

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО НОРМИРОВАНИЮ ОРОШЕНИЯ С УЧЕТОМ  
КОРРЕКТИРОВКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ,  
ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**



Москва 2022

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО НОРМИРОВАНИЮ ОРОШЕНИЯ  
С УЧЕТОМ КОРРЕКТИРОВКИ  
БИОЛОГИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ,  
ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ПОЧВЕННО-  
КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ  
ИЗМЕНЧИВОСТИ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ  
ФАКТОРОВ**

Москва 2022

УДК 631.675:631.672  
ББК 40.723  
М 54

Авторы:

**Г.В. Ольгаренко**, чл.-корр., проф.; **Т.А. Капустина**, доцент;  
**Е.В. Медведева**, науч. сотр. (ФГБНУ ВНИИ «Радуга»)

Под общей редакцией чл.-корр., д-ра с.-х. наук **Г.В. Ольгаренко**  
(ФГБНУ ВНИИ «Радуга»)

Рецензенты:

**Л.В. Кирейчева**, д-р техн. наук, проф. Федерального государственного  
бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский  
институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова»;

**А.И. Рязанцев**, д-р. техн. наук, проф. кафедры технических систем,  
теории и методики образовательных процессов  
ГОУ ВО «Государственного социально-гуманитарного университета»  
(ГОУ ВО «ГСГУ»)

**Методические указания по нормированию орошения с учетом корректировки  
биологических коэффициентов, дифференциации почвенно-климатических ус-  
ловий и пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических  
факторов:** метод. указ. – М., 2022. – 80 с.

М 54

**ISBN 978-5-7367-1699-9**

Разработаны на основе научных исследований, проведенных в 2019-2022 гг., на базе расчетных моделей, баз данных и компьютерной программы ФГБНУ ВНИИ «Радуга» для нормирования орошения агробиоценозов с учётом климатических изменений в границах установленных природно-климатических зон, пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических факторов и влажности почвы, использования нелинейных зависимостей и алгоритма, позволяющих снизить влияние на параметры моделей амплитуды колебаний количественной изменчивости гидрометеорологических условий, в различные по тепло-, влагообеспеченности годы.

Могут использоваться научно-исследовательскими, проектными, строительными и учебными организациями, сельскохозяйственными предприятиями, осуществляющими научно-производственную деятельность в области гидромелиорации и гидротехники.

Рекомендованы к изданию секцией мелиорации Научно-технического совета Минсельхоза России (протокол № 22 от 17 декабря 2021 г.).

---

*Guidelines for Irrigation Rationing Taking into Account the Adjustment of Biological Coefficients, Differentiation of Soil and Climatic Conditions and Spatial and Temporal Variability of Hydrometeorological Factors: Guidelines* (Moscow) 80 (2022).

Guidelines have been developed on the basis of scientific research conducted in 2019-2022, on the basis of computational models, databases and the computer program of the Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Research Institute "Raduga" for rationing the irrigation of agrobiocenoses, taking into account climate changes within the boundaries of established natural and climatic zones, spatial and temporal variability of hydrometeorological factors and soil moisture, the use of non-linear dependencies and an algorithm that makes it possible to reduce the influence on the parameters of models of the amplitude of fluctuations in the quantitative variability of hydrometeorological conditions in years of different heat and moisture supply.

They can be used by research, design, construction and educational organizations, agricultural enterprises engaged in research and production activities in the field of hydromelioration and hydraulic engineering.

Recommended for publication by the Land Reclamation Section of the Scientific and Technical Council of the Ministry of Agriculture of Russia (Minutes No. 22 of December 17, 2021).

ISBN 978-5-7367-1699-9

УДК 631.675:631.672  
ББК 40.723  
© Минсельхоз России, 2022

## ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях к глобальным мировым проблемам, без решения которых невозможно существование человечества, относятся продовольственная безопасность и защита окружающей среды на основе рационального природопользования.

В развитых странах рост продуктивности сельскохозяйственных угодий достигнут благодаря применению высокоинтенсивных систем земледелия и проведению мелиоративных мероприятий. Под влиянием хозяйственной деятельности и возросшей техногенной нагрузки природные структуры агроландшафтов претерпели значительные изменения, что привело не только к нарушению естественной сопряженности многих процессов, но и развитию эрозии и снижению плодородия почв, недостаточной эффективности применяемых технологий. Результатом этого являются возможность дефицита водных ресурсов в регионах с развитым орошаемым земледелием, изменение водного режима агроландшафта, подтопление и вторичное засоление земель, загрязнение подземных и открытых водных систем.

Актуальной проблемой развития водохозяйственного комплекса Российской Федерации, которой уделено особое внимание в Стратегии развития водохозяйственного комплекса России, является сохраняющийся высокий уровень негативного антропогенного воздействия на водные объекты. Формирование структурной, функциональной целостности, экологической безопасности мелиорируемого агроландшафта и связанной с ним водной экосистемы практически полностью зависит от концепции, методологии и технологий управления водопользованием, которые должны быть эколого-экономически сбалансированы для конкретных почвенно-климатических зон реализации процесса водопользования.

Повышение точности планирования и качества реализации режимов орошения может быть достигнуто совершенствованием методов его нормирования за счет использования для расчетов водопотребления агробиоценозов нелинейных зависимостей и алгоритма, позволяющего снизить влияние на параметры моделей амплитуды колебаний количественной изменчивости гидрометеорологических условий, в различные по тепло-, влагообеспеченности годы.

Использование компьютерных и телекоммуникационных технологий, переход к широкомасштабному применению их в сфере сельского хозяйства обеспечат новый уровень получения, распространения и использования информации для решения задач по определению нормирования орошения и обоснованию расчетных математических моделей, характеризующих динамику водного режима агробиоценозов, с учетом количественных параметров изменчивости гидрометеорологических и почвенных условий, сбора и оценки необходимой информации и принятия решения о корректировке норм орошения.

# **1. МЕТОДОЛОГИЯ НОРМИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОРОШЕНИЯ С УЧЕТОМ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

## **1.1. Научно-технические разработки в области оценки суммарного водопотребления и прогнозирования орошения с учетом изменчивости почвенно-климатических условий**

Рациональное водопользование и использование интегральных ресурсов базируются на информационных технологиях планирования и управления орошением, использующих в основе расчетных моделей достоверную оперативную информацию о процессах, протекающих в системе «почва-растение-атмосфера», что позволяет установить величины техногенного воздействия на агробиоценозы, обеспечивающие эколого-экономический сбалансированный уровень продуктивности и экологической безопасности аграрных систем земледелия [1-3].

Решение задач рационального водопользования в мелиорации при применении математических методов имеет высокий уровень сложности и неопределенности, вызванный рядом особенностей мелиоративно-водохозяйственного комплекса, таких как сезонность, пространственно-временная неравномерность и неустойчивость водопотребления агробиоценозов, высокая степень децентрализации и изменчивости запросов водопотребителей, связанных с динамичностью развития растений в течение вегетационного периода, рассредоточенных на больших территориях, требования к качеству воды, значительные объемы сброса дренажных вод, неопределенность и неустойчивость гидрологических условий и воздействия агроклиматических факторов [4-6].

Научно-технические достижения в области методов нелинейного программирования и математического аппарата для построения

стохастических моделей, развития информационных технологий и компьютерной техники, сети Интернет обеспечивают возможности решения многокритериальных задач планирования водопользования и нормирования орошения с учетом факторов неопределенности и риска при функционировании природно-технологических комплексов, которыми по своей сути являются орошаемые агробиоценозы.

В мире разработаны и внедрены в сельскохозяйственное производство различные типы моделей и информационно-советующих систем для прогнозирования водопотребления и нормирования орошения агробиоценозов. Уровень достоверности и точности решений определяется не степенью совершенства оборудования, а тем, насколько компьютерные технологии адаптированы к условиям функционирования и состоянию управляемого объекта, обеспечивают поддержание нормативного водного режима агробиоценозов при рациональном использовании природно-климатического потенциала, водных и техногенных ресурсов. Методология расчетов базируется на оперативной и достоверной информации о гидрометеорологических, гидрогеологических и почвенных условиях, состоянии и развитии посевов сельскохозяйственных культур, динамике водного режима почвы орошаемого участка, зональной системе земледелия, технологиях и технике орошения [7-11].

Анализ многочисленных исследований показывает, что суммарное испарение сельскохозяйственных культур обладает высокой пространственно-временной изменчивостью, в период вегетации посевов агрокультур, соответственно, изменяет динамическое взаимодействие элементов теплового и водного балансов агробиоценозов.

Установлено, что в природно-климатических условиях, отличных по своим характеристикам от природно-климатических зон и временных периодов, в которых были получены независимые переменные и параметры расчетных моделей, не удается получить достоверные результаты в связи с пространственно-временной локализацией полученных данных экспериментальных водно-балансовых исследований и изменчивостью почвенно-климатических условий. Следует также учитывать, что и в конкретных природно-климати-

ческих зонах точность расчетных моделей снижается, поскольку тепло-, влагообеспеченность отдельных вегетационных периодов развития агробиоценозов существенно отличается от среднесезонных показателей. Поэтому необходима разработка универсальной методики нормирования орошения, достаточно корректно учитывающей влияние на суммарное испарение изменчивости гидрометеорологических условий и водного режима агробиоценозов.

На практике применяются тепло-, водно-балансовые методы, использующие закономерности взаимодействия водно-энергетического баланса агробиоценозов [12, 13]. Тепло-, водно-балансовые зависимости получают в результате применения методов математического анализа для установления количественных закономерностей на основе эмпирических данных о динамике взаимодействия тепло-, водно-балансовых составляющих, полученных при проведении исследований на специальных тепло-, водно-балансовых площадках в естественных условиях. Применяемые в тепло-, водно-балансовых моделях коэффициенты, осредненные за ряд лет исследований, без учета изменчивости гидрометеорологических условий и тепло-, влагообеспеченности агробиоценозов в различные годы многолетнего цикла, не позволяют учесть условия конкретного расчетного вегетационного периода, что приводит к значительным ошибкам при расчетах норм и режимов орошения. Очевидно, что применение осредненных за ряд временных интервалов эмпирических коэффициентов, не учитывающих динамику водного баланса агробиоценозов на отдельных этапах роста и развития растений, также снижает точность определения водопотребления растений, а следовательно, и нормирования режимов орошения.

Аналитическими исследованиями установлено, что не существует универсального метода, пригодного для любых природно-климатических условий и сельскохозяйственных культур. Различные расчетные алгоритмы имеют положительные и отрицательные стороны, могут применяться [123] [14-15] для конкретных природно-климатических зон и вегетационных периодов по тепло-, влагообеспеченности, для которых получены результаты экспериментальных водно-балансовых и режимных исследований эмпирических агробиоценозов. Дополнительные ошибки в расчетные модели вносит

использование линейных зависимостей, при этом не учитывается тот факт, что в природной среде практически все взаимодействия подчиняются нелинейным закономерностям. Так, если рассмотреть влияние влажности почвы на суммарное испарение агробиоценозов, то линейные зависимости характерны только в условиях оптимальной влагообеспеченности при уровне влажности, соответствующем наименьшей влагоемкости. Снижение или превышение оптимального уровня влажности почвы приводит к уменьшению водопотребления и замедлению темпов развития растений, причем этот процесс описывается параболическими зависимостями [65-67].

Альтернативным решением задачи получения универсальных зависимостей, описывающих закономерности развития растений в связи с суммарным испарением в зависимости от гидрометеорологических условий, было бы получение уравнений, характеризующих изменчивость чисто биологических характеристик агробиоценозов под влиянием гидрометеорологических условий, учитываемых в расчетных моделях через биологические коэффициенты сельскохозяйственных культур, характерные для каждой сельскохозяйственной культуры в конкретных климатических условиях, на различных этапах онтогенеза.

В итоге получены биологические кривые, характеризующие изменение биологических коэффициентов во времени и динамику суммарного испарения агробиоценозов в течение вегетационного периода [16]. Биологические кривые такого типа можно с высокой степенью достоверности считать универсальными, обладающими минимальной изменчивостью в пространстве. Однако результаты экспериментальных исследований показали, что «чистые» биологические кривые получить не удастся, так как практически невозможно реализовать принцип «единственного различия». В данном случае оценить динамику изменения биологических характеристик агробиоценозов в течение вегетационного периода в зависимости только от гидрометеорологических условий в конкретной почвенно-климатической зоне практически невозможно. Выдержать на одном уровне воздействие других природных факторов в различные годы исследований на отдельных этапах вегетационного периода (влажность почвы, изменчивость условий тепло-, влагообеспеченности,

микроклиматический эффект) достаточно сложно. В результате получались биоклиматические зависимости, учитывающие не только динамику развития сельскохозяйственных культур во времени, но и пространственно-временную изменчивость гидрометеорологических факторов и влажности почвы, а следовательно, являющиеся локальными, пригодными для использования при расчетах суммарного испарения только в конкретных почвенно-климатических условиях, в которых были получены экспериментальные результаты и установлены закономерности [17].

Оптимизация методов расчёта норм орошения с учетом нелинейного характера взаимодействия факторов и пространственно-временной изменчивости природно-климатических условий на основе актуализации исходных данных и разработки программного продукта для расчётных моделей позволит ускорить процесс и повысить точность расчёта норм орошения, обеспечить оперативность информации о результатах нормирования орошения.

Основными расчетными моделями компьютерных технологий нормирования орошения являются установленные на основе статистических и аналитических методов количественной оценки водного баланса агроценозов закономерности динамического взаимодействия между составляющими водного баланса агробиоценозов и гидрометеорологическими факторами, обеспечивающие выдачу объективной информации для оптимального решения практических задач по оперативному планированию поливов и регулированию водного режима орошаемых земель.

ФГБНУ ВНИИ «Радуга» по результатам информационно-аналитических, статистических и экспериментальных исследований сформирована рабочая гипотеза по направлениям совершенствования методов определения суммарного испарения и нормирования орошения. Совершенствование расчетных моделей для нормирования орошения в направлении повышения универсальности и расширения диапазона применимости требует исследования и установления закономерностей влияния пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических факторов и природной влагообеспеченности посевов на динамику суммарного испарения и водного режима агробиоценозов, разработку динамических моделей агро-

биоценозов, использующих большие массивы исходной информации за многолетний период, в сочетании с оперативными данными о текущих гидрометеорологических условиях, влагообеспеченности и состоянии агробиоценозов [18].

## **1.2. Концепция совершенствования методики нормирования орошения и водопользования**

В математических моделях для расчета водопотребления и нормирования орошения исходные данные, необходимые для реализации расчетных технологий, должны содержать следующие информационные блоки:

▶ *агротехнологических условий*, в том числе характеристики сельскохозяйственного предприятия и орошаемого участка, вид сельскохозяйственной культуры или состав севооборота, агротехнологические параметры зональных систем земледелия, водно-физические и агрохимические свойства почвы орошаемого участка, технико-эксплуатационные параметры применяемых технических средств орошения;

▶ *гидрометеорологических данных* – содержит информацию о основных зональных энергетических и климатических характеристиках, природной тепло-, влагообеспеченности агроландшафтов;

▶ *оперативной информации*, в том числе данные о текущих значениях влагообеспеченности и фазах развития посевов, фактических режимах выпадения осадков и проведения поливов.

Значительно снижает точность определения эвапотранспирации и нормирования орошения с использованием математических моделей, именно их локальность и использование среднесезонных показателей, не учитывающих пространственно-временную изменчивость влияния тепло-, влагообеспеченности на суммарное водопотребление агробиоценозов. При выращивании сельскохозяйственных культур на орошаемых землях влажность почвы не может поддерживаться постоянно на оптимальном уровне в районе наименьшей влагоемкости – поддерживается в диапазоне от 0,6-0,8 до 1,0 наименьшей влагоемкости (НВ) в расчетном слое почвы, что

сказывается на изменчивости суммарного испарения даже для одних и тех же периодов развития растений и величинах гидрометеорологических факторов. Учет и количественная оценка влияния снижения влагообеспеченности на суммарное испарение агробиоценозов могут существенно повысить адекватность расчетных моделей реальному состоянию подстилающей поверхности и динамике водного режима посевов.

Анализ научно-методических, информационно-аналитических материалов и результатов собственных научных исследований [3, 5, 11, 17, 19, 21, 30, 33, 42, 51, 60, 69, 70, 72, 74] дает возможность сформулировать **основные принципы** совершенствования методики нормирования и прогнозирования орошения как научно-методическую базу дальнейших научных исследований:

- ▶ планирование и оперативное нормирование режимов орошения позволяют рационально и эколого-экономически сбалансированно использовать интегральные ресурсы, в том числе водные, при точной оценке динамики и определении влагозапасов почвы орошаемого участка на конкретные даты вегетационного периода с учетом изменчивости гидрометеорологических факторов и биологических характеристик агробиоценозов;

- ▶ управление режимом поливов базируется на оперативном и достоверном определении динамики водного режима почвы орошаемых земель во временном диапазоне – от начала и до конца расчетного этапа вегетационного периода агробиоценозов;

- ▶ адекватность расчетной модели планирования орошения определяется точностью расчета суммарного водопотребления агробиоценозов в динамике, зависит от оперативности и достоверности исходных данных о состоянии подстилающей поверхности и влиянии влагообеспеченности посевов на суммарное испарение;

- ▶ разработка и практическое применение математических моделей для планирования и реализации процессов управления орошением требуют проведения научных исследований по обоснованию расчетных зависимостей, параметров и констант, формированию достоверной и информативной базы данных с применением математического аппарата системного анализа и статистических исследований.

