. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 199 с.
107. Чирков Ю.И. Агрометеорологические условия и продуктивность кукурузы. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 251 с.
108. Шатилов И.С. Принципы программирования урожайности // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1973. - №3. – с. 8-14.
109. Шашко Д.И. Агроклиматические ресурсы СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 247 с.
110. Шашко Д.И. Агроклиматическое районирование СССР, - М.: Колос, 1967. – 334 с.
111. Шевелуха В.С. Периодичность роста сельскохозяйственных растений и пути их регулирования. – М.: Колос, 1980. – 453 с.
112. Шульгин А.М. Климат почвы и его регулирование. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 258 с.
113. Эюбов А.Д. Бонитировка климата Азербайджанской СССР. - Баку: ЭЛМ, 1975.-148 с.

114. Mishenko Z.A. Agricultural mapping of the continents. Agricultural Meteorology/ Cagm. Report №23. – Jeneva: World Meteorol. Organiz. 1984. - 131 c.

115. Obrebska-Starklowa B. Detaillierte. Kartierung der meso – und mikroklimatischen Verhältnisse in Mittelgebirgen. - Zesz. Nauk. U. Prase geogr., 1971. - Bd 224. - S. 309-316.

116. Primault B. Etude meso-climatique du Canton de Vaud. – Lausanne: Office cantonal vaudois de l'urbanisme. 1972. – 186 p.

ОГЛАВЛЕНИЕ	Стр.
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ И МИКРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАДИАЦИОННО-СВЕТОВЫХ РЕСУРСОВ НА ТЕР- РИТОРИИ УКРАИНЫ.....	8
1.1. Теоретические сведения.....	8
1.2. Методы расчетов и оценка характеристик солнечной радиации для горизонтальной поверхности.....	10
1.3. Комплексное агроклиматическое районирование показателей ра- диационно-тепловых ресурсов на территории Украи- ны.....	18
1.3.1. Географические закономерности распределения радиационно- световых и тепловых ресурсов в пределах страны.....	18
1.3.2. Рекомендации по оптимизации размещения сельскохозяйствен- ных культур в зональном разрезе на равнинных землях.....	26
1.4. Методы расчетов характеристик солнечной радиации с учетом экспозиции и крутизны склонов.....	30
1.5. Оценка мезо- и микроклиматической изменчивости суммарной радиации и ФАР на склонах.....	37
2. АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕРМИЧЕСКОГО РЕ- ЖИМА И ТЕПЛОВЫХ РЕСУРСОВ ДНЯ И НОЧИ С УЧЕТОМ МИКРОКЛИМАТА.....	47
2.1. Термопериодизм растений и его учет в оценке тепловых ресур- сов.....	47
2.2. Методы расчетов показателей термического режима и тепловых ресурсов дня и ночи.....	51
2.3. Районирование показателей тепловых ресурсов дня и ночи в мелком масштабе.....	60
2.4. Мезо- и микроклиматическая изменчивость показателей тепло- вого режима дня и ночи в сложном рельефе.....	69
2.5. Комплексное районирование показателей тепловых ресурсов дня и ночи в среднем масштабе с учетом микроклимата.....	80
3. АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ДЕЯТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ПОЧВЫ С УЧЕТОМ МИК- РОКЛИМАТА.....	90

3.1. Состояние изученности теплового режима почвы и деятельной поверхности в странах СНГ.....	90
3.2. Сравнительная оценка показателей ресурсов тепла в воздухе, пахотном слое почвы и методы их расчетов.....	96
3.3. Комплексное районирование тепловых ресурсов в биологически-активном слое воздуха и почвы с учетом микроклимата.....	105
3.3.1. Агроклиматическое районирование показателей тепловых ресурсов почвы на территории Украины	105
3.3.2. Оценка микроклиматической изменчивости тепловых ресурсов почвы под влиянием механического состава.....	109
3.4. Оценка мезо и микроклиматической изменчивости теплового режима деятельной поверхности на различных склонах.....	113
4. АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕСУРСОВ ВЛАГИ И ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ В БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОМ СЛОЕ ВОЗДУХА.....	127
4.1. Методы расчетов показателей ресурсов влаги и влагообеспеченности на равнинных землях.....	127
4.2. Сравнительная оценка влагообеспеченности по дефициту испарения и относительному испарению в пределах СНГ и в Украине....	134
4.3. Агроклиматическая оценка и комплексное районирование показателей ресурсов влаги и влагообеспеченности на территории Украины.....	141
5. АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ ПО ВЛАГОЗАПАСАМ В ПОЧВЕ ПОД КУКУРУЗОЙ И ПОДСОЛНЕЧНИКОМ	150
5.1. Состояние изученности показателей ресурсов влаги в почве.....	150
5.2. Количественная оценка взаимосвязи между влагозапасами в почве и неполной полевой влагоемкостью.....	154
5.3. Комплексное районирование ресурсов влаги в почве и влагообеспеченности подсолнечника и кукурузы на территории Украины.	160
5.4. Вероятностная оценка возможных запасов продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см весной в различных районах.....	164
6. РЕГИОНАЛЬНАЯ ОЦЕНКА И РАЙОНИРОВАНИЕ БИОКЛИМАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ С УЧЕТОМ МИКРОКЛИМАТА.....	170
6.1. Общие сведения.....	170
6.2. Методы расчетов биоклиматического потенциала территорий с	

