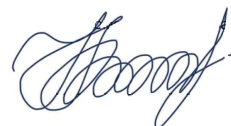


ФГБНУ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ГИДРОТЕХНИКИ
И МЕЛИОРАЦИИ ИМЕНИ А.Н. КОСТЯКОВА»
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

На правах рукописи



БОГОМОЛОВА Наталья Владимировна

ОБОСНОВАНИЕ НОРМ ВОДОПОТРЕБНОСТИ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО
ПЛАНИРОВАНИЯ ВОДОПОДАЧИ НА ОСНОВЕ ПОЧВЕННО-
КЛИМАТИЧЕСКОГО ЗОНИРОВАНИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ
(НА ПРИМЕРЕ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ)

Специальность:

4.1.5 «Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика» (технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

Новиков Андрей Евгеньевич,
член-корр. РАН, д-р техн. наук

Волгоград, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	5
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ	13
1.1 Последствия изменений климата и адаптация сельского хозяйства к ним: глобальный вызов и региональный аспект	13
1.2 Роль орошения в обеспечении устойчивости производства продовольствия. Мелиоративное состояние орошаемых и постирригационных земель	21
1.3 Анализ обеспеченности региона ресурсами пресной воды для развития оросительно-обводнительных мероприятий	30
1.4 Подходы к оценке и моделированию прогнозов природной тепло- и влагообеспеченности для агроклиматического районирования земель сельскохозяйственного назначения	38
Выводы	44
Цель и задачи исследования	46
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ОРОШАЕМОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ	48
2.1 Нормирование водопотребности для орошения, оценка эффективности взаимодействия водоподающих организаций и водопотребителей	48
2.2 Теоретическое обоснование совершенствования системы нормирования водопользования в орошаемом земледелии	57
2.3 Анализ базы данных и группировка фактических параметров водопользования по почвенно-климатическим зонам и основным культурам орошаемого земледелия	67

2.4	Технологические решения по оптимизации водопользования на основе применения современных технологий, способов и техники полива	83
	Выводы	88
3	ПРОГРАММА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, РЕСУРСЫ И БАЗЫ ДАННЫХ	90
3.1	Методы исследования элементов водного баланса земель сельскохозяйственного назначения	90
3.2	Формирование региональной базы агроклиматических данных на основе гидрометеорологических ресурсов	98
3.3	Формирование региональной базы биоклиматических коэффициентов водопотребления основных культур орошаемого земледелия	101
3.4	Методы анализа и построения описательных моделей временных рядов агроклиматических ресурсов	105
	Выводы	120
4	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ НОРМ ВОДОПОТРЕБНОСТИ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ВОДОПОДАЧИ	122
4.1	Исследование актуальных трендов изменения природной тепло- и влагообеспеченности оросительного периода	122
4.2	Расчеты испаряемости и агроклиматическое районирование для перспективного планирования водоподачи	134
4.3	Исследование дефицитов водного баланса и суммарного водопотребления основных культур орошаемого земледелия	136
4.4	Статистические оценки ожидаемых затрат оросительной воды для перспективного планирования водоподачи в орошаемом земледелии	152

	Выводы	157
5	ОЦЕНКА РАЗРАБОТОК И ИССЛЕДОВАНИЙ В ПРАКТИКЕ ВОДОПОДАЮЩИХ ОРГАНИЗАЦИЙ И ВОДОПОТРЕБИТЕЛЕЙ	159
5.1	Опыт применения системы нормирования водопользования	159
5.2	Экономическая эффективность использования актуализированных норм водопотребности для орошения	164
	Выводы	169
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	171
	РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ	175
	ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ	175
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	176
	ПРИЛОЖЕНИЯ	193

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Достижение устойчивых показателей сельскохозяйственного производства и укрепление продовольственной безопасности страны в современных условиях во многом определяются способностью аграрного сектора адаптироваться к происходящим климатическим изменениям. Наблюдаемое усиление природной неустойчивости сопровождается учащением продолжительных засух, суховеев и температурных экстремумов, вследствие чего возрастает риск возникновения дефицита влаги в течение вегетационного периода, что повышает роль оросительных мелиораций как одного из основных инструментов стабилизации растениеводства и обуславливает необходимость совершенствования принципов рационального управления водообеспечением орошаемых земель.