Для теоретического и экспериментального обоснования расчетных алгоритмов методов планирования орошения необходимо реализовать цикл исследований, таких как:

- ▶ комплексные исследования, количественная оценка и установление закономерностей влияния гидрометеорологических факторов, влагообеспеченности агробиоценозов на суммарное испарение и урожайность сельскохозяйственных культур;

- ▶ формирование цифрового массива данных и оценка закономерностей динамики водного и соотношения структурных элементов баланса и влагообмена в зоне аэрации агроценозов при различных глубине залегания уровня грунтовых вод и вариации гидрометеорологических условий;

- ▶ исследование закономерностей динамического взаимодействия в системе «почва-растение-атмосфера» и влияния на формирование суммарного испарения и урожайности при различных уровнях взаимодействия элементов теплового и водного баланса агробиоценозов с учетом изменчивости агрометеорологических условий в различные фазы развития растений.

Для научно-методического обоснования вариационных характеристик многолетних рядов экспериментальных данных и получения количественных связей изменчивости суммарного испарения как результата влияния изменчивости гидрометеорологических условий необходимы информационно-аналитические и статистические исследования многолетних рядов данных в ретроспективе не менее 30 лет.

В качестве объекта для проверки рабочей гипотезы и методического подхода были применены результаты ранее проведенных научных исследований и ретроспективные гидрометеорологические базы данных по воднобалансовым исследованиям орошаемого земледелия в Астраханской области.

Математическая обработка многолетних рядов гидрометеорологических данных и величины суммарного испарения позволила получить статистические параметры и провести группировку многолетних рядов гидро-метеорологических данных и установить закономерности (рис. 1.1), в общем виде отражающие взаимосвязь суммарного испарения (эвапотранспирации) и характеристик теп-

ло-, влагообеспеченности и дефицита естественного увлажнения за исследуемый временной интервал, следующего типа:

$$\Delta ET = f(\Delta PW; \Delta r; \Delta t \cdot \Delta E_w). \quad (1)$$

В формуле показатели  $\Delta ET$ ,  $\Delta t$ ,  $\Delta r$ ,  $\Delta E_w$  характеризуют величину разницы между текущими показателями и средне статическими значениями величин:

где  $ET$  – суммарное испарение за расчетные интервалы времени, мм;

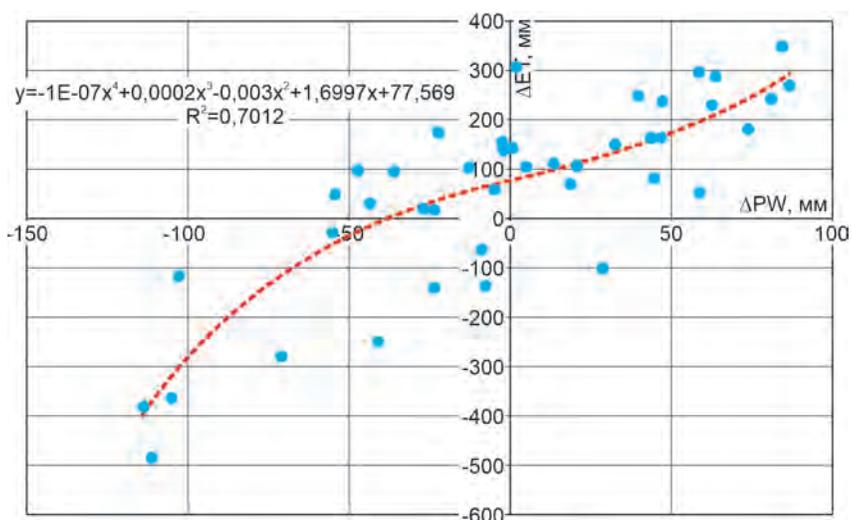
$r$  – величина относительной влажности воздуха, %;

$P$  – сумма слоя естественных осадков, мм;

$E_w$  – значения испаряемости, мм;

$t$  – среднесуточная температура воздуха, °C;

$\Delta PW$  – дефицит естественного увлажнения.



*Рис. 1.1. Зависимость отклонений суммарного испарения  $\Delta ET$  и дефицита водообеспеченности  $\Delta PW$  от среднемноголетних показателей за ретроспективный ряд лет для засушливой степной зоны*

Установлено, что прямолинейная зависимость менее значима, чем криволинейная, а максимально тесные связи отмечаются у параболических зависимостей, причем необходимо учитывать знак отклонения.

Максимальные корреляционные отношения, составляющие 0,64-0,89, получены при учете знака отклонения от среднесуточных показателей.

Очевидно, что использование относительных величин позволит повысить точность аналитических зависимостей.

Таким образом, расчет суммарного испарения сельскохозяйственных культур для заданных природных климатических зон проводится с использованием биоклиматических коэффициентов, дифференцированных в соответствии с пространственно-временной изменчивостью гидрометеорологических факторов и условий влагообеспеченности с учетом биологических закономерностей развития агробиоценозов.

Определение суммарного испарения для отдельных этапов вегетации растений проводится на основе данных о величине изменчивости гидрометеорологических факторов по следующему алгоритму:

проводятся сбор исходной информации и формирование базы данных, включающей в себя следующие показатели: величина почвенных влагозапасов ( $W_{\phi}$ ) на дату начала расчетов, среднесуточных величин активных температур ( $t_{\phi}$ ) и относительной влажности воздуха ( $r_{\phi}$ ), величина расчетного интервала.

Величина испаряемости, характеризующая иссушающую способность атмосферы, рассчитывается с использованием данных стандартных гидрометеорологических наблюдений по формуле

$$E_w = 0,0006 (t - 25)^2 (100 - r)/100. \quad (2)$$

Дефицит водного баланса, или естественного увлажнения, рассчитывается по уравнению

$$PW = E_w - P. \quad (3)$$

Значения отклонений текущего дефицита водообеспеченности от среднемноголетних показателей для конкретных природно-климатических условий устанавливаются на основе зависимости

$$\Delta PW = PW - \overline{PW}_{cp}. \quad (4)$$

Расчет количественных значений отклонений величин суммарного испарения от среднемноголетних данных выбранного расчетного для расчетного цикла проводится по уравнению

$$\begin{aligned} \Delta ET = -1E - 07 \Delta PW^4 + 0,0002 \Delta PW^3 - 0,003 \Delta PW^2 + \\ + 1,6997 \Delta PW + 77,569. \end{aligned} \quad (5)$$

Расчет почвенных влагозапасов на завершающей стадии расчетного периода для фактических гидрометеорологических условий проводится по следующей зависимости:

$$W_k = W_H - (\overline{ET} \pm \Delta ET) + P. \quad (6)$$

Расчет дефицита водного баланса конкретного периода вегетации и величины поливной нормы:

$$m = W_{H.B.} - [W_H - (\overline{ET} \pm \Delta ET) + P]. \quad (7)$$

Разработанная расчетная модель позволяет количественно оценить вариации климатических факторов и более точно установить режимы изменения суммарного испарения, а следовательно, повысить точность расчета норм и режима полива, адекватность поливного режима требованиям растений, что обеспечивает эффективность технологий орошения и использования водных и энергетических ресурсов, экологическую безопасность орошения.

Предложенный алгоритм является базовым, вызывает необходимость корректировки параметров и коэффициентов уравнений, адаптации расчетной модели для конкретных природно-климатических условий и сельскохозяйственных культур.

Разработка универсального метода расчета суммарного испарения

требует количественной оценки влияния снижения влагообеспеченности на суммарное испарение агробиоценозов, дифференциации параметров моделей и получения закономерностей их изменчивости в зависимости от изменчивости агрометеорологических условий и влажности почвы, что может существенно повысить адекватность расчетных моделей реальному состоянию подстилающей поверхности и динамике водного режима посевов.

## **2. НОРМИРОВАНИЕ ОРОШЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ БИОКЛИМАТИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ С УЧЕТОМ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН И ТЕПЛО-, ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ**

### **2.1. Методика расчета испаряемости сельскохозяйственных культур с учетом пространственно-временной динамики биоклиматических коэффициентов в зависимости от природно-климатической зоны**

Эколого-экономическая эффективность оросительных мелиораций в большой степени обуславливается научно обоснованными нормированными показателями режимов орошения – суммарным водопотреблением, оросительными и поливными нормами, их внутрисезонным распределением, установленными в зависимости от потенциала природных ресурсов тепла и влаги с учетом их территориально-временной изменчивости. К последним относятся элементы водного и теплового балансов: испаряемость, атмосферные осадки, влагозапасы в почве, подпитка из грунтовых вод при их близком залегании.

Для оценки природной тепло-, влагообеспеченности территории разработаны расчетные модели на основе метеорологических и агрогидрологических показателей, приведенных далее.

К комплексным показателям, характеризующим внешнюю среду произрастания растений, существенно определяющим тепловые ресурсы климата, относится испаряемость, под которой понимается максимально возможное испарение при неограниченном притоке влаги к испаряющей поверхности.

Основные факторы, обуславливающие испаряемость:

- ▶ *влагоемкость*, количественно равная дефициту влажности воздуха;
- ▶ *тепловая энергия*, расходуемая на испарение, определяемая тепловым балансом поверхности;

► *интенсивность турбулентного влагообмена* между испаряющей поверхностью и вышележащими слоями атмосферы.

В науке и практике известен ряд методов определения испаряемости [20, 21, 22], в большинстве которых используются теоретические модели и эмпирические связи испаряемости с температурой воздуха или дефицитом его влажности. Широкое распространение получили методы расчета испаряемости, в которых использование элементов водного и теплового балансов деятельного слоя почвы сочетается с динамическими показателями атмосферы. К ним относятся метод Х.Л. Пенмана [23], водно-, теплобалансовый метод С.И. Харченко [24], комплексный метод Н.В. Данильченко [25] и др.

Разработанный во ВНИИ «Радуга» метод расчета испаряемости, широко использованный в разработках по нормированию орошения [26-28] для различных природно-климатических зон, научно обоснован теоретически и экспериментально, проверен многолетними измерениями водного и теплового балансов на орошаемых полях в конкретных природных зонах. Метод обеспечен надежной и доступной для пользователя компьютерной программой [28], включающей в себя блок статистической обработки эмпирических рядов данных любой длительности для установления вероятностных (прогнозных) значений показателей тепло-, влагообеспеченности и параметров орошения [29-30]. Кроме того, обосновано использование теоретической кривой Джонсона [31] для обработки рядов с нулевыми или пропущенными значениями признака.

Для полноценной оценки природного потенциала тепла и влаги сельскохозяйственно используемой территории разработаны и рекомендуются следующие комплексные показатели:

- испаряемость (потенциальная эвапотранспирация);
- атмосферные осадки;
- активные влагозапасы почвы в диапазоне от НВ до ВРК (влажность разрыва капиллярной связи);
- коэффициент увлажнения  $K_y$ , равный соотношению элементов водного и теплового балансов.

Перечисленные показатели определяют расчеты параметров орошения. Методика установления уровня природной тепло-, влагообеспеченности и параметров орошения, а также районирования орошаемых районов приводится далее.

### 2.1.1. Методика определения испаряемости

Расчетная модель ВНИИ «Радуга» включает в себя энергетическую составляющую процесса испарения, динамическую его часть и показатель влагоемкости воздуха. Формула имеет следующий вид:

$$E = K_t \times d \times f(v), \quad (8)$$

где  $E$  – испаряемость, мм;

$K_t$  – энергетический фактор испарения, мм/мб;

$d$  – дефицит влажности воздуха, мб;

$f(v)$  – ветровая функция, учитывающая влияние скорости ветра на интенсивность испарения.

Входящие в формулу 1 факторы определяются по следующим зависимостям:

$$K_t = 0,0061 (25 + t)^2 l_a^{-1}, \quad (9)$$

где  $t$  – среднесуточная температура воздуха за расчетный интервал, °С;

$l_a$  – упругость насыщенного пара при этой температуре, мб.

$$d = l_a (1 - 0,01 A), \quad (10)$$

где  $A$  – относительная влажность воздуха, %.

Главная часть модели ( $K_t$ ) составлена на основе полной формулы Н.Н. Иванова [16] и имеет следующий вид:

$$E = 0,0018 \times (25 + t)^2 \times (100 - a), \text{ мм/мес.}$$

Формула наиболее тесно коррелирует с эталоном, за который принята модель М.И. Будыко [33]. Коэффициент корреляции равен 0,8-0,93.

Динамическая часть процесса испаряемости  $f(v)$  получена экспериментально [34] и определяется по формуле

$$f(v) = 0,64 (1 + 0,19 V_2), \quad (11)$$

где  $V_2$  – скорость ветра на высоте 2 м от поверхности земли, м/с.

Значения энергетического фактора  $K_t$  (мм/мб) и ветровой функции  $f(v)$  приводятся в табл. 2.1, 2.2.

Таблица 2.1

**Энергетический фактор  $K_t$  в зависимости от температуры воздуха**

Показатели	Значение								
Температура воздуха $t, ^\circ\text{C}$	0	4	8	12	16	20	24	28	32
Энергетический фактор $K_t, \text{мм/Мб}$	0,61	0,63	0,61	0,59	0,56	0,52	0,48	0,45	0,41

Таблица 2.2

**Ветровая функция  $f(v)$  в зависимости от скорости ветра на высоте 2 м ( $V_2$ )**

Показатели	Значение							
Скорость ветра $V_2, \text{м/с}$	0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
Ветровая функция $f(v)$	0,64	0,76	0,88	1,00	1,12	1,24	1,36	1,48

В табл. 2.3 даны понижающие коэффициенты для приведения скорости ветра, измеренной на фактической высоте, к скорости ветра на высоте 2 м, входящей в определение ветровой функции  $f(v)$ .

Таблица 2.3

**Понижающий коэффициент  $K_v$  в зависимости от фактической высоты измерения скорости ветра  $H_f$** 

Показатели	Значение									
$H_f, \text{м}$	2	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$K_v$	1	0,83	0,81	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,75	0,75

Исходными данными для расчета испаряемости служат метеорологические наблюдения за температурой и влажностью воздуха, скоростью ветра и атмосферными осадками за период не менее 40-45 лет по репрезентативным метеостанциям региона и пограничным с ним областям.

Расчет испаряемости проводится по декадным данным за теплый период года с температурой воздуха выше  $5^\circ\text{C}$ . Хронологические

ряды испаряемости по каждой метеостанции подвергаются статистической обработке по методике, приведенной в [30-31], в результате чего устанавливаются вероятностные (обеспеченные) значения, т.е. испаряемость в годы различной увлажненности: 5% обеспеченности – влажный год, 25 – средневлажный, 50 – средний, 75 – среднесухой, 95% – сухой год.

Помимо вероятностных значений испаряемости, определяются статистические характеристики эмпирических (многолетних) рядов этого показателя, т.е.:

$E_{\text{то}}$  – оценка точности среднемноголетнего значения ряда;

$Cv$  – коэффициент изменчивости в долях от единицы:

$E_{Cv}$  – средняя квадратическая ошибка  $Cv$ , %.

Результаты расчетов дают представление об изменчивости испаряемости по годам различной увлажненности, от влажного до острозасушливого, и по территории, приуроченным к природным физико-географическим зонам. Статистические характеристики эмпирического ряда оценивают надежность и достаточность исходных данных для определения прогнозных (вероятностных) значений испаряемости, а также применимость выбранной кривой распределения.

### **2.1.2. Методика установления ресурсов тепло-, влагообеспеченности**

Естественные ресурсы влаги пополняются в основном *атмосферными осадками*. По данным наблюдений репрезентативных для территории региона метеостанций за период не менее 40-45 лет, в расчет принимаются декадные суммы атмосферных осадков за теплый период года с температурой воздуха выше 5°C. Как и при расчетах испаряемости, хронологические ряды данных обрабатываются, на основе чего строятся кривые обеспеченности (вероятности), т.е. устанавливаются суммы атмосферных осадков в разные по влажности годы. Следует отметить, что кривая обеспеченности осадков обратна такой по испаряемости, т.е. наибольшие осадки наблюдаются в годы 5, 15 и 25% обеспеченности, наименьшие – в годы 75 и 95%.

К ресурсам влагообеспеченности относятся также *влагозапасы* в почве и *капиллярный приток* из близкозалегающих грунтовых вод,

методика оценки которых представлена в следующих разделах, так как эти элементы приходной части водного баланса входят в формулу (5) определения коэффициента увлажнения  $K_y$  – комплексного показателя тепло-, влагообеспеченности и критерия агроклиматического районирования, а также в расчетную модель определения оросительной нормы.

### **2.1.3. Методика определения показателя тепло-, влагообеспеченности – коэффициента увлажнения $K_y$ и агроклиматического районирования используемой сельскохозяйственной территории**

Показатели природных ресурсов тепла и влаги – испаряемость и атмосферные осадки – не исчерпывают всего комплекса факторов, определяющих развитие и рост растений, в связи с чем возникает необходимость в разработке комплексного показателя тепло-, влагообеспеченности, используемого также для агроклиматического районирования. Такой показатель  $K_y$  разработан и применяется в расчетах ВНИИ «Радуга» [22, 35], а также в исследованиях и расчетах ряда отечественных и зарубежных научных и проектных институтов.

Коэффициент увлажнения  $K_y$  определяется за период с температурой воздуха выше  $5^{\circ}\text{C}$ , в который укладываются вегетационные периоды большинства сельскохозяйственных культур. Расчет  $K_y$  ведется по зависимости (12)

$$K_y = \frac{W_a + P}{E}, \quad (12)$$

где  $K_y$  – коэффициент природного увлажнения за период с температурой более  $5^{\circ}\text{C}$ ;

$W_a$  – активные запасы влаги в метровом слое почвы на начало расчетного периода (дата перехода температуры воздуха через  $+5^{\circ}\text{C}$ ), мм;

$P$  – сумма атмосферных осадков за расчетный период, мм;

$E$  – испаряемость (потенциальная эвапотранспирация) за тот же период, мм.

Атмосферные осадки  $P$  принимаются по данным метеостанций, репрезентативных для рассматриваемой территории.

Активные влагозапасы  $W_a$  определяются по формуле

$$W_a = W_{нв} (\mu - \beta_o), \quad (13)$$

где  $W_{нв}$  – запасы влаги в метровом слое почвы, соответствующие наименьшей влагоемкости (водоудерживающей способности), мм;

$\mu$  – коэффициент, характеризующий степень фактического насыщения почвенного слоя влагой на начало расчетного периода, в долях от  $W_{нв}$ ;

$\beta_o$  – влажность почвы, соответствующая предполивному порогу (допустимому порогу иссушения), в долях от  $W_{нв}$ .