региональным подходом.....	174
6.3. Комплексное районирование биоклиматического потенциала и его основных показателей на территории Украины.....	180
6.4. Сравнительная оценка использования биоклиматического потенциала подсолнечником, виноградом и кукурузой в Украине.....	190
6.5. Оценка мезо- и микроклиматической изменчивости биоклиматического потенциала на ограниченных территориях.....	198
7. АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И РАЙОНИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОРОЗООПАСНОСТИ ДЛЯ ЗИМУЮЩИХ КУЛЬТУР В УКРАИНЕ.....	210
7.1. Методы расчетов показателей морозоопасности зимой и их биоклиматическая роль.....	210
7.2. Комплексное районирование показателей морозоопасности на территории Украины с учетом микроклимата.....	215
7.3. Вероятностная оценка и обеспеченность опасных морозов для перезимовки культурных растений.....	222
7.3.1. Оценка обеспеченности опасных морозов на территории Украины.....	222
7.3.2. Рекомендации по рациональному размещению и укрытке виноградников.....	229
7.4. Региональная оценка и районирование условий морозоопасности в среднем масштабе с учетом микроклимата.....	231
8. АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И РАЙОНИРОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ УРОЖАЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ.....	238
8.1. Существующие методы оценки продуктивности культурных растений.....	238
8.2. Агроклиматическая оценка расчетных урожаев винограда разного вида и уровня с учетом микроклимата.....	250
8.3. Агроклиматическая оценка расчетных урожаев подсолнечника разного вида и уровня.....	261
8.4. Региональная оценка и районирование урожаев винограда, подсолнечника, кукурузы в среднем масштабе с учетом микроклимата...	268
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	281
ОГЛАВЛЕНИЕ.....	289

**МІЩЕНКО Зінаїда Антонівна
КИРНАСІВСЬКА Наталія Василівна**

**АГРОКЛІМАТИЧНІ РЕСУРСИ
УКРАЇНИ ТА УРОЖАЙ**

Монографія

Російською мовою
Надруковано в авторській редакції
з готового оригінал-макета

Підписано до друку 12.04.2011. Формат 60х84/16. Папір офсетний.
Гарнітура TimesNewRoman. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 17,21.
Тираж 110 прим. Вид. № 11. Зам. № 262.

Одеський державний екологічний університет
65016, Одеса, вул. Львівська, 15

Друкарня видавництва “Екологія”
65045, м. Одеса, вул. Базарна, 106, к. 313
Тел.: (0482) 33-07-18, 37-07-95, 37-15-27

www.fotoalbom-odessa.com

Свідоцтво суб’єкта видавничої справи ДК № 1873 від 20.07.2004 р.

Мищенко З. А., Кирнасовская Н. В.

M57 Агроклиматические ресурсы Украины и урожай : монография / З. А. Мищенко, Н. В. Кирнасовская. – Одесса : Экология, 2011. – 296 с.

ISBN 978-966-8740-77-0

The book covers agroclimate assessment and integrated zoning of radiation-and-light resources in the territory of Ukraine with regard to the microclimate of slopes; calculation methods and integrated zoning for the indices of thermal resources at day and night in a diverse scale with an assessment of their meso- and microclimate variability in a compound relief, calculation methods and integrated zoning for the indices of thermal regime in active surface and thermal resources in the top-soil, with the microclimate taken account of. An agroclimate assessment and integrated zoning of the following indices are described: moisture resources and provision of crops with moisture in the bioactive layer of air in the territory of Ukraine; moisture resources in a soil and provision of sunflower and corn with moisture. Regional assessment and integrated zoning of bioclimate potential indices are considered within the limits of Ukraine under natural and optimum moistening, with the microclimate taken account of. Special attention is given to agroclimate assessment and zoning of frost danger indices in diverse scales for winter crops, with the microclimate taken account of. Agroclimate assessment and multi-scale zoning of the calculated yields of vine, sunflower and corn of various species and levels are presented on the basis of modelling.

The publication is prepared within the framework of 159173-TEMPUS-1-2009-1-DE-TEMPUS-JPCR 'EU Based Course in Foodstuff Expertise and Quality Control' project.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

ББК 40.2
УДК 63:551.5