Для сельскохозяйственных районов Волгоградской области проблема недостаточной влагообеспеченности имеет системный характер. Ограниченное поступление атмосферной влаги в сочетании с существенной изменчивостью осадков определяет неустойчивость условий формирования урожая и необходимость восполнения возникающего водного дефицита посредством орошения. При этом надёжность водообеспечения аграрного производства определяется не только техническими возможностями действующей мелиоративной инфраструктуры и доступностью водных ресурсов. Существенное значение приобретает соответствие планируемых объёмов водоподачи реальной потребности сельскохозяйственных культур, формирующейся под влиянием конкретного сочетания почвенных и агроклиматических факторов.

Неодинаковые условия формирования водного баланса в пределах региона, а также их существенная изменчивость во времени снижают обоснованность применения усреднённых показателей при определении требуемых объёмов оросительной воды. Это обуславливает необходимость

территориальной дифференциации норм водопотребности с учётом характерных особенностей тепло- и влагообеспеченности, а также вероятности их проявления в различные по увлажнённости годы. Методической основой такой дифференциации может служить водно-балансовая оценка, дополненная почвенно-климатическим зонированием орошаемых земель. Совместное применение данных подходов обеспечивает возможность установить пространственные различия в необходимости культур в дополнительном увлажнении и определить расчётные значения водопотребности для заданных уровней климатической обеспеченности.

Исследования проводились во ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» в рамках выполнения государственного задания FNFR-2025-0003 Минобрнауки России (2025-2029 гг.) и хоздоговорных работ с ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз» (№ 1 от 05.03.2024 г., № 2 от 09.09.2024 г., № 3 от 12.11.2024 г.).

Степень разработанности темы. Теоретические и методические подходы по оценке территориальной тепло- и влагообеспеченности сформированы в трудах А.М. Алпатьева, С.М. Алпатьева, М.И. Будыко, Р.Э. Давида, Н.Н. Иванова, П.И. Колоскова, А.Р. Константинова, Г.Т. Селянинова, Д.И. Шашко. Научные основы водопотребления сельскохозяйственных культур с учётом почвенно-климатических особенностей, физиологии растений опубликованы в работах Н.В. Данильченко, Н.Н. Дубенка, Ю.П. Добрачёва, И.П. Кружилина, Г.К. Льгова, В.С. Мезенцева, В.П. Остапчик, В.В. Шабанова, А.В. Шуравилина и других.

Вопросам нормирования водопотребления, обоснования режимов орошения, ресурсосбережения и управления водораспределением на мелиоративных системах посвящены исследования Е.П. Галямина, Л.В. Кирейчевой, А.Е. Новикова, Г.В. Ольгаренко, В.И. Ольгаренко, Д.А. Рогачева, И.А. Шарова, В.А. Шевченко, И.Ф. Юрченко, а также и других учёных ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, ВНИИ «Радуга», ВолжНИИГиМ, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, РосНИИПМ, иных учреждений.

Комплексные приёмы регулирования водного режима почвы и температуры приземного слоя атмосферы в агроценозах для условий Нижнего Поволжья разработаны научными коллективами под руководством В.В. Бородычёва, М.С. Григорова и А.С. Овчинникова.

Практические аспекты агроэкологической оценки земель и организации сельскохозяйственного производства на основе адаптивно-ландшафтных систем земледелия были развиты в трудах А.Н. Власенко, А.Л. Иванова, В.И. Кирюшина, С.В. Лукина.

Исследования биоклиматической дифференциации регионов, оценки влияния климатических факторов и водообеспеченности на продукционный процесс, механизмов их взаимодействия в системе «атмосфера – почва – растение» активно ведутся и в мировой практике, например, в работах L. Emberger, R.J. Hanks, J.D. Hesketh, K. G. Hubbard и J.W. Jones.