Наименьшая влагоемкость, или водоудерживающая способность конкретной почвы ( $W_{нв}$ ), зависит от ее механического состава и водно-физических свойств.

Коэффициент  $\mu$  в зависимости от характера и количества атмосферных осадков за зимне-весенний период изменяется, как правило, от 0,7 до 1.

Нижний предполивной порог влажности почвы ориентировочно может быть определен по уравнению

$$\beta_o = 0,5 \times (\beta_{нв} + \beta_z), \quad (14)$$

где  $\beta_{нв}$  – влажность почвы, соответствующая наименьшей влагоемкости от массы, %;

$\beta_z$  – влажность завядания от массы, %.

При отсутствии конкретных данных согласно методике [23]  $\beta_o$  можно принимать в долях от  $\beta_{нв}$ : для песчаных и супесчаных почв  $\beta_o = (0,50-0,65) \beta_{нв}$ , для суглинистых  $\beta_o = (0,65-0,75) \beta_{нв}$ , для глинистых  $\beta_o = (0,75-0,8) \beta_{нв}$ .

В рекомендуемой расчетной модели для определения  $K_y$  порог допустимого иссушения почвы ( $\beta_o$ , %) устанавливается по следующему уравнению:

$$\beta_o = 0,36 + 1,48 \cdot 10^{-3} \cdot W_{нв} - 9,52 \cdot 10^{-3} \cdot W_{нв}^2, \quad (15)$$

где  $W_{не}$  – наименьшая влагоемкость метрового слоя почвы, мм.

Испаряемость (потенциальная эвапотранспирация), или максимально возможное испарение, определяется по формуле 1.

Исходные данные для расчета коэффициента тепло-, влагообеспеченности ( $K_y$ ) вегетационного периода:

1. Подекадные метеорологические данные за теплый период с температурой воздуха более  $5^{\circ}\text{C}$  по опорным и пограничным метеостанциям региона за 40-45-летний ряд наблюдений по следующим четырем параметрам:

- ▶ среднедекадная температура воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;
- ▶ среднедекадная относительная влажность воздуха, %;
- ▶ среднедекадная скорость ветра, м/с;
- ▶ сумма декадных атмосферных осадков, мм.

2. Данные о высоте установки флюгера (для определения среднедекадной скорости ветра на высоте 2 м от поверхности земли), м.

3. Сведения о механическом составе, водно-физических и химических свойствах метрового слоя почвы и зоны аэрации.

По перечисленным исходным данным коэффициент увлажнения  $K_y$  определяется по разработанной во ВНИИ «Радуга» программе [28].

Расчет  $K_y$  ведется в следующей последовательности (см. рис. 1.1):

- ▶ по каждому году ретроспективного ряда устанавливается период с температурами воздуха выше  $5^{\circ}\text{C}$ ;
- ▶ для установленного периода в каждом году подекадно рассчитываются осадки  $P$ , испаряемость  $E$  и активные влагозапасы  $Wa$ , а затем подсчитывается их сумма за период;
- ▶ по формуле (5) определяются значения  $K_y$  за каждый год и рассчитывается средний многолетний  $K_y$ .

Полученные по каждой метеостанции значения  $K_y$  за 40-45-летний период статистически обрабатываются: хронологические ряды  $K_y$  ранжируются, и затем определяется эмпирическая вероятность каждого члена ранжированного ряда [19], т.е. выстраивается ряд эмпирического распределения вероятностей  $K_y$ .

На основе эмпирического ряда определяются параметры аналитической модели, выбор которой руководствуется принципами наибольшего сопряжения с эмпирическими рядами и установления

достоверных прогнозных значений признака. Анализ использованных моделей показал, что наибольшую сходимость с эмпирическим распределением  $K_y$  имеет четырехпараметрическая кривая Джонсона [31], представляющая собой гибкую модель, удобную для программирования и получения достоверных вероятностных значений  $K_y$ .

По средним многолетним значениям составляется карта-схема изолиний  $K_y$ , показывающая изменчивость тепло-, влагообеспеченности территории. Карта служит основой для выделения в пределах района зон увлажнения. Изолинии  $K_y$  сопрягаются с границами физико-географических зон [36], составляется таблица природных зон и соответствующих градаций  $K_y$ : лесная –  $K_y > 0,80$ , лесостепная –  $K_y = 0,51-0,8$ , степная –  $K_y = 0,31-0,50$ , полупустынная и пустынная зоны –  $K_y < 0,30$ .

Схема расчета параметров тепло-, влагообеспеченности территории представлена на рис. 2.1.

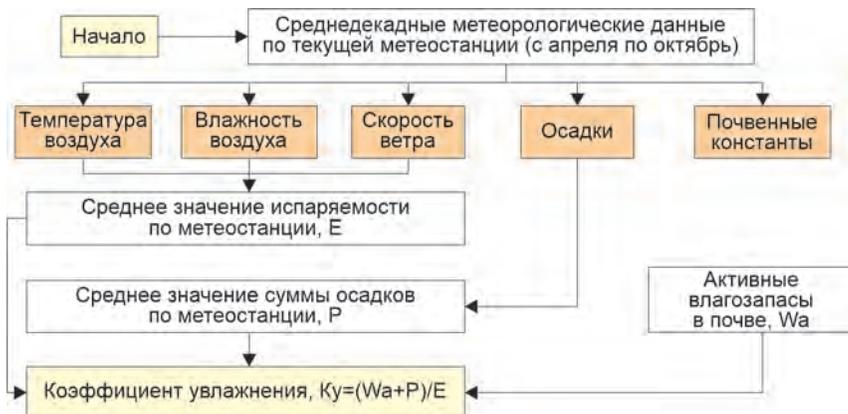


Рис. 2.1. Схема расчета коэффициента увлажнения территории

Районирование территории исследуемого объекта проводится методом линейной интерполяции по средним многолетним значениям коэффициента увлажнения (рис. 2.2).

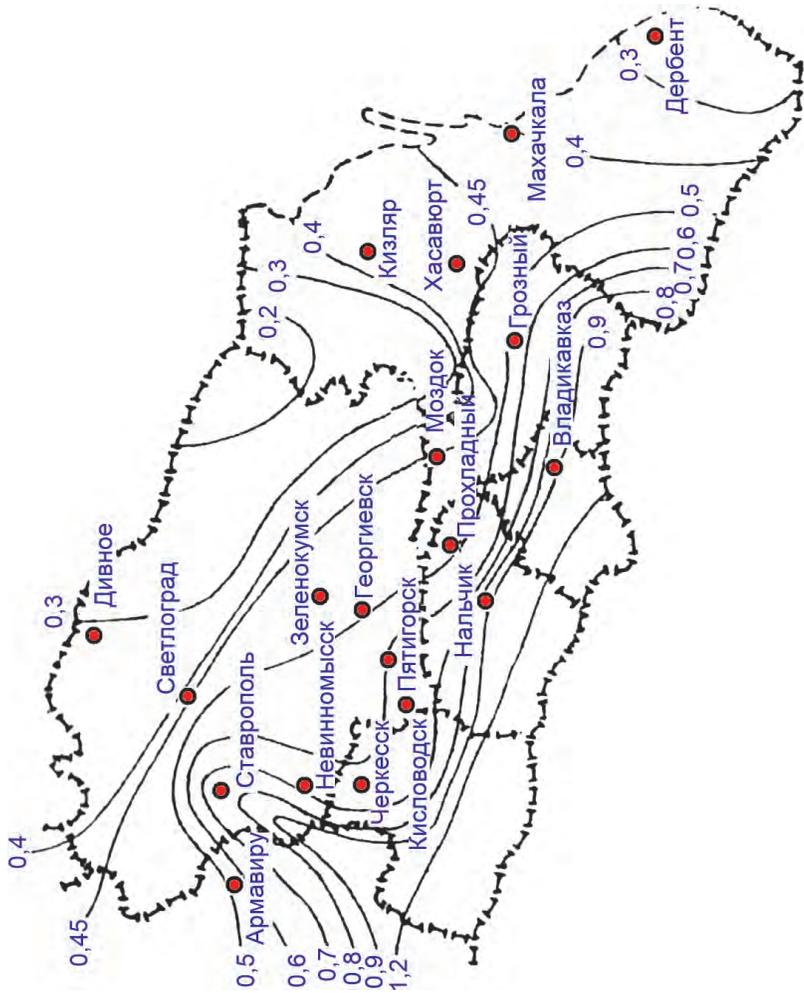


Рис. 2.2. Районирование Северного Кавказа по  $K_y$

## 2.2. Методика планирования оросительных норм агробиоценозов

Для определения и нормирования основных показателей режимов орошения – суммарного водопотребления и оросительных норм – разработано много расчетных методов, позволяющих дифференцировать нормы орошения по территории и прогнозировать их для лет различной влажности. Развитию расчетных методов способствовали применение компьютерной технологии, использование статистических приемов обработки данных и вероятностного анализа. Многие из предлагаемых методов различных авторов носят локальный характер, содержат разнородный состав и объем исходной информации, что затрудняет их сравнение и выбор даже в пределах одного региона [20, 21, 24, 30, 32, 37, 38-40, 36].

Проведенный Государственным гидрологическим институтом (ГГИ) в 1988-1992 гг. на основе опытных работ и измерений методами водного и теплового балансов сравнительный анализ полученных экспериментальных данных и установленных по разным методикам и расчетным моделям значений параметров орошения [20] показал преимущества расчетных методов С.И. Харченко (ГГИ), Г.В. Талалаевского (Союзводпроект) и Н.В. Данильченко (ВНИИ «Радуга»).

Расчетные модели ВНИИ «Радуга» для установления суммарного водопотребления и оросительных норм имеют надежное программное обеспечение на ПК. Особенно ценно, что компьютерные программы включают в себя оригинальную, дающую достоверные результаты методику статистической обработки многолетних рядов данных с использованием их для построения вероятностной кривой распределения оросительных норм и других параметров орошения, внутрисезонное распределение и прогнозные значения для условий различной влажности.

### 2.2.1. Методика определения суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур

Суммарное водопотребление  $E_v$  – транспирация растений плюс испарение с поверхности почвы – является основным элементом расходной части водного баланса сельскохозяйственного поля и одним из основных параметров орошения.

По разработанной во ВНИИ «Радуга» методике суммарное водопотребление устанавливается на основе биоклиматической модели, включающей в себя испаряемость, биоклиматические и микроклиматические коэффициенты, отражающие роль растений и погодных условий в расходовании влаги с орошаемых полей. Зависимость, по которой рекомендуется определять суммарное водопотребление, имеет вид:

$$E_v = E \cdot K_o \cdot K_o, \quad (16)$$

где  $E_v$  – суммарное водопотребление, мм;

$K_o$  – биологический коэффициент, характеризующий роль растений в расходовании влаги сельскохозяйственным полем;

$K_o$  – микроклиматический коэффициент, учитывающий изменение микроклимата сельскохозяйственного поля под влиянием орошения;

$E$  – испаряемость (потенциальная эвапотранспирация).

Микроклиматический коэффициент  $K_o$ , отражающий возможное изменение микроклимата на сельскохозяйственном поле под влиянием орошения (в результате снижения температуры воздуха и скорости ветра, повышения влажности воздуха в приземном слое атмосферы), количественно зависит от размера орошаемой площади и коэффициента природного увлажнения  $K_y$ . Размеры  $K_o$  приведены в табл. 2.4.

Биологический коэффициент  $K_o$  представляет собой отношение фактического водопотребления (суммарного испарения воды сельскохозяйственным полем) к испаряемости. Изменяется тер-

риториально (по физико-географическим зонам), т.е. в одну и ту же фазу развития культуры в разных зонах количественно  $K_o$  может различаться на 10-20%. Кроме того, он может меняться в реальном времени, т.е. в разные по увлажнению годы в течение вегетации растений пофазные коэффициенты могут быть различными.

Таблица 2.4

**Микроклиматический коэффициент  $K_o$   
в зависимости от орошаемой площади и природной увлажненности территории**

Площадь орошения, га	Коэффициент увлажнения территории, $K_u$							
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1000	0,85	0,88	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98
10000	0,82	0,86	0,89	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97
50000	0,78	0,83	0,86	0,89	0,92	0,94	0,95	0,96

Средние многолетние значения  $K_o$  и значение глубины корнеобитаемого слоя почвы  $h_k$  в зависимости от суммы температур воздуха ( $\sum t$  от начала вегетации) с учетом характера их изменения на протяжении вегетации при высоком уровне агротехники и оптимальном водообеспечении сельскохозяйственных культур применительно к природно-хозяйственным условиям каждого региона приведены в табл. 2.5, 2.6.

**Биоклиматические коэффициенты водопотребления сельскохозяйственных культур  $K_6$   
в зависимости от суммы среднесуточных температур воздуха, мм/мм**

Культура	Расчетный (вегетационный) период		Сумма среднесуточных температур воздуха нарастающим итогом от начала вегетации, °С															
	начало	окончание	0-200	200-400	400-600	600-800	800-1000	1000-1200	1200-1400	1400-1600	1600-1800	1800-2000	2000-2200	2200-2400	2400-2600	2600-2800	2800-3000	3000-3200
			2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Зона полупустынь (<math>K_y = 0,21-0,30</math>)</i>																		
Колосовые озимые	6	1400	0,68	0,73	0,90	1,08	1,13	0,95	0,55	0,55	0,55	0,55	0	0	0	0	0	0
Колосовые яровые	6	1450	0,56	0,62	0,79	1,01	1,12	1,03	0,78	0,56	0,56	0,56	0,56	0	0	0	0	0
Картофель поздний	10	1850	0,50	0,54	0,62	0,76	0,96	1,10	1,12	1,01	0,74	0,52	0,52	0,52	0	0	0	0
Кукуруза на зерно	10	2300	0,51	0,54	0,62	0,72	0,85	1,02	1,11	1,12	1,04	0,84	0,63	0,63	0,63	0,63	0	0
Кукуруза на силос	10	1950	0,53	0,56	0,65	0,76	0,89	1,02	1,11	1,12	1,04	1,04	1,04	1,04	0	0	0	0
Кукуруза пожнив-ные	6	1300	0,50	0,54	0,60	0,71	0,87	0,99	1,08	1,10	1,08	0	0	0	0	0	0	0
Свекла сахарная	9	3000	0,56	0,62	0,67	0,74	0,82	0,92	1,00	1,08	1,13	1,12	1,08	1,00	0,90	0,77	0,77	0,77
Свекла кормовая	8	2000	0,50	0,54	0,62	0,76	0,89	1,07	1,10	1,05	0,90	0,75	0,75	0,75	0,75	0	0	0
Свекла столовая	10	2100	0,62	0,65	0,76	0,87	0,96	1,08	1,10	1,03	0,90	0,80	0,72	0	0	0	0	0
Люцерна подпо-кровная	8	1400	0,50	0,55	0,66	0,90	1,08	0,70	0,80	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0
Люцерна прошлых лет	6	8	0,72	0,80	1,00	1,12	0,70	0,80	1,00	1,12	0,70	0,80	1,00	1,12	0,70	0,80	1,00	1,12

Пастбище орошаемое	6	8	0,76	0,90	1,07	0,76	0,90	1,06	0,76	0,90	1,06	0,76	0,90	1,06	0,76	0,90	1,06	1
Травы однолетние	9	2500	0,52	0,60	0,75	0,98	1,10	0,68	0,78	0,98	1,08	1,10	0,68	0,78	0,98	1,08	1,10	0
Капуста поздняя	14	2100	0,70	0,77	0,88	0,97	1,05	1,11	1,10	1,05	0,96	0,87	0,80	0,76	0	0	0	0
Овощи (томаты, огурцы)	12	2000	0,72	0,75	0,86	0,97	1,06	1,10	1,10	1,03	0,90	0,80	0,72	0	0	0	0	0
Овощи (лук, морковь)	10	1900	0,72	0,75	0,86	0,97	1,06	1,10	1,10	1,03	0,90	0,80	0,72	0	0	0	0	0
<i>Зона сухих степей (<math>K_y = 0,31-0,40</math>)</i>																		
Колосовые озимые	6	1400	0,70	0,76	0,90	1,08	1,13	0,96	0,60	0,6	0,60	0,60	0	0	0	0	0	0
Колосовые яровые	8	1450	0,63	0,69	0,80	1,01	1,11	1,05	0,80	0,56	0,56	0,56	0,56	0	0	0	0	0
Картофель поздний	10	1850	0,54	0,58	0,66	0,79	0,96	1,10	1,12	1,01	0,80	0,57	0,57	0,57	0,57	0	0	0
Кукуруза на зерно	10	2300	0,53	0,56	0,65	0,76	0,89	1,02	1,11	1,12	1,04	0,84	0,63	0,63	0,63	0,63	0	0
Кукуруза на силос	10	1950	0,53	0,56	0,65	0,76	0,89	1,02	1,10	1,11	1,03	1,03	1,03	1,03	0	0	0	0
Кукуруза пожнивная	6	1300	0,50	0,54	0,60	0,71	0,87	0,99	1,08	1,10	1,08	0	0	0	0	0	0	0
Свекла сахарная	10	2800	0,56	0,62	0,67	0,74	0,82	0,92	1,00	1,08	1,13	1,12	1,08	1,00	0,90	0,77	0,77	0,77
Свекла кормовая	8	2000	0,52	0,57	0,66	0,78	0,94	1,09	1,10	1,04	0,91	0,76	0,76	0,76	0,76	0	0	0
Свекла столовая	10	2100	0,62	0,65	0,75	0,87	0,96	1,10	1,10	1,03	0,90	0,80	0,72	0	0	0	0	0
Люцерна подпорокная	8	1350	0,50	0,55	0,66	0,90	1,08	0,71	0,80	1,00	1,10	0,71	0,80	0,96	0	0	0	0
Люцерна прошлых лет	6	8	0,75	0,83	1,01	1,12	0,71	0,80	1,00	1,12	0,71	0,80	1,00	1,12	0,71	0,80	1,00	1,00
Пастбище орошаемое	6	8	0,76	0,90	1,07	0,76	0,90	1,06	0,76	0,90	1,06	0,76	0,90	1,06	0,76	0,90	1,06	1,00
Травы однолетние	10	2400	0,57	0,63	0,78	0,98	1,11	0,68	0,78	0,98	1,08	1,10	0,66	0,78	0,98	0	0	0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Капуста поздняя	12	1800	0,70	0,77	0,88	0,97	1,05	1,11	1,10	1,05	0,96	0,87	0,80	0,76	0	0	0	0
Овощи (томаты, огурцы)	12	2000	0,72	0,75	0,86	0,97	1,06	1,10	1,10	1,03	0,90	0,80	0,72	0	0	0	0	0
Овощи (лук, морковь)	10	1900	0,70	0,73	0,84	0,94	1,04	1,08	1,08	1,08	1,00	0,88	0,76	0,70	0	0	0	0
<i>Зона умеренных широт (Ку = 0,41-0,50)</i>																		
Колосовые озимые	6	1400	0,76	0,82	0,94	1,07	1,12	1	0,65	0,6	0,6	0,6	0	0	0	0	0	0
Колосовые яровые	8	1450	0,68	0,72	0,83	1,01	1,11	1,03	0,68	0,63	0,6	0,6	0	0	0	0	0	0
Картофель поздний	10	1850	0,61	0,65	0,72	0,84	1,01	1,1	1,12	1,02	0,82	0,6	0,6	0	0	0	0	0
Картофель ранний	8	1400	0,61	0,65	0,75	0,96	1,08	1,1	0,98	0,62	0,6	0	0	0	0	0	0	0
Кукуруза на зерно	10	2200	0,6	0,64	0,7	0,82	0,92	1,02	1,08	1,09	1,02	0,87	0,68	0,65	0,6	0	0	0
Кукуруза на силос	10	1950	0,6	0,64	0,7	0,82	0,92	1,02	1,08	1,09	1,02	0,87	0,85	0,85	0	0	0	0
Кукуруза пожнив.	6	1300	0,52	0,55	0,62	0,73	0,86	0,97	1,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сахарная свекла	10	2600	0,62	0,66	0,72	0,78	0,85	0,94	1,02	1,09	1,14	1,14	1,09	1,02	0,91	0,8	0,66	0
Кормовая свекла	8	2000	0,6	0,65	0,73	0,86	1,01	1,09	1,1	1,01	0,85	0,66	0,65	0,6	0,6	0	0	0
Столовая свекла	10	1800	0,76	0,79	0,88	0,98	1,06	1,1	1,1	1,04	0,97	0,89	0,82	0	0	0	0	0
Люцерна подпокрывная	8	1350	0,53	0,58	0,7	0,91	1,08	0,76	0,82	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Люцерна прошлых лет	6	8	0,79	0,85	1,02	1,12	0,77	0,84	1,01	1,11	0,77	0,84	1,01	1,1	0,77	0,84	0	0
Пастбище орошаемое	6	8	0,8	0,91	1,07	0,79	0,91	1,06	0,79	0,91	1,06	0,79	0,91	1,06	0,79	0,91	1,06	0
Однолетние травы	9	8	0,64	0,7	0,83	1	1,1	0,74	0,86	0,98	1,08	1,1	0,74	0,86	0,98	1,08	1,1	0,75

Многолетние травосмеси	9	8	0,81	0,93	1	1,07	0,7	0,8	0,99	1,07	0,7	0,8	0,99	1,07	0,7	0,8	0,99	0,81
Капуста поздняя	12	2100	0,72	0,78	0,87	0,98	1,06	1,1	1,11	1,08	1,03	0,95	0,86	0,8	0,8	0,8	0	0
Овощи (томаты, огурцы)	12	1900	0,78	0,81	0,98	0,98	1,08	1,1	1,09	1,04	0,95	0,82	0,62	0,6	0,6	0,6	0,6	0
Овощи (лук, морковь)	10	1800	0,76	0,79	0,88	0,98	1,06	1,1	1,04	0,97	0,89	0,82	0,8	0,8	0,8	0,8	0	0

Таблица 2.6

**Зависимость глубины корнеобитаемого слоя  $h_k$  (м) сельскохозяйственных культур от суммы среднесуточных температур воздуха  $\Sigma t^{\circ}$**

Культура	Сумма температур воздуха от начала вегетации, $\Sigma t^{\circ}$															
	0-200	200-400	400-600	600-800	800-1000	1000-1200	1200-1400	1400-1600	1600-1800	1800-2000	2000-2200	2200-2400	2400-2600	2600-2800	2800-3000	3000-3200
Колосовые озимые	0,55	0,60	0,75	0,85	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Колосовые яровые	0,40	0,45	0,60	0,75	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Кукуруза на силос	0,40	0,45	0,60	0,75	0,85	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Люцерна прошлых лет	0,65	0,70	0,85	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Капуста поздняя	0,30	0,35	0,40	0,50	0,55	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60

При расчетах суммарного водопотребления в конкретные годы, отличающиеся по погодно-климатическим условиям от среднего многолетнего, используется текущий биологический коэффициент  $K_{oi}$ , который определяется по зависимости

$$K_{oi} = K_{oo} \left( 0,21 \frac{E_o}{E_i} + 0,79 \right), \quad (17)$$

где  $K_{oo}$  – средний многолетний биологический коэффициент для расчетного периода (декады);

$E_o$  – средняя многолетняя испаряемость за расчетную декаду, мм;

$E_i$  – фактическая испаряемость за тот же период в реальном году, мм.

В принятой расчетной модели изменение биологических коэффициентов на протяжении вегетационного периода приурочено к накопительной (суммарной) кривой температуры воздуха, т.е. к кривой  $\sum t^\circ \text{C}$  через каждые 100 или 200 $^\circ\text{C}$ . Такая градация  $K_o$  достаточна для учета роли растений в расходовании воды сельскохозяйственным полем.

Расчёт биоклиматических коэффициентов проводится на основании учёта экспериментальных данных по величине эвапотранспирации ( $ET$ , мм) для каждой фазы роста и развития растения, фактической суммы накопленной температуры воздуха ( $\sum t$ ,  $^\circ\text{C}$ ) и суммы дефицитов влажности воздуха ( $\sum d_\phi$ , мбар) за рассматриваемый временной период:

$$K_t = \frac{ET}{\sum t} \quad , \quad (18)$$

$$K_d = \frac{ET}{\sum d_\phi} \quad , \quad (19)$$

где  $K_t, K_d$  – биоклиматические коэффициенты;

$ET$  – эвапотранспирация, мм;

$\Sigma t$  – сумма активных температур воздуха, °С;

$\Sigma d_{\phi}$  – сумма дефицитов влажности воздуха, мбар.

Сумма активных температур воздуха определялась по фактическим данным метеостанций, а дефицит влажности воздуха – по зависимости

$$d_{\phi} = l_A(1 - 0,01 \cdot r), \quad (20)$$

где  $d_{\phi}$  – дефицит влажности воздуха, мбар;

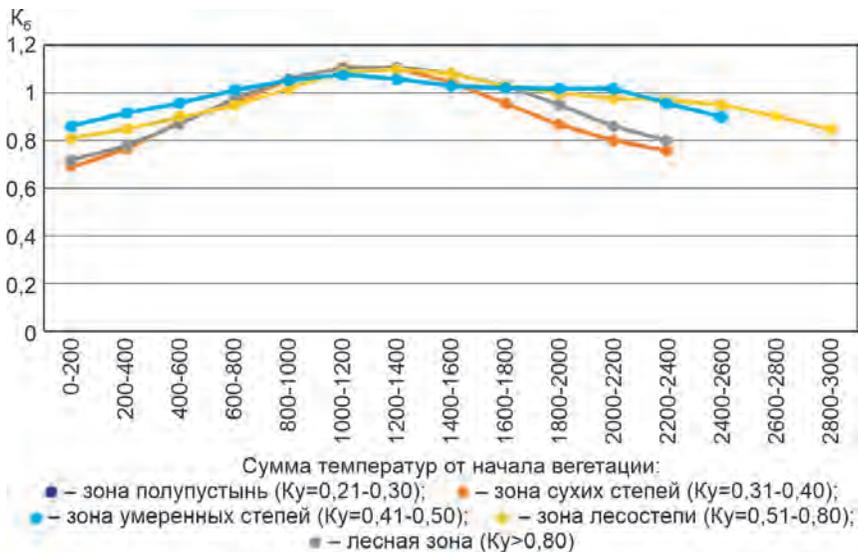
$l_A$  – максимальная упругость водяного пара, соответствующая температуре воздуха, определяемая по психометрическим таблицам метеостанции, мбар;

$r$  – относительная влажность воздуха, %.

Биоклиматические коэффициенты изменчивы не только в пространстве, но и во времени. Значения биоклиматических коэффициентов, соответствующих дефициту влажности воздуха, существенно возрастают при переходе от южных районов к северным. Под влиянием орошения происходит изменение микроклимата, что уменьшает дефицит влажности воздуха, поэтому некоторые авторы рекомендуют вводить редуцирующий коэффициент (0,8-0,9), учитывающий изменение фитоклимата приземных слоев воздуха.

Работы следующих авторов [58-60], подтверждают, что изменчивость биологических коэффициентов зависит от особенностей процесса испарения в различных климатических зонах, резких изменений погоды в одной и той же зоне, а также плодородия почвы, уровня агротехники и техники полива.

Так, для условий различных климатических зон динамика изменения значения  $K_{\phi}$  биологического коэффициента для капусты поздней показывает, что для засушливой зоны ( $K_y = 0,2-0,3$ ) среднее значение 0,92 увеличивалось с изменением ( $K_y = 0,4-0,8$ ) до 0,95, минимальные значения изменялись от 0,70 до 0,86, максимальные – уменьшались от 1,11 до 1,08 в зависимости от коэффициента увлажнения. Трендовые модели  $K_{\phi}$  параболические, тренд среднего значения неубывающий, тренд размаха – невозрастающий (рис. 2.3).



*Рис. 2.3. Динамика изменчивости моделей биоклиматических коэффициентов для капусты поздней в различных климатических зонах*

Биоклиматический коэффициент для данного вида и сорта сельскохозяйственной культуры может изменяться от одной фазы или декады к другой в значительных пределах – до 30-40% от среднего его значения [61-62].

Графические иллюстрации (рис. 2.4, 2.5) показывают, что для овощных и технических культур биологические коэффициенты  $K_6$  достаточно различны как в одной зоне в зависимости от вегетационного периода определенной культуры, так и в разных климатических условиях полупустынной и зоны умеренных степей.

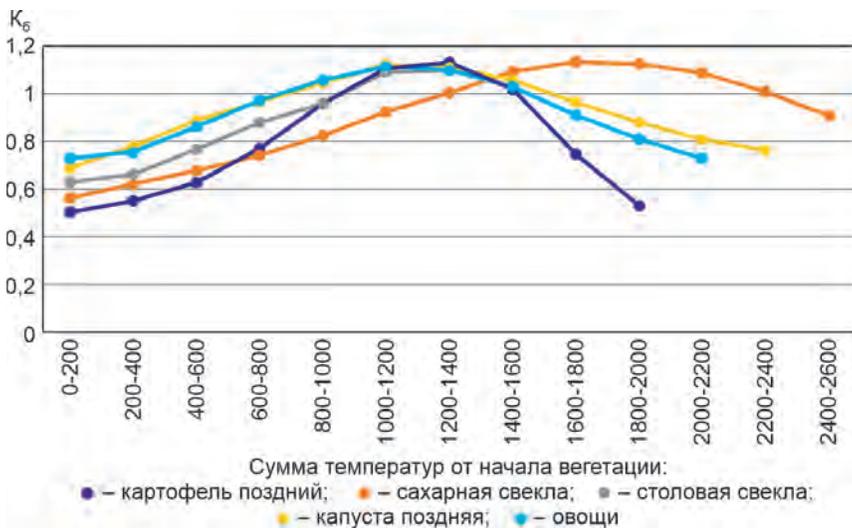


Рис. 2.4. Динамика изменения среднееголетних коэффициентов  $K_6$  для овощных и технических культур для полупустынной зоны

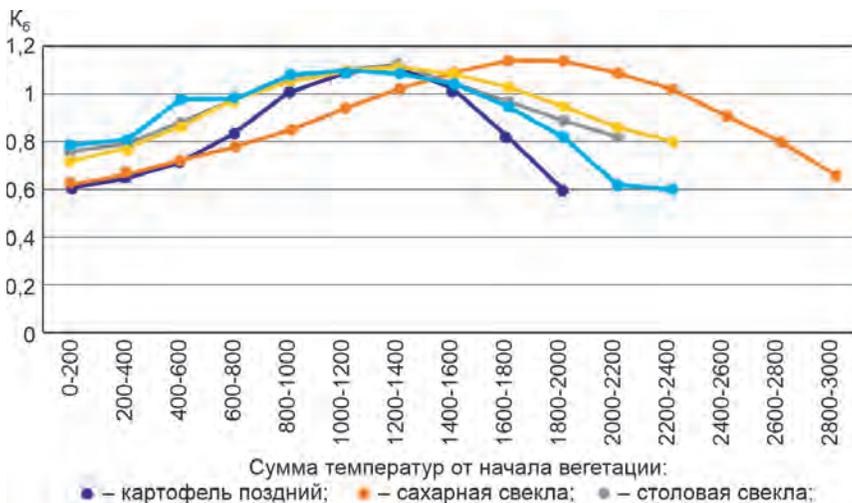


Рис. 2.5. Динамика изменения среднееголетних коэффициентов  $K_6$  для овощных и технических культур для зоны умеренных степей

В полупустынной зоне для картофеля позднего  $K_6$  изменялся от минимального значения 0,5-0,52 до максимального 1,1 в периоде суммы температур то 0-200 до 1800-2000°C, для сахарной свеклы – от минимального значения 0,62 до максимального 1,13 за период суммы температур от 0-200 до 2400-2600°C.

Биологические коэффициенты для зоны умеренных степей также изменчивы в течение вегетационного периода. При нормировании орошения они используются в зависимости от суммы температур в той или иной декаде. Так, для сахарной свеклы минимальный  $K_6$  при 0-200°C – 0,62, максимальный – 1,14, а при 2800-3000°C составляет 0,66.

Установлены значительные изменения биоклиматических коэффициентов в разные по влагообеспеченности годы. В засушливые дефицит влажности воздуха возрастает интенсивнее, чем суммарное испарение, поэтому вводят поправочные коэффициенты [62-62] (см. табл. 2.5, 2.6, 2.7).

Таблица 2.7

**Зависимость коэффициента  $g_z$  от глубины залегания грунтовых вод, типа почв и состояния агрофона**

Почвы по механическому составу	Агрофон	Глубина залегания пресных грунтовых вод, $H_z$ , м					
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1	2	3	4	5	6	7	8
Легкие	Без растительного покрова	0,45	0,15	0	0	0	0
	С глубиной корневой системы, $h_k$ :						
	≤0,6	0,85	0,40	0,15	0	0	0
	≤1,0	1,0	0,55	0,25	0,10	0	0
	>1,0	1,0	0,9	0,55	0,30	0,15	0,05
Средние	Без растительного покрова	0,50	0,20	0,05	0	0	0
	С глубиной корневой системы $h_k$ :						
	≤0,6	0,80	0,38	0,18	0	0	0
	≤1,0	1,0	0,52	0,28	0,12	0	0
	>1,0	1,0	0,98	0,60	0,35	0,20	0,05

1	2	3	4	5	6	7	8
Тяжелые	Без растительного покрова	0,55	0,25	0,05	0	0	0
	С глубиной корневой системы $h_k$ :						
	$\leq 0,6$	0,75	0,35	0,20	0,05	0	0
	$\leq 1,0$	0,95	0,50	0,30	0,15	0,05	0
	$> 1,0$	1,0	0,95	0,65	0,40	0,25	0,1

Для исключения влияния организационно-хозяйственных условий все показатели привязаны к температуре воздуха, обуславливающей сроки и продолжительность вегетации, темпы роста и развития растений. За начало периода водопотребления принято время посева или возобновления вегетации, за конец – следующие фазы: для яровой пшеницы – восковая спелость  $1450^{\circ}\text{C}$ , для кукурузы на силос – сумма температур  $1950^{\circ}\text{C}$ , для люцерны прошлых лет – окончание вегетации, для картофеля позднего – увядание ботвы, для капусты поздней – съемная спелость.

Для районирования суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур по территории и его картирования используются пространственно-временные связи с компонентами природной среды, а также линейное интерполирование значений с последующей корректировкой положения изолиний  $E_v$  с физико-географическими особенностями территории.

При отсутствии экспериментальных данных о капиллярном использовании грунтовых вод на объекте орошения можно пользоваться данными табл. 2.6, полученной на основе обобщения и анализа отечественного и зарубежного опыта.

### **2.2.2. Методика определения оросительных норм**

Методика ВНИИ «Радуга» основана на водно-, теплбалансовом принципе с применением биоклиматической модели для расчета основной расходной статьи баланса – суммарного водопотребления (суммарного испарения).

При глубоком залегании грунтовых вод (ниже 3 м) оросительная норма определяется по упрощенному уравнению водного баланса как дефицит суммарного водопотребления культуры, численно равный разнице между оптимальным водопотреблением растений при бесперебойном их водообеспечении и фактическим водопотреблением в конкретных природных условиях.