Цель исследования – научное обоснование норм водопотребности зонально значимых групп сельскохозяйственных культур, обеспечивающих перспективное планирование водоподачи в орошаемом земледелии Волгоградской области на основе почвенно-климатического зонирования территории.

Задачи исследований:

1. Провести анализ влияния факторов на формирование норм водопотребления и усовершенствовать систему регионально-адаптивного нормирования водопотребности сельскохозяйственных культур.

2. Разработать региональные информационно-аналитические базы данных агроклиматических ресурсов и биоклиматических коэффициентов водопотребления сельскохозяйственных культур.

3. Выполнить вероятностные оценки временных рядов гидротермических ресурсов сельскохозяйственных районов региона и определить актуальные тренды изменения тепло- и влагообеспеченности.

4. Провести почвенно-климатическое зонирование орошаемых земель региона для обоснования норм водопотребности сельскохозяйственных

культур.

5. Определить климатически обеспеченные дефициты водного баланса, получить модель и эмпирические коэффициенты водопотребления сельскохозяйственных культур.

6. Выполнить статистические оценки ожидаемых затрат оросительной воды для перспективного планирования водоподачи на региональном уровне.

7. Провести технико-экономическую оценку эффективности использования актуализированных норм водопотребности сельскохозяйственных культур.

Научная новизна результатов исследований:

- усовершенствована система нормирования водопотребности сельскохозяйственных культур, основанная на дифференциальной расчётной потребности растений в оросительной воде в зависимости от территориальной принадлежности участков орошения и вероятностных обеспеченностей коэффициента природного увлажнения;

- выявлены закономерности пространственно-временного изменения тепло- и влагообеспеченности сельскохозяйственных районов региона и установлена их связь с дефицитом водного баланса возделываемых культур;

- получены регрессионная модель, описывающая вероятностные кривые дефицита водного баланса, и эмпирические коэффициенты водопотребления сельскохозяйственных культур.

Техническая новизна результатов исследований подтверждается государственной регистрацией баз данных: № 2026622934 – содержит многолетние ежедневные метеоданные и используется для оценки влагообеспеченности и потребности в объёмах мелиоративного регулирования при орошении; № 2026624921 – содержит биоклиматические коэффициенты сельскохозяйственных культур и используется как для расчёта суммарного водопотребления, планирования режимов орошения и оценки влагообеспеченности агроценозов.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость результатов исследования состоит в развитии теоретических и методологических подходов нормирования водопользования в орошаемом земледелии, ориентированных на переход от унифицированных (статических) оросительных норм к динамическим, закономерностям пространственно-временного изменения тепло- и влагообеспеченности сельскохозяйственных регионов района, регрессионной модели вероятностных обеспеченностей дефицитов водного баланса сельскохозяйственных культур.

Практическую значимость результатов исследования представляют:

1) информационно-аналитические базы данных агроклиматических ресурсов и биоклиматических коэффициентов водопотребления сельскохозяйственных культур для моделирования их суммарного водопотребления и режимов орошения, создания цифровых систем нормирования водопотребности на региональном уровне;

2) актуализированные тренды изменения тепло- и влагообеспеченности сельскохозяйственных районов региона, позволяющие прогнозировать дефицит водного баланса сельскохозяйственных культур;

3) эмпирические коэффициенты водопотребления возделываемых в регионе культур для нормирования орошения и оценки эффективности использования воды растениями;

3) оросительные нормы сельскохозяйственных культур, рассчитанные для заданной обеспеченности и дифференцированные по почвенно-климатическим зонам, для регионально-адаптивного нормирования водопотребности.