Согласно сказанному оросительная норма нетто равна сумме за вегетацию подекадных дефицитов водопотребления:

$$M_{\text{нт}} = \Delta E_v = \sum_{i=1}^n \Delta \ell_{vi}, \quad (21)$$

где  $M_{\text{нт}}$  – оросительная норма нетто, мм;

$\Delta E_v$  – суммарный дефицит водопотребления культуры за вегетацию, мм;

$\sum \Delta \ell_{vi}$  – сумма декадных дефицитов водопотребления за вегационный период, мм.

Декадный дефицит водопотребления  $\sum \Delta \ell_{vi}$  определяется по уравнению водного баланса следующего вида:

$$\sum \Delta \ell_{vi} = E_{vi} - (P + W_a + G), \quad (22)$$

где  $E_{vi}$  – оптимальное суммарное водопотребление за декаду, мм;

$P$  – сумма атмосферных осадков за декаду, мм;

$W_a$  – активные запасы влаги в расчетном слое почвы на начало декады, мм;

$G$  – капиллярное подпитывание из грунтовых вод при близком их залегании, мм.

Активные влагозапасы определяются по формуле 6 с добавлением расчетного слоя  $h_k$  на начало декады:

$$W_a = W_{нв} (\mu - \beta_o) h_k, \quad (23)$$

где  $h_k$  – расчетный слой почвы на начало декады, изменяющийся на протяжении вегетации соответственно росту корневой системы растений.

Использование грунтовых вод при близком их залегании  $G$  определяется по зависимости

$$G = E_v g_2, \quad (24)$$

где  $E_v$  – суммарное водопотребление за декаду, мм;

$g_2$  – коэффициент капиллярного подпитывания в долях от  $E_v$ , зависящий от глубины залегания грунтовых вод, механического состава почв, толщи аэрации и глубины распространения корневой системы растений.

В каждом конкретном случае при близком залегании грунтовых вод дефициты водопотребления орошаемых культур необходимо корректировать, используя опытные или расчетные данные.

При отсутствии экспериментальных данных о динамике грунтовых вод на объекте орошения рекомендуется использовать данные табл. 2.8, полученные на основе обобщения и анализа отечественного и зарубежного опыта.

Таблица 2.8

**Зависимость коэффициента  $g_2$   
от глубины залегания грунтовых вод, почв и агрофона**

Глубина залегания грунтовых вод $H_g$ , м	Легкие по механическому составу почвы				Тяжелые по механическому составу почвы			
	агрофон							
	без растительного покрова	глубина корневой системы, $h_k$ , м			без растительного покрова	глубина корневой системы, $h_k$ , м		
		до 0,6	до 1	более 1		до 0,6	до 1	более 1
0,5	0,45	0,85	1,0	1,0	0,55	0,75	0,95	1,0
1,0	0,15	0,40	0,55	0,90	0,25	0,35	0,50	0,95
1,5	-	0,15	0,25	0,55	0,05	0,20	0,30	0,65
2,0	-	-	0,10	0,30	-	0,05	0,15	0,40
2,5	-	-	-	0,15	-	-	0,05	0,25
3,0	-	-	-	0,05	-	-	-	0,1

В каждом конкретном случае при близком залегании грунтовых вод дефициты водопотребления орошаемых культур необходимо корректировать, используя опытные или расчетные данные.

Учитывая современные требования к проектированию, эксплуатации и реконструкции оросительных систем, методика расчета суммарного водопотребления, оросительных норм, ординат гидромодуля и других параметров, определяющих экономические и экологические аспекты орошения, должна базироваться на использовании исходных данных неограниченной длительности с целью охвата всех возможных колебаний расчетных параметров.

Моделирование рядов исходных данных наилучшим образом осуществляется методом статистических испытаний, позволяющим прогнозировать экстремальные значения исследуемого параметра, а также восполнять отсутствующие существенные значения их в эмпирическом ряду за имеющийся период наблюдений. При прогнозировании экстремальных значений в эмпирических рядах (например, оросительных норм) рекомендуется использовать закон Херста, по которому устанавливается связь между размахом распределения природного (эмпирического) ряда и его продолжительностью.

В свою очередь, достаточная продолжительность ряда оросительных норм (или любого другого параметра), которая обеспечивает требуемую точность построения теоретической модели распределения и возможность прогнозирования признака, может быть установлена на основе критерия согласия Колмогорова. Последний связывает величину доверительного интервала, т.е. интервала допустимых отклонений в теоретической модели, с количеством данных, использованных при вычислении эмпирических вероятностей по природному ряду. Исправление эмпирического распределения вероятностей оросительных норм до уровня прогнозируемого размаха проводится путем скользящего сглаживания эмпирического распределения посредством сглаживающего оператора при условии распределения весовых коэффициентов по нормальному закону. Количество членов сглаживающего оператора определяется как разность между количеством интервалов группировки данных в эмпирическом и прогнозируемом (вероятностном) распределении.

Установление теоретического распределения вероятностей оросительных норм и других исследуемых параметров орошения производится по модели Джонсона.

Построенная по Джонсону теоретическая модель хорошо согласуется с эмпирическим распределением испаряемости, суммарного водопотребления, оросительных норм (дефицитов водопотребления) и других параметров орошения для условий различных регионов России.

По каждой метеостанции рассчитываются декадные дефициты водопотребления (оросительные нормы) за каждый год периода наблюдений. Многолетний ряд оросительных норм (суммарных за сезон дефицитов водопотребления) статистически обрабатывается, в результате чего устанавливаются статистические оценки эмпирического ряда ( $e_{x_0}$ ,  $C_v$ ,  $e_{C_v}$ ), а по Джонсону строятся кривые вероятностей (обеспеченности) и выделяются нормы по годам увлажнения.

Оросительные нормы, рассчитанные по метеостанциям, группируются и распределяются по природно-климатическим зонам на территории. Исходные данные и алгоритм расчета оросительных норм сельскохозяйственных культур представлены на рис. 2.6, 2.7.



Рис. 2.6. Исходные данные для расчета режима орошения сельскохозяйственных культур

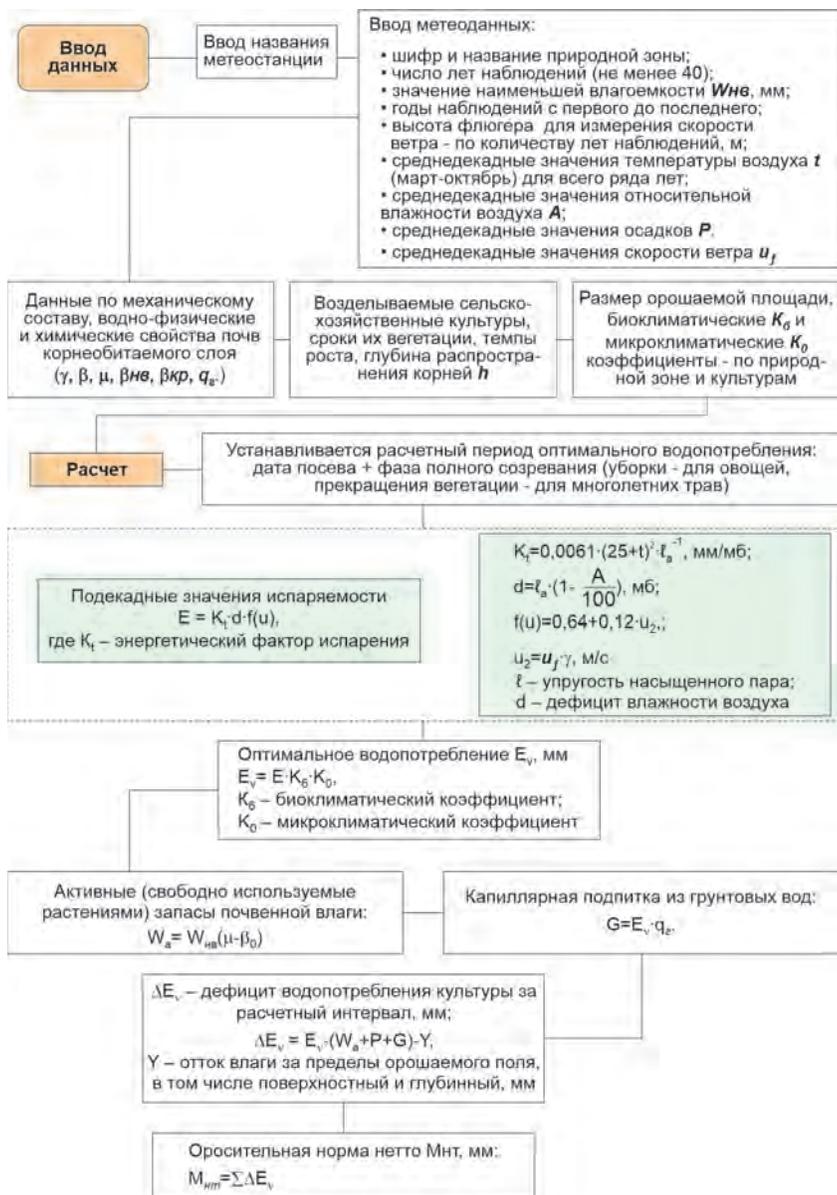


Рис. 2.7. Алгоритм расчета оросительной нормы по методике ВНИИ «Радуга»

### **2.3. Нормирование орошения агробиоценозов в условиях различной тепло-, влагообеспеченности и дефицита водопотребления за вегетационный период**

По программе «Расчёт эвапотранспирации, дефицита водопотребления и норм орошения сельскохозяйственных культур» проведен расчет оросительной нормы сельскохозяйственных культур, выращиваемых в Астраханской области в разные по тепло-, влагообеспеченности годы.

Алгоритм расчета описан далее.

Задаются культура, расчетный период водопотребления.

Оптимальные сроки вегетации культур принимаются по данным опытных станций, зональных научно-исследовательских институтов и сведений передовых хозяйств. За начало расчетного периода берется дата посева (посадки) или возобновления вегетации. Окончание периода приурочивается к фазе промежуточного или полного созревания культуры (для зерновых – фаза восковой спелости), сроку уборки (морковь, капуста и другие овощи) и дате прекращения вегетации (многолетние травы, пастбища).

Подекадно за этот период определяются показатели увлажнения и теплообеспеченности, данные по атмосферным осадкам и почвенным влагозапасам.

Затем определяется интегральный коэффициент природной тепло-, влагообеспеченности  $K_y$  по всем репрезентативным метеостанциям.

Подекадно за каждый год с использованием биоклиматических и микроклиматических коэффициентов устанавливается суммарное водопотребление культуры.

Определяются активные запасы влаги в почве по декадам вегетационного периода с учетом глубины корнеобразования.

При близком залегании грунтовых вод определяется их капиллярное использование.

По уравнению водного баланса устанавливаются оросительные нормы нетто по суммам за вегетацию подекадных дефицитов водопотребления культуры.

Результаты расчетов статистически обрабатываются, в результате чего определяются показатели в годы различного увлажнения.

Данные для расчета норм орошения сельскохозяйственных культур для условий Астраханской области с использованием алгоритма, методики ВНИИ «Радуга», компьютерной программы и базы данных [71, 73] приведены в табл. 2.9 и на рис. 2.6.

Таблица 2.9

**Климатические условия Астраханской области  
за период с 1980 по 2021 г.**

Год	Сумма температур за вегетационный период, °С	Сумма осадков за период вегетации, мм	Средняя влажность воздуха за вегетационный период, %	Средняя скорость ветра за вегетационный период, м/с
1	2	3	4	5
1980	3592,1	125,5	63,8	5,8
1981	3913,9	237,2	63,6	5,7
1982	3760,8	165,3	62,3	5,1
1983	4016,6	99,0	61,3	4,6
1984	4058,5	135,7	57,7	4,6
1985	3514,4	147,4	62,3	4,5
1986	3948,3	48,8	54,7	4,4
1987	3376,5	291,0	66,7	4,3
1988	3951,8	216,2	60,0	4,3
1989	4044,7	172,5	60,1	4,3
1990	3905,5	225,0	62,6	4,2
1991	4127,7	123,6	59,1	3,9
1992	3662,8	214,6	63,8	4,0
1993	3422,6	167,0	65,4	4,4
1994	3458,5	116,1	58,4	4,2
1995	4263,2	151,5	57,1	4,3
1996	3683,6	208,8	54,4	4,9
1997	3912,4	198,7	64,1	2,6
1998	4072,7	187,5	57,6	2,9
1999	4129,5	128,4	54,5	2,8
2000	3964,4	254,3	61,1	2,8
2001	4059,0	225,9	58,9	2,9
2002	4071,0	130,1	58,5	2,8
2003	3787,9	214,8	60,6	2,9
2004	4062,5	151,8	61,6	2,9
2005	4093,0	340,3	60,3	2,8

Продолжение табл. 2.9

1	2	3	4	5
2006	4241,9	169,6	58,4	2,3
2007	4269,5	154,3	56,3	2,3
2008	4200,8	148,1	59,3	2,7
2009	4036,8	243,4	57,8	2,8
2010	4396,8	196,0	54,5	2,9
2011	4072,4	180,2	60,3	2,9
2012	4396,9	141,5	58,7	2,8
2013	4124,7	167,6	59,3	2,7
2014	4395,1	150,0	50,8	4,7
2015	4378,7	75,4	51,0	4,3
2016	4345,2	31,2	60,3	4,0
2017	4365,7	137,8	56,3	4,5
2018	4397,6	133,5	52,1	4,6
2019	4440,6	136,3	53,5	4,1
2020	4547,2	73,6	48,0	4,7
2021	4209,0	219,6	54,0	2,1
Среднее значение	<b>4039,83</b>	<b>167,50</b>	<b>58,71</b>	<b>3,75</b>
Дисперсия	<b>87511,44</b>	<b>3755,93</b>	<b>17,15</b>	<b>0,96</b>
Среднее квадратичное отклонение (СКО)	<b>295,82</b>	<b>61,29</b>	<b>4,14</b>	<b>0,98</b>
Коэффициент вариации (Cv), %	<b>7,32</b>	<b>1,52</b>	<b>2,47</b>	<b>1,67</b>

Расчетный показатель тепло-, влагообеспеченности  $K_c$ , определенный по данным метеостанций Зеленга, Харабали, Чёрный Яр, показывает степень природного увлажнения (отношение влагозапасов и осадков к испаряемости) – представлен на рис. 2.8. Характерно, что коэффициент увлажнения по трем различным метеостанциям близок с небольшим отклонением во влажные годы с обеспеченностью 25% и в засушливые – 95%.



Рис. 2.8. Динамика изменения коэффициента увлажнения для Астраханской области

Результаты расчетов испаряемости дают представление об изменчивости испаряемости по годам различной увлажненности – от влажного до острозасушливого по территории, приуроченной к физико-географическим зонам (рис. 2.9).

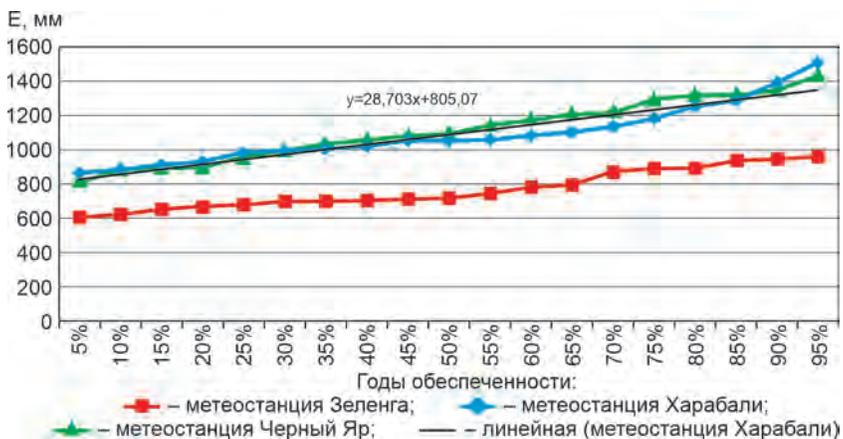


Рис. 2.9. Динамика изменчивости испаряемости, характерной для Астраханской области за многолетний ряд наблюдений (1980-2021 гг.)

Отмечаются наибольшая испаряемость, установленная по метеостанциям Хабарали и Черный Яр (830-1580 мм), и наименьшая (600-963 мм) по метеостанции Зеленга во все годы обеспеченности – от влажного до засушливого (25-95%), что объясняется уменьшением количества осадков в дельте реки (рис. 2.10).

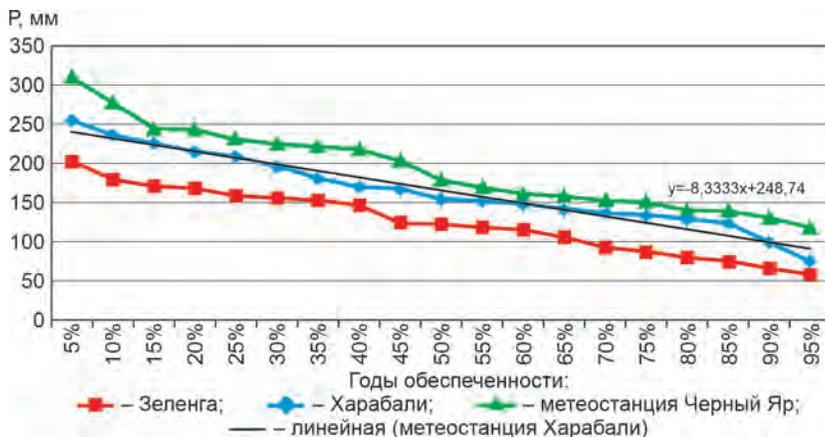


Рис. 2.10. Изменчивость количества осадков за вегетационный период в различные по влагообеспеченности годы для Астраханской области

Оросительная норма определяется как дефицит суммарного водопотребления, численно равный разнице между оптимальным водопотреблением растений при бесперебойном их водоснабжении и водопотреблением в условиях природного водообеспечения в конкретных почвенно-климатических условиях (табл. 2.10).

Оросительная норма – количество оросительной воды, полученное растениями за весь вегетационный период.

Таблица 2.10

**Расчетные данные коэффициента тепло-, влагообеспеченности, испаряемости, суммарного испарения и дефицита водопотребления для лет различной обеспеченности по метеостанции Харабали Астраханской области (1980-2021 гг.)**

Обеспеченность года, %	Коэффициент тепло-, влагообеспеченности	Испаряемость, мм	Суммарное водопотребление, мм	Дефицит водопотребления, мм	Осадки, мм
5	0,36	887	383	218	254
10	0,32	914	390	229	237
15	0,31	941	398	247	225
20	0,30	953	404	258	216
25	0,27	1009	411	258	215
30	0,26	1020	414	267	199
35	0,24	1034	421	269	188
40	0,24	1044	423	285	173
45	0,22	1077	433	299	168
50	0,21	1086	435	305	154
55	0,21	1102	437	309	152
60	0,19	1123	443	324	148
65	0,18	1135	458	337	142
70	0,18	1164	472	343	136
75	0,17	1213	482	354	134
80	0,16	1285	485	367	128
85	0,14	1321	497	376	124
90	0,13	1433	507	387	99
95	0,09	1548	539	416	74

Изменчивость оросительных норм по территории и во времени вызывает необходимость дифференцированного подхода к выбору года расчетной обеспеченности орошения и разработки поливных режимов в соответствии с конкретной зоной и годом увлажнения. При этом большая роль отводится положению и динамике грунтовых вод, их участию в водном балансе почвы и корнеобитаемой зоны. Экологически безопасные оросительные нормы по метеостанциям Харабали представлены в табл. 2.11-2.13.

Таблица 2.11

**Вероятностные значения оросительных норм (мм)  
при расчете по среднеголетним данным метеостанции Харабали  
( $K_y = 0,22$ )**

Культура	Вероятностные (обеспеченные) значения оросительной нормы нетто при обеспеченности P%, мм			
	25%	50%	75%	95%
Озимые	140	180	220	260
Яровые	160	210	280	300
Картофель поздний	220	270	340	380
Картофель ранний	140	180	230	270
Кукуруза на зерно	270	350	420	480
Кукуруза на силос	248	310	390	430
Кормовая свекла	200	230	325	340
Столовая свекла	210	250	350	390
Люцерна прошлых лет	350	420	470	530
Однолетние травы	270	320	380	430
Капуста поздняя	280	370	400	450
Капуста ранняя	200	270	320	390
Овощи (томаты)	295	350	410	474
Овощи (морковь)	250	310	370	410

Таблица 2.12

**Средние поправочные коэффициенты на величину оросительной нормы в зависимости от глубины залегания грунтовых вод и вида сельскохозяйственных культур**

Сельскохозяйственные культуры	Глубина залегания грунтовых вод, м				
	3	2,5	2	1,5	1
Глубокоукореняющиеся (люцерна, сахарная свекла, подсолнечник, кукуруза и др.)	1	0,89	0,77	0,66	0,24
Среднеукореняющиеся (горох, картофель, томаты и др.)	1	0,93	0,86	0,73	0,43
Мелкоукореняющиеся (огурцы, лук и др.)	1	0,98	0,95	0,87	0,62

Таблица 2.13

**Оросительные нормы (нетто) сельскохозяйственных культур  
для Астраханской области при обеспеченности 75% при дождевании**

Культура	Пойма при уровне залегания грунтовых вод			
	1,0-1,5 м	1,5-2,0 м	2,0-2,5 м	> 3,0 м
Озимые	1450	1700	2000	2200
Яровые	1848	2156	2492	2800
Картофель поздний	2482	2924	3162	3400
Картофель ранний	1679	1978	2139	2300
Кукуруза на зерно	3200	3680	4400	4200
Кукуруза на силос	2574	3000	3471	3900
Кормовая свекла	2145	2502	2892	3250
Столовая свекла	2310	2695	3115	3500
Люцерна прошлых лет	3100	3619	4183	4700
Однолетние травы	2508	2936	3380	3800
Капуста поздняя	2640	3080	3560	4000
Капуста ранняя	2112	2464	2848	3200
Овощи (томаты, перец, баклажаны)	3000	3526	3810	4100
Овощи (морковь)	3219	3515	3626	3700

Пользуясь полученным процентным внутрисезонным распределением, можно рассчитать режим для года любой обеспеченности данной культуры.

Оросительные нормы проектируются под 75%-ную обеспеченность года (см. табл. 2.13).

Режим орошения сельскохозяйственных культур при условии близкого залегания грунтовых вод имеет определенные особенности.

Так, на значительных площадях сельскохозяйственных угодий оросительных систем глубина залегания грунтовых вод составляет менее 3 м. В таких условиях величина оросительной и поливной норм изменяется в зависимости от глубины грунтовых вод, их минерализации, вида сельскохозяйственной культуры, водно-физических свойств почвы и др. Использование грунтовых вод сельскохозяйственными растениями зависит от многих факторов. Движение влаги происходит как в насыщенной, так и ненасыщенной почве.

В мелиоративной практике величину капиллярного подпитывания влагой зоны аэрации определяют с учетом поправочных коэффициентов (см. табл. 2.12).

Установлено, что в весенний период влажность верхнего метрового слоя почвы находится на высоком уровне (более 85% НВ) не только при близком, но и глубоком залегании грунтовых вод. Проводить в это время поливы, как правило, не требуется. Исключение могут составить только посадочные, предпосевные и другие виды специальных поливов, рассчитываемых на увлажнение поверхностного горизонта почвы глубиной 10-15 см, который в случае засушливой погоды и упущений в агротехнике быстро иссушается, несмотря на высокий уровень грунтовых вод.

В летние месяцы, чем выше уровень грунтовых вод, тем позднее происходит иссушение верхнего метрового слоя почвы до нижнего порога оптимальной влажности, а следовательно, на более поздний срок отодвигается первый вегетационный полив.

Высота капиллярного подъема влаги в летние месяцы значительно меньше предельной вследствие сработки верхней части капиллярной каймы на испарение с поверхности почвы и транспирации растений. В засушливые периоды даже при глубине залегания грунтовых вод 1 м может наблюдаться сильное иссушение пахотного горизонта, что обуславливает целесообразность проведения вегетационных поливов малыми нормами. Глубина иссушенного горизонта возрастает по мере углубления грунтовых вод.

Количество поливов за вегетацию и продолжительность поливного периода при близком залегании грунтовых вод сокращаются. Первый полив сдвигается на более поздние сроки, а последний наступает раньше. Основное количество поливов приходится на середину вегетации.

Ввиду того, что в Астраханской области, по данным 2020 г., из общей площади 210,63 тыс. га поливается лишь 39% орошаемых земель, 8% приходится на сильно засоленные и очень сильно засоленные, а 37% – на средnezасоленные, важно не допустить ухудшения мелиоративного состояния орошаемых земель, находящихся в группе риска [42].

Оценка мелиоративного состояния орошаемых сельхозугодий по уровню залегания грунтовых вод показывает, что земли в неудовлет-

ворительном состоянии составляют 37%. Это состояние орошаемых угодий предполагает дифференцированный подход к выбору мелиоративных мероприятий по обеспечению рационального использования земель в регионе [41].

Наличие солонцов в почвенном покрове вызывает необходимость применения химических мелиораций, сочетающихся с элементами агротехнических мероприятий (глубокие мелиоративные обработки почв), агротехнических мелиораций, включающих в себя освоение специализированных севооборотов с высокопродуктивными видами и сортами сельскохозяйственных культур, а также систему агрохимических мелиораций с увеличенными дозами внесения органических удобрений для воспроизводства почвенного плодородия [42].

Таким образом, развитие аграрного потенциала в условиях современного состояния мелиоративного комплекса Астраханской области должно заключаться в комплексном подходе к решению вопросов, связанных с водообеспеченностью, проведением агро-мелиоративных мероприятий на внутрихозяйственной сети оросительных систем, позволяющих рационально использовать водные ресурсы.

Поэтому расчетные значения оросительных норм корректируются с учетом технологических потерь при транспортировке воды к полю. По экспертным оценкам, эти потери при дождевании в условиях аридной зоны равны 1,25; производится пересчет оросительных норм (брутто) (табл. 2.14).

Таблица 2.14

**Вероятностные (обеспеченные) значения оросительной нормы по Астраханской области ( $K_y = 0,25-0,20$ )**

Культура	Оросительные нормы (нетто) при обеспеченности Р%, мм				Коэффициент потерь воды на поле	Оросительные нормы (брутто-поле), мм			
	25%	50%	75%	95%		25%	50%	75%	95%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Метеостанция Харабали ( <math>K_y = 0,22</math> )</i>									
Озимые	140	180	220	260	1,25	175,0	225,0	275,0	325,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Яровые	160	210	280	300	1,25	200,0	262,5	350,0	375,0

Продолжение табл. 2.14

Картофель поздний	220	270	340	380	1,25	275,0	337,5	425,0	475,0
Картофель ранний	140	180	230	270	1,25	175,0	225,0	287,5	337,5
Кукуруза на зерно	270	350	420	480	1,25	337,5	437,5	525,0	600,0
Кукуруза на силос	248	310	390	430	1,25	310,0	387,5	487,5	537,5
Кормовая свекла	200	230	325	340	1,25	250,0	287,5	406,2	425,0
Столовая свекла	210	250	350	390	1,25	262,5	312,5	437,5	487,5
Люцерна прошлых лет	350	420	470	530	1,25	437,5	525,0	587,5	662,5
Однолетние травы	270	320	380	430	1,25	337,5	400,0	475,0	537,5
Капуста поздняя	280	370	400	450	1,25	350,0	462,5	500,0	562,5
Капуста ранняя	200	270	320	390	1,25	250,0	337,5	400,0	487,5
Овощи (томаты)	295	350	410	474	1,25	368,7	437,5	512,5	592,5
Овощи (морковь)	250	310	370	410	1,25	312,5	387,5	462,5	512,5

Рекомендованные оросительные нормы для поверхностного и капельного орошения 75% обеспеченности получены вследствие зависимостей между расчетными оросительными нормами (брутто) при дождевании и вышеперечисленными способами орошения для условий Астраханской области. По экспертной оценке, поправочный коэффициент для поверхностного орошения принят 1,3, для капельного – 0,6 (табл. 2.15) [43].

Таблица 2.15

**Оросительные нормы (брутто) при дождевании,  
поверхностном и капельном орошении сельскохозяйственных культур  
Астраханской области с 75% обеспеченности**

Культура	Оросительная норма при 75%-ной обеспеченности, м <sup>3</sup> /га		
	дождевание	поверхностное	капельное
Озимые яровые	2750	3600	1650
Яровые	3500	4500	2100
Картофель поздний	4250	5500	2600
Картофель ранний	2900	3750	1700
Кукуруза на зерно	5250	6850	3150
Кукуруза на силос	4900	6400	2900
Кормовая свекла	4100	5300	2450
Столовая свекла	4400	5700	2600
Люцерна прошлых лет	5900	7650	3500
Однолетние травы	4750	6200	2850
Капуста поздняя	5000	6500	3000
Капуста ранняя	4000	5200	2400
Овощи (томаты, перец, баклажаны)	5200	6700	3100
Овощи (морковь)	4650	6000	2800
Овощи (лук)	4000	5200	2400

Проведенные исследования позволили выявить реакцию различных сельскохозяйственных культур на недостаток (дефицит) природного увлажнения при различных климатических условиях, провести оценку биоклиматического потенциала сельскохозяйственных культур, определить нормы орошения для ряда сельскохозяйственных культур, возделываемых в регионе.

Дифференцированный подход в нормировании орошения с учетом изменчивости климатических условий в период вегетации, особенностей орошаемых массивов и сельскохозяйственных культур позволяет значительно повысить урожайность орошаемых сельскохозяйственных культур (табл. 2.16), продуктивность которых в засушливых и полужаушливых условиях степной зоны находится в прямой зависимости от орошения. Однако проблемой последних лет является нехватка водных ресурсов для орошения возрастающих

площадей. Дальнейшее увеличение площадей мелиорированных земель сдерживается отсутствием водных и материальных ресурсов.

Таблица 2.16

**Урожайность сельскохозяйственных культур  
по Российской Федерации, Южному федеральному округу  
и Астраханской области**

Показатели	Российская Федерация – всего	Южный федеральный округ	Астраханская область
1	2	3	4
Пшеница:			
на богаре	29,3	45,6	
на орошаемых землях	42,8	48,6	31,9
прирост	13,5	3,0	
Многолетние травы посева прошлых лет на зеленый корм, сенаж, травяную муку:			
на богаре	100,4	139,4	
на орошаемых землях	151,5	173,2	110,1
прирост	51,5	33,8	
Кукуруза на зерно:			
на богаре	40,1	42,8	86,5
на орошаемых землях	70,8	66,4	165,1
прирост	30,7	23,6	78,6
Столовая свекла:			
на богаре	186,7	64,4	
на орошаемых землях	295,7	293,0	340,5
прирост	109,0	228,6	
Картофель:			
на богаре	167,6	81,5	
на орошаемых землях	254,5	209,9	290,0
прирост	86,9	128,4	
Овощи:			
на богаре	197,2	69,2	
на орошаемых землях	330,3	304,9	540,0
прирост	133,1	235,7	

Продолжение табл. 2.16

1	2	3	4
Капуста белокочанная:			
на богаре	245,6	81,8	
на орошаемых землях	392,3	329,8	370,0
прирост	146,7	248,0	
Морковь:			
на богаре	191,9	52,8	
на орошаемых землях	316,8	315,9	440,0
прирост	124,9	263,1	
Лук репчатый:			
на богаре	148,4	97,4	
на орошаемых землях	240,8	382,5	570,0
прирост	92,4	285,1	

Итоги вегетационного периода 2018-2021 гг., характеризующегося засушливыми климатическими условиями, подтвердили низкую эффективность, а иногда и невозможность возделывания сельскохозяйственных культур на богарных землях.

### **3. РАСЧЕТ ДИНАМИКИ И ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ С УЧЕТОМ ВНУТРИВЕГЕТАЦИОННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И СРЕДНЕМОГОЛЕТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК В МНОГОЛЕТНЕЙ РЕТРОСПЕКТИВЕ**

#### **3.1. Закономерности циклического характера динамики климатических факторов в многолетнем разрезе**

Одним из основных ландшафтообразующих факторов является климат, показатели которого характеризуются явно выраженной циклическостью в процессе их периодического изменения [44, 45]. Как показывает практика, на основе синхронизации производственных циклов земледелия с биоклиматическими природными циклами достигается устойчивость производства в сельском хозяйстве. Экономическая и экологическая эффективность мелиорации определяется ее адекватностью не только к свойствам и плодородию почв, но и к циклически изменяющимся природно-климатическим ситуациям.

Исследование и оценка тенденций и степени климатических изменений, их влияния на эколого-мелиоративное состояние агроландшафтов имеют немаловажное значение. Проблема обострилась в связи с регистрацией во второй половине XX в. фактов изменения общей климатической ситуации с увеличенной скоростью по сравнению с прежними временами, причина которых рядом ученых объясняется антропогенным воздействием на природную среду [47].

Математический анализ климатических показателей – температуры воздуха и атмосферных осадков, относящихся к лимитирующему фактору орошаемого земледелия, позволил исследовать и выявить тенденции и степень изменения этих показателей по данным наблюдений за 1980-2021 гг. по метеостанции Харабали степной зоны Астраханской области.

За каждый год многолетнего ряда по метеостанции определялись значения среднемесячных температур воздуха и сумм осадков по месяцам за период с апреля по октябрь, в который укладываются

вегетации основных орошаемых культур. С использованием интегрального метода динамического моделирования устанавливалась закономерность динамики каждого климатического показателя, отражающая тенденцию и степень его изменения за расчетный период. Количественные характеристики вычислялись по уравнению [5]

$$Y(t) = Y_0 + q \cdot \tau, \quad (25)$$

где  $Y(t)$  – теоретическое значение исследуемого показателя в конкретный момент времени, определяющее тенденцию его изменения;

$Y_0$  – начальное значение показателя;

$q$  – ускорение в процессе изменения показателя за единицу времени;

$\tau$  – текущее время.

Анализ результатов и графических иллюстраций показывает динамику фактических значений исследуемых показателей среднедекадных сумм температур и суммы осадков, тенденцию их изменения в многолетнем ряду изменения температур воздуха, а также циклы увлажнения, сменяющиеся снижением сумм осадков (рис. 3.1).

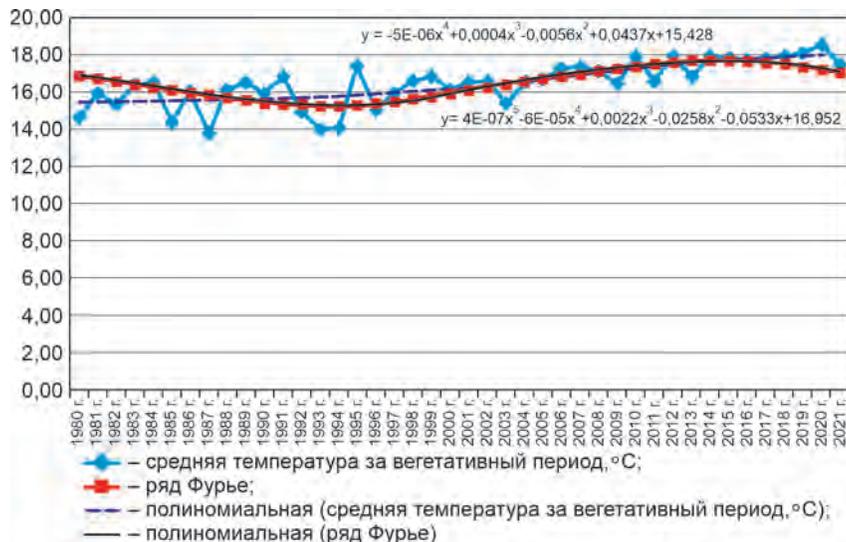


Рис. 3.1. Трендовые модели многолетних значений температуры воздуха за период 1980-2021 гг. по метеостанции Харабали Астраханской области

На рис. 3.1 указаны кубические трендовые модели (уравнения) рядов Фурье для многолетних значений температуры воздуха за период 1980-2021 г.г. Коэффициент корреляции 0,97 показывает хорошее приближение модели к ряду Фурье. Отмечается устойчивое увеличение среднемноголетних значений суммы температур с 1996 г. с максимальными значениями в 2014-2015 гг. и 2020 г.

Анализ метеоданных показывает тенденцию на фоне достаточно-го снижения суммы осадков в многолетнем периоде и возрастающей тенденции влажности воздуха. Отмечаются скачкообразные колебания суммы осадков с чередующимися амплитудами минимальных 31,2 мм (2016 г.) и 48,8 мм (1986 г.) и максимальных значений 291 мм (1987 г.) и 340,3 мм (2005 г.) в условиях Астраханской области (рис. 3.2, 3.3).

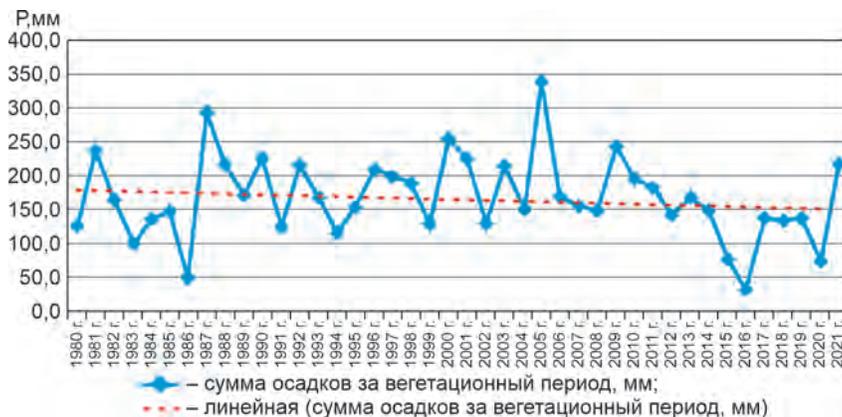


Рис. 3.2. Динамика многолетних значений суммы осадков за вегетационный период 1989-2021 гг. по метеостанции Харабали

Общая тенденция изменения изучаемых показателей отражает только часть глобального цикла климатических ситуаций прежде всего из-за недостаточности динамического ряда.

Дальнейшие исследования, дополняющие этот ряд фактическими данными, позволят сформировать прогноз погодных условий, неблагоприятных для сельского хозяйства, разработать меры по смягчению их отрицательных воздействий.

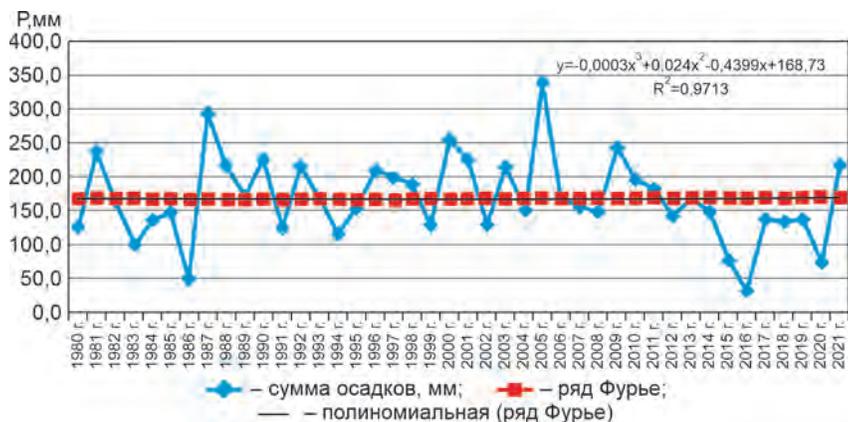


Рис. 3.3. Трендовые модели многолетних значений за период 1980-2021 гг. по метеостанции Харабали Астраханской области

Как отмечено, сельское хозяйство в большей степени, чем другая отрасль экономики, зависит от внешних факторов, прежде всего – природно-климатических условий. Воздействие природных циклов изменчивости климатических показателей обуславливает неравномерность развития сельскохозяйственного производства.

Учитывая выводы ряда научных и практических работ [47-52, 56, 57, 62-63, 68], необходимы управляющие воздействия, максимально нейтрализующие отклонения от норм в циклах динамики природных условий, для чего следует оценить объективные изменения природных факторов и разработать методику их надежного прогнозирования.

### 3.2. Внутрисезонное распределение нормирования орошения с учетом временной изменчивости гидрометеорологических параметров

Отмеченные тенденции изменения климатических показателей подтверждают факт потепления климата за период с температурой воздуха выше 5°C. При анализе среднегодовых температур воздуха и годовых сумм осадков, обработанных на одной и той же методической основе, прослеживается тенденция повышения температуры и сниже-

ния суммы осадков за 60-летний период (1960-2020 гг.) в разных климатических зонах, особенно на юге страны (г. Краснодар, Волгоград, Астрахань, Моздок, Дивное). Следовательно, можно сделать вывод об ускорении потепления климата в последние десятилетия.

На примере наблюдений за климатическими показателями в степной зоне Астраханской области можно оценить изменчивость показателей температуры и осадков в период вегетационного цикла в разные по тепло-, влагообеспеченности годы (рис. 3.4). В степной зоне Астраханской области осредненная по территории среднемесячная температура воздуха в среднем за вегетационный период составила 17,5°C с колебаниями в многолетнем ряду от 13,8 (1987 г.) до 18,6°C (2020 г.), средняя многолетняя сумма осадков – 219,5 мм с колебаниями от 31,2 (2016 г.) до 343 мм в (2015 г.).

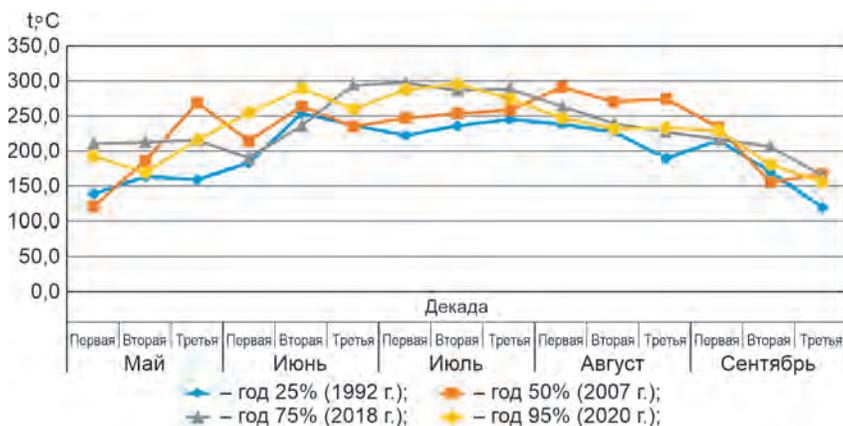


Рис. 3.4. Динамика среднедекадной температуры воздуха за вегетационный период в Астраханской области (метеостанция Харабали)

В целом по зоне за многолетний период наблюдается ярко выраженная тенденция повышения температуры на 3,5°C за 42-летний период наблюдений и уменьшения выпавших осадков на 30 мм.

Таким образом, изменчивость и периодичность суммы температур и осадков за вегетационный период проявляются с определенной цикличностью и имеют устойчивый характер, особенно в последние годы.

По прогнозам климатологов, для равнинных территорий Южного федерального округа ожидается неблагоприятное сочетание повышения температур со снижением количества осадков.

Оценка динамики метеорологических показателей по метеостанции Харабали Астраханской области наглядно показывает цикличность значений среднедекадной суммы температур за вегетационный период, прослеживаемых в разные по тепло-, влагообеспеченности годы.

На рис. 3.1 проиллюстрированы значения температуры воздуха в годы 25%-ной, 50%-ной, 75%-ной, 95% обеспеченности, показывающие периоды с максимальными и минимальными их значениями с чередующимися амплитудами «по принципу пилы» во второй декаде июня и третьей июля. Именно в эти периоды установлено минимальное количество выпадающих осадков, что может привести к повышению дефицита водопотребления и созданию стрессовых условий для сельскохозяйственных культур (см. рис. 3.4).

Оценка природной водообеспеченности за многолетний ряд наблюдений по метеостанции степной зоны Астраханской области показывает тенденцию на фоне достаточного уменьшения суммы осадков за вегетационный период повышения суммы температур и снижения влажности воздуха. Отмечаются скачкообразные колебания с чередующимися амплитудами минимальных и максимальных значений, что может привести к резким изменениям климатообразующих факторов, влияющих на продуктивность сельскохозяйственных культур (рис. 3.5).

Оросительная норма (дефицит водопотребления) обратно пропорциональна сумме осадков, что отражает недостаточное количество влаги для развития растений в период вегетации.

Внутрисезонное распределение оросительных норм вызывает необходимость выявления критических периодов водопотребности растений за вегетационный период, характеризуется большой изменчивостью по годам, особенно для районов неустойчивого увлажнения.

Разработана методика моделирования внутрисезонного распределения оросительных норм для различных сельскохозяйственных культур, в которой в результате ранжирования хронологического

ряда подекадных и суммарных за сезон дефицитов водопотребления по кривой обеспеченности выделяют значения оросительной нормы заданной вероятности (5-95%) [64].

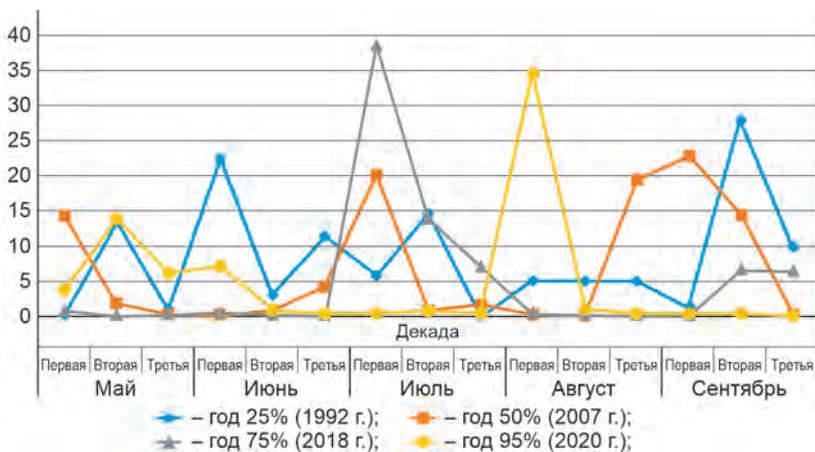


Рис. 3.5. Динамика среднемноголетней суммы осадков за вегетационный период по метеостанции Харабали

По вышеприведенной методике получены оросительные нормы внутрисезонного распределения для овощных и кормовых культур для влажных, средних, среднесухих и сухих лет (25, 50, 75, 95% обеспеченности) (табл. 3.1).

Таблица 3.1

**Оросительные нормы внутрисезонного распределения для овощных и кормовых культур для условий Астраханской области**

Расчётный год	Месяцы					
	IV	V	VI	VII	VIII	IV – IX
1	2	3	4	5	6	7
<i>Озимая пшеница</i>						
Влажный	8,4	62,1	29,5	0,0	0,0	100,0
Средний	4,1	65,9	30,0	0,0	0,0	100,0
Среднесухой	12,0	62,6	25,4	0,0	0,0	100,0
Сухой	20,0	57,0	23,0	0,0	0,0	100,0

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7
<i>Картофель поздний</i>						
Влажный	2,0	15,0	61,0	22,0	0,0	100,0
Средний	0,7	13,9	48,2	37,2	0,0	100,0
Среднесухой	5,6	28,3	53,4	12,7	0,0	100,0
Сухой	6,3	30,6	55,4	7,7	0,0	100,0
<i>Кукуруза на зерно</i>						
Влажный	0,6	12,9	45,6	41,0	0,0	100,0
Средний	1,6	12,0	46,4	40,0	0,0	100,0
Среднесухой	2,2	15,2	48,1	34,5	0,0	100,0
Сухой	4,3	22,5	51,2	22,1	0,0	100,0
<i>Кукуруза на силос</i>						
Влажный	4,4	14,4	65,0	16,2	0,0	100,0
Средний	0,3	20,0	47,7	32,0	0,0	100,0
Среднесухой	4,1	20,7	55,2	20,0	0,0	100,0
Сухой	5,8	23,0	55,3	15,8	0,0	100,0
<i>Сахарная свёкла</i>						
Влажный	0,5	15,6	33,0	40,7	10,2	100,0
Средний	3,1	8,0	33,3	43,8	11,7	100,0
Среднесухой	2,5	14,4	34,8	40,2	8,1	100,0
Сухой	4,1	16,7	34,5	36,6	8,0	100,0
<i>Люцерна прошлых лет</i>						
Влажный	3,0	19,6	32,2	32,8	12,4	100,0
Средний	0,1	20,2	33,2	38,0	8,4	100,0
Среднесухой	5,3	19,7	30,1	35,9	9,1	100,0
Сухой	7,0	23,3	32,4	33,7	4,5	100,8
<i>Пастбище орошаемое</i>						
Влажный	3,1	23,0	27,5	28,8	17,5	100,0
Средний	4,0	15,3	28,8	29,5	22,4	100,0
Среднесухой	5,4	24,2	26,4	30,6	13,4	100,0
Сухой	8,0	21,9	28,3	27,8	13,9	100,0
<i>Капуста поздняя</i>						
Влажный	9,8	61,7	28,5			100,0
Средний	4,5	66,3	29,1			100,0
Среднесухой	12,7	62,8	24,5			100,0
Сухой	21,0	56,4	22,6			100,0

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7
<i>Овоцы (томаты, огурцы)</i>						
Влажный	3,6	18,2	60,0	18,2		100,0
Средний	7,4	30,0	35,5	27,2		100,0
Среднесухой	5,2	24,2	49,2	21,4		100,0
Сухой	10,6	32,3	47,2	10,0		100,0

Распределение подекадных дефицитов в год заданной расчетной обеспеченности оросительной нормы принимается как основа и рекомендуется для разработки поливных режимов.

Параметры режимов орошения являются основой рационального использования оросительной воды, сохранения качества и плодородия сельскохозяйственных угодий. Максимально возможное приближение реализуемой поливной нормы к расчетной необходимо обеспечивать за счет оптимизации технологических схем полива, установления экологически безопасных его норм и сроков [64, 68].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научно-исследовательская работа направлена на совершенствование методологии нормирования орошения агробиоценозов с учетом корректировки биологических коэффициентов, дифференциации почвенно-климатических условий и пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических факторов.

В современных условиях ведения сельского хозяйства все большее значение приобретает проблема рационального природопользования, в частности, повышения эффективности мелиорации на различных агроландшафтных территориях. При этом система эксплуатации мелиоративных агроландшафтов эффективна только при условии оптимального использования почвенно-климатических ресурсов и особенностей возделывания сельскохозяйственных культур, т.е. на основе научно обоснованных систем земледелия на фоне разумно построенных севооборотов.

Актуальность разработки определяется требованиями рационального использования интегральных ресурсов и экологической безопасности. Развитие орошения повышает устойчивость и продуктивность сельскохозяйственных угодий, с одной стороны, а с другой – часто сопровождается негативными экологическими процессами: деградацией почв и загрязнением природных водоисточников при нарастающем дефиците водных ресурсов и засухливости климата, что требует решения вопросов рационализации планирования орошения агробиоценозов и снижения удельных затрат оросительной воды.

Проблема дефицита водных ресурсов, непосредственно связанная с климатическими изменениями и ростом техногенных воздействий, требует разработки и реализации комплекса адаптационных мероприятий на основе методов и технологий интегрированного управления водными ресурсами для обеспечения надлежащего использования водных ресурсов, предотвращения развития водной эрозии и загрязнения природных водных источников.

Отличительным признаком современной методологии решения проблем в сельскохозяйственном производстве является развитие информационных технологий – совокупности методов, программных средств и оборудования для получения, обработки и анализа больших объемов информации. Положительные научно-производственные результаты достигаются при условии реализации процессов планирования и управления водопользованием на основе развития информационно-аналитических комплексов, за счет разработки моделей нормирования водопотребления, учитывающих вероятностный и нелинейный характер процессов, протекающих в агробиоценозах, закономерности циклического процесса изменчивости гидрометеорологических факторов.

Методология расчетов базируется на оперативной и достоверной информации о гидрометеорологических, гидрогеологических и почвенных условиях, состоянии и развитии посевов сельскохозяйственных культур, динамике водного режима почвы орошаемого участка, зональной системе земледелия, технологиях и технике орошения.

Разработка методов нормирования орошения агробиоценозов с учётом климатических изменений в границах установленных природно-климатических зон, пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических факторов и влажности почвы позволяет снизить влияние на параметры моделей амплитуды колебаний количественной изменчивости гидрометеорологических условий в различные по тепло-влажнообеспеченности годы. Данная работа призвана оценить степень влияния климатических изменений на мелиорируемые агроландшафты, зоны их распространения, структуру посевных площадей.

Необходимость разработки универсальной методики нормирования орошения, достаточно корректно учитывающей влияние на суммарное испарение изменчивости гидрометеорологических условий и водного режима агробиоценозов, обоснована тем, что точность расчетных моделей снижается, поскольку тепло-, влагообеспеченность отдельных вегетационных периодов развития агробиоценозов существенно отличается от среднеголетних показателей.

По результатам информационно-аналитических, статистических и экспериментальных исследований сформированы рабочая гипотеза и основные принципы по направлениям совершенствования методов определения суммарного испарения и нормирования орошения.

Для расчета водопотребления и нормирования орошения в математических моделях выделены несколько информационных блоков, необходимых для реализации расчетных технологий.

Разработана методика определения суммарного испарения и нормирования режима орошения сельскохозяйственных культур, учитывающая изменчивость гидрометеорологических факторов, закономерности отклонения величины суммарного испарения конкретных вегетационных периодов от среднеголетних показателей и нелинейный характер этих зависимостей. Метод обеспечен надежной и доступной для пользователя компьютерной программой и информационной базой данных.

Приведены расчетные оросительные нормы основных сельскохозяйственных культур для условий Астраханской области в разные по тепло-, влагообеспеченности вегетационные периоды. Учитывая изменчивость гидрометеорологических условий в пределах природно-климатических зон, стало возможным с достаточной точностью прогнозировать нормы орошения основных сельскохозяйственных культур для степной зоны. Предложены укрупненные оросительные нормы для поверхностного и капельного орошения.

Данная методика и алгоритм расчета могут быть приняты как базовые, требующие дальнейшего уточнения. В целях совершенствования методики расчетов норм орошения необходимо проведение комплексных водно-балансовых и агрометеорологических исследований системы «почва-растение-атмосфера».

## ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. **Шумаков Б.Б.** Научные основы ресурсосбережения и охраны природы в мелиорации и водном хозяйстве. – М.: ВНИИГиМ, 1998. – 312 с.
2. **Айдаров И.П.** Комплексное обустройство земель. – М.: МГУП, 2007. – 208 с.
3. Орошение: справочник под. ред. Шумакова Б.Б. – М.: Колос, 1999. – 432 с.
4. **Галямин Е.П.** Оптимизация оперативного распределения водных ресурсов в орошении. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – с. 272.
5. **Ольгаренко В.И., Колганов А.В., Ольгаренко Г.В.** Эксплуатационные режимы орошения агроценозов Нижне-Донской провинции степной зоны. – НГМА: Мелиоводинформ, 2001. – 149 с.
6. **Ольгаренко Г.В.** Нормирование орошения люцерны с учетом вероятностного характера гидрометеорологической и водно-балансовой информации. – Новочеркасск: НГМА, 1996. – 136 с.
7. Система программированного выращивания урожая: рекл. просп. – Калинин: ГНВЦ ВРО ВАСХНИЛ, 1987. – 4 с.
8. **Черемисинов А.Ю.** Управление водными режимами экологически сбалансированной агросистемы на орошаемых черноземах / Авт. дис. ... на соиск. уч. степени д-ра с.-х. наук. – Волгоград, 1993. – 35 с.
9. **Левенко А.А.** К вопросу расчета испарения, испаряемости и влагозапасов почвы по метеоданным // Вопр. агроклиматологии: сб. тр / УкрНИИГиМ. – М. – вып. 105. – С. 51-59.
10. **Лобжанидзе З.С.** К вопросу расчета водопотребления сельскохозяйственных культур в зависимости от влажности почвы // Вопр. гидромелиорации в Грузии. – Тбилиси, 1977. – Вып. 4. – С. 53-58.
11. **N. Kloche.** at.al/ Evapotranspiration and Crop Water Use – Neb. Gurde. G90-992-A-2003.
12. **Пенман Х.Л.** Растение и влага / Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1968.
13. **Будаговский А.И.** Испарение почвенной влаги. – М.: Наука, 1964.
14. **Потапова Т.И.** Режим орошения и удобрения томатов при капельном орошении в условиях Волго-Донского междуречья Волгоградской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Т. И. Потапова. – Новочеркасск: НГМА, 2005. – 24 с.

15. **Чумакова Л.Н.** Суммарное испарение и влагоперенос на орошаемых полях кормовых культур в Заволжье / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ» Саратов. – 2003. – 200 с.

16. **Яковлев С.А.** О дифференцировке переходных коэффициентов для расчетов водопотребления // Водное хоз-во. – Киев: Урожай, 1980. – Вып. 1. – С. 18-21.

17. **Константинов А.Р., Струнников Э.А.** Нормирование орошения. Методы, их оценка. Пути уточнения. ГиМ. – 1, 2, 3. – 1986.

18. **Капустина Т.А., Аванесян И.М., Спирина Е.Ю.** Изменения показателей потенциала природных ресурсов тепло-, влагообеспеченности за многолетний период, их влияние на агроклиматические условия и биопродуктивность // Сб. тез. Докл. Междунар. конгресса «Вода: экология и технология» (ЭКВАТЭК). – М., МВЦ «Крокус Экспо», 2008.

19. Мелиорация и водное хозяйство за рубежом / Экспресс-информ. – М.: ЦБНТИ, Минводхоз СССР, 1988.

20. **Волков А.С., Тульверт В.Ф., Фиалковский П.Г.** Сравнительная оценка методов расчета испарения при орошении. Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – № 4.

21. **Алпатыев С.М.** Состояние изменчивости и возможность широкого применения биоклиматического метода при установлении режимов орошения сельскохозяйственных культур / Сб. Методы орошения и агротехники с.-х. культур. – София. 1967 г.

22. **Данильченко Н.В., Аванесян И.М., Данильченко А.Н., Никольская А.А.** Природная тепло-, влагообеспеченность Центрально-Черноземных областей России и ее влияние на параметры орошения и урожайность. – М., 2000 г.

23. **Пенман Х.Л.** Растения и влага. Перевод с англ. – Л.: Гидрометеиздат. 1968.

24. **Остапчик В.П., Филипенко Л.А., Гайдаров Р.М.** Биоклиматический метод расчета испарения с орошаемых полей. – Гидротехника и мелиорация, 1980 г. – № 1.

25. **Данильченко Н.В., Аванесян И.М.** Оценка увлажненности территории при обосновании норм водопотребности сельскохозяйственных культур: тр. ВНИИГиМ. – М., 1985.

26. Методика районирования земельного фонда орошаемых районов РФ по уровню природной тепло-, влагообеспеченности и установления пара-

метров орошения: науч.-техн. отчёты ВНИИ «Радуга» за 1998-2001 гг. – Коломна.

27. Проведение исследований по оценке параметров орошения для обеспечения экологической безопасности и повышения плодородия почв при поливе. Отчёт за 2003 г. (шифр 1.114).

28. Компьютерная программа «Расчёт параметров режимов орошения сельскохозяйственных культур – «ROCK.xls»». Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ за № 2004610996. – ВНИИ «Радуга». – 2004.

29. Информационный отчет о научно-исследовательской работе по теме 1.114 «Обоснование и разработка информационной технологии водопотребления, планирования орошения с учетом продуктивности сельскохозяйственных культур и динамики почвенно-климатических процессов для адаптивно-ландшафтной системы земледелия». – Коломна, 2006.

30. **Бондаренко Н.Ф., Константинов А.Р.** Пути оптимизации режимов орошения. – ГиМ, 1980. – № 6.

31. **Хан Г. Дж., Шапиро С.С.** Статистические модели в инженерных задачах. – М.: МИР, 1969 г.

32. **Петинов Н.С.** Физиологические основы получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур при орошении в Поволжье / Сб.: Вопросы подъема производительных сил сельского хозяйства и развития орошаемого земледелия в Поволжье. – М.: Колос, 1972 г.

33. **Будыко М.И., Зубенок Л.И.** Определение испарения с поверхности суши. Изв. АН СССР. – Севгеограф. – № 6. – 1961.

34. **Данильченко Н.В., Остроушко В.Н., Омеляненко С.И.** Метод построения кривых обеспеченности оросительных норм при коротких рядах наблюдений / Сб.: Обоснование норм водопользования в орошаемом земледелии. – М.: ВНИИГиМ, 1989 г.

35. Оросительные нормы (нетто) и их внутрисезонное распределение для основных сельскохозяйственных культур по регионам Российской Федерации // Сб. под общ. ред. д-ра с.-х. наук Ольгаренко Г.В. – Коломна, 2003.

36. Физико-географическое районирование СССР. Под редакцией Н.А. Гвоздецкого. – М.: Изд-во МГУ. 1968.

37. **Митропольский А.К.** Техника статистических вычислений. – М.: Наука, 1971 г.

38. **Косова Л.А., Морковин В.Г., Сяткина М.В.** Особенности разработки норм водопотребности для орошения в Поволжье / Сб. науч. тр. ВНИИГиМ. – М, 1984 г.

39. **Константинов А.Р. Струнников Э.А.** Нормирование орошения. Методы, их оценка. Пути уточнения. ГиМ. 1, 2, 3. – 1986 г.

40. **Гольченко М.Г.** Методика унификации биоклиматических коэффициентов и определения суммарного водопотребления орошаемых культур. – Мелиорация и водное хозяйство. – 1977.

41. Информационный портал ФГБНУ ВНИИ «Радуга» [Электронный ресурс]. URL: <https://inform-raduga.ru/fgbu/91> (дата обращения: 24.03.2021).

42. **И.П. Кружилин, А.Г. Болотин, В.Ф. Мамин.** К концепции комплексной мелиорации юга России // Науч. основы технолог. обеспеч. орошаемого земледелия в современных агроэкологических условиях: науч. тр.; редкол.: Мелихов В.В. и др. – Волгоград: ВНИИОЗ, 2002. – 208 с.

43. Безопасные системы и технологии капельного орошения: науч. обзор ФГНУ «РосНИИПМ» / Г.Т. Балакай, Л.А. Воеводина, Ю.Ф. Снопич и др. – М.: ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2010. – 52 с.

44. Концепция развития комплексных мелиораций и повышения продуктивности мелиорированных земель в России / РАСХН; ВНИИ орошаемого земледелия. – Волгоград, 2003.

45. Циклические процессы в природе и обществе: под ред. Чурсина В.Д. – Ставрополь, 1993.

46. Проведение исследований по оценке параметров орошения для обеспечения экологической безопасности и повышения плодородия почв при поливе. Отчет о НИР (заключительный за 2003-2004 гг.). – Федеральное агентство по сельскому хозяйству РФ – Упрмелиотехобеспечения. ФГНУ ВНИИ «Радуга». Науч. рук. д-р с.-х. наук, проф. Г.В. Ольгаренко.

47. Колебания и изменения климата на территории России. Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – № 2. – 2003.

48. **Израэль Ю.А., Сиротенко О.Д.** Моделирование влияния изменений климата на продуктивность сельского хозяйства в России / Метеорология и гидрология. – 2003. – № 6.

49. **Горбачева Р.И., Кабаков М.М.** Изменение биоклиматических коэффициентов по климатическим зонам // Метеорология и гидрология. – 1976. – № 12. – С. 92-101.

50. **Жуков В.А., Святкина О.А.** К вопросу адаптации сельскохозяйственного центра Европейской России к возможным изменениям климата // Метрология и гидрология. – 2002. – № 4. – С. 85-92.

51. **Альт В.В.** Информационные технологии как фактор повышения эффективности выбора технологических решений: матер. V Междунар. науч.-практ. конф. – Самара, 2005.

52. **Войтович Н.В., Полев Н.А., Покидова Л.В.** Анализ изменения основных показателей погодных условий по данным Немчиновской метеостанции НИИ сельского хозяйства центральных районов Нечерноземной зоны / Теоретические разработки. – 2002.

53. **Израэль Ю.А.** Экология и контроль состояния природной среды. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – 376 с.

54. **Израэль Ю.А.** Глобальная система наблюдений. Прогноз и оценка окружающей природной среды. Основы мониторинга // Метеорология и гидрология. – 1974. – № 7. – С. 3-8.

55. **Ольгаренко Г.В., Щербина И.В., Аванесян И.М., Капустина Т.А.** и др. Расчет динамики агроклиматических ресурсов и их регулирование (Raduga Irrigation). Программа для ЭВМ. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009610137 (дата регистрации: 11.01.2009).

56. **Остапчик В.П., Костромин В.А., Коваль А.М.** и др. Информационно-советующая система управления орошением. – Киев. Урожай, 1989.

57. **Сиротенко О.Д., Павлова Н.Д.** Оценка влияния изменения климата на сельское хозяйство методом пространственно-временных аналогов // Метрология и гидрология. – 2003. – № 8. – С. 89-99.

58. **Сычев В.Г.** Модель прогноза изменения урожайности из книги «Тенденция изменения агрохимических показателей плодородия почв Европейской части России». – М., 2006.

59. **Шафронов О.Д., Сорочкин М.А.** Моделирование урожайности зерновых культур. Агрохимический вестн., 2005. – № 4.

60. **Черемиснов А.Ю.** Управление водными режимами экологически сбалансированной агросистемы на орошаемых черноземах: авт. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Волгоград, 1993. – 35 с.

61. Водопотребление и режимы орошения сельскохозяйственных культур: справ. «Мелиорация и водное хозяйство». Т.: Орошение. – М.: Колос, 1999.

62. Научно-методическое обоснование нормирования водопотребления, планирование орошения, регулирование уровня плодородия почв на основе информационной технологии для предотвращения экологического дисбаланса: рек. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2006.

63. **Краснощеков В.Н.** Теория и практика эколого-экономического обоснования комплексных мелиораций в системе адаптивно-ландшафтного земледелия. – М.: МГУП, 2001.

64. Расчет режимов орошения сельскохозяйственных культур и проектных норм водопотребности: метод. рек. / Под общ. ред. Г.В. Ольгаренко. – Коломна: ФГБНУ ВНИИ «Радуга», Инлайт, 2012 г. – 151 с.

65. **Ольгаренко В.И., Ольгаренко Г.В.** Нормирование суммарного испарения агроценозов с учетом гидрометеорологических условий / Вестн. рос. с.-х. науки, № 2. – М., 2001. – С. 55-59.

66. **Аванесян И.М., Капустина Т.А., Спирина Е.Ю.** Исследование и оценка циклических изменений климатических показателей по природным зонам агроландшафтов Нечерноземья и ЦЧО / Достижения науки и техники АПК. – М. – 2016. – Т. 30. – № 11. – С. 24-27.

67. **Капустина Т.А., Цекоева Ф.К., Бочкарева А.И.** Анализ влияния природной влагообеспеченности на урожайность сельскохозяйственных культур в условиях Северного Кавказа / Достижения науки и техники АПК. – М. – 2016. Т. 30. – № 11. – С. 24-27.

68. **Ольгаренко Г.В., Капустина Т.А.** Планирование режимов орошения с учетом пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических условий / Матер. Междунар. конф. «Тенденции развития агрофизики в условиях изменяющегося климата». Санкт-Петербург, 20-21 сентября 2012 г. – СПб.: Любавич, 2012. – С. 359-363.

69. **Безднина С.Я.** Экологические основы водопользования. – М.: ВНИИА, 2005. – 224 с.

70. **Кирейчева Л.В., Глазунова И.В.** Развитие и размещение сельскохозяйственных мелиораций в изменяющихся климатических условиях // Природообустройство. – 2017. – № 4.

71. Метеоинформация: свидетельство об официальной регистрации базы данных № 2006620309 Рос. Федерация / Ольгаренко Г. В., Капустина Т.А., Аванесян И.М., Бочкарева А.И.; заявитель и патентообладатель ФГНУ ВНИИ «Радуга». – № 2006620249; заявл. 10.08.2006; зарег. 06.10.2006.

72. Юрченко И.Ф. Информационные системы управления водохозяйственным мелиоративным комплексом // Вестн. рос. с.-х. науки. – 2016. – №. 1. – С. 12-15.

73. **Ольгаренко Г.В., Капустина Т.А. Бочкарева А.И.** Югметео. / Электронная база данных. Свидетельство о государственной регистрации программ на ЭВМ № 2012620080 от 18.01.2012.

74. **Юрченко И.Ф.** Методологические основы создания информационной системы управления водопользованием на орошении // Вестн. рос. с.-х. науки. – 2017. – № 1. – С. 13-17.

75. **Атаев З.В., Братков В.В.** Современные климатические изменения полупустынных ландшафтов Северного Кавказа // Юг России: экология, развитие. – 2010. – № 3.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
1. Методология нормирования и прогнозирования орошения с учетом дифференциации почвенно-климатических условий и пространственной изменчивости гидрометеорологических факторов .....	5
1.1. Научно-технические разработки в области оценки суммарного водопотребления и прогнозирования орошения с учетом изменчивости почвенно-климатических условий .....	5
1.2. Концепция совершенствования методики нормирования орошения и водопользования .....	10
2. Нормирование орошения на основе моделей динамики биоклиматических коэффициентов с учетом природно-климатических зон и тепло-, влагообеспеченности территории .....	17
2.1. Методика расчета испаряемости сельскохозяйственных культур с учетом пространственно-временной динамики биоклиматических коэффициентов в зависимости от природно-климатической зоны .....	17
2.2. Методика планирования оросительных норм агробиоценозов .....	27
2.3. Нормирование орошения агробиоценозов в условиях тепло-, влагообеспеченности и дефицита водопотребления за вегетационный период .....	45
3. Расчет динамики и изменчивости гидрометеорологических условий с учетом внутривегетационного распределения и среднемноголетних характеристик в многолетней ретроспективе .....	59
3.1. Закономерности циклического характера динамики климатических факторов в многолетнем разрезе .....	59
3.2. Внутрисезонное распределение нормирования орошения с учетом временной изменчивости гидрометеорологических параметров .....	62
Заключение .....	68
Использованные источники .....	71

**Геннадий Владимирович Ольгаренко,  
Татьяна Алексеевна Капустина,  
Екатерина Викторовна Медведева**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО НОРМИРОВАНИЮ ОРОШЕНИЯ С УЧЕТОМ  
КОРРЕКТИРОВКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ,  
ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

Редактор *В.И. Сидорова*  
Обложка художника *Т.Н. Лапиной*  
Компьютерная верстка *А.Г. Шалгинских*  
Корректор *В.А. Белова*

[fgnu@rosinformagrotech.ru](mailto:fgnu@rosinformagrotech.ru)

---

Подписано в печать 15.07.2022    Формат 60×84/16  
Печать офсетная    Бумага офсетная    Гарнитура шрифта «Times New Roman»  
Печ. л. 5    Тираж 400 экз.    Изд. заказ 54    Тип. заказ 145

---

Отпечатано в типографии ФГБНУ «Росинформагротех»,  
141261, пос. Правдинский Московской обл., ул. Лесная, 60

ISBN 978-5-7367-1699-9



9 785736 716999 >