Методология и методы исследования. Методология исследования построена на методах статистического и динамического моделирования временных рядов тепло- и влагообеспеченности с оценкой их влияния на дефицит водного баланса сельскохозяйственных культур. Количественный анализ природного увлажнения проводили по ретроспективным фактическим

метеоданным станций региона. Для выявления климатических трендов применяли сезонную декомпозицию. База биоклиматических коэффициентов сформирована методом анализа и систематизации экспериментальных данных научных источников. Основой для расчёта параметров оросительных норм послужил водно-балансовый метод. Почвенно-климатическое зонирование территории региона выполнено с применением ГИС-технологий.

Положения, выносимые на защиту:

1. Анализ факторов на формирование норм водопотребления и система регионально-адаптивного нормирования водопотребности сельскохозяйственных культур.

2. Региональные информационно-аналитические базы данных агроклиматических ресурсов и биоклиматических коэффициентов водопотребления сельскохозяйственных культур.

3. Вероятностные оценки временных рядов гидротермических ресурсов сельскохозяйственных районов региона и актуальные тренды изменения тепло- и влагообеспеченности.

4. Почвенно-климатическое зонирование орошаемых земель региона для обоснования норм водопотребности сельскохозяйственных культур.

5. Климатически обеспеченные дефициты водного баланса и эмпирические коэффициенты модели водопотребления сельскохозяйственных культур.

6. Статистические оценки ожидаемых затрат оросительной воды для перспективного планирования водоподачи.

7. Техничко-экономическая оценка эффективности использования актуализированных норм водопотребности сельскохозяйственных культур.

Степень достоверности и апробация результатов. Полученные результаты исследования подтверждаются значительным объёмом экспериментальных данных и стандартными статистическими методами их обработки с использованием специализированных программных продуктов

MS Excel 2010 и STATISTICA 10, а также QGIS 4.0 для визуализации и анализа пространственных данных, картографирования территориальной изменчивости; использованием общепринятого водно-балансового метода для моделирования норм водопотребности сельскохозяйственных культур.

Результаты исследования апробированы и внедрены в ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз» и используются на практике при заключении договоров на возмездное оказание услуг по подаче воды водопользователям на орошение возделываемых культур.

Основные положения диссертации доложены, обсуждены и одобрены на международных научно-практических конференциях и симпозиуме: «Инновационные процессы в АПК» (РУДН, Москва, 2025, 2026), «Мелиорация сельскохозяйственных земель для устойчивого обеспечения продовольствием» (ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», Волгоград, 2025), «Глобальные вызовы и инновационные решения в мелиоративном комплексе» (ФГБНУ «ВолжНИИГиМ», Саратов, 2026), «Стратегия мелиорации в эпоху климатических вызовов: водосбережение и продовольственная безопасность» (РАН, Москва, 2026), «Актуальные научные исследования в области мелиорации и гидротехники» (ФГБНУ «РосНИИПМ», Новочеркасск, 2026), «Современное состояние и инновационные пути развития мелиорации и орошаемого земледелия» (ФГБОУ ВО Дагестанский ГАУ, Махачкала, 2026), «Международная конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 60-летию основания ФГБНУ ВНИИ «Радуга»» (ФГБНУ ВНИИ «Радуга», Московская обл., п. Радужный, 2026).

Личный вклад автора состоит в постановке цели и задач исследования на основе анализа факторов, влияющих на формирование норм водопотребления сельскохозяйственных культур; разработке методики проведения экспериментов; сборе и систематизации исходной эмпирической информации агро- и биоклиматических параметров для расчёта и обоснования дифференцированных оросительных норм; проведении

имитационного моделирования водопотребления растений для различных лет обеспеченности гидротермическими ресурсами; обобщении и анализе полученных результатов; публикации результатов исследования.

Научные публикации. По теме диссертации опубликовано 13 работ, в том числе 6 статей в российских рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 5 – в сборниках докладов по материалам всероссийских и международных конференций, получено 2 свидетельства о государственной регистрации баз данных. Общий объем публикаций составляет 3,92 п.л., в том числе авторских 2,5 п.л.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и приложений; содержит 193 страниц компьютерного текста, 58 рисунков, 46 таблиц. Список литературы включает 200 наименований источников, в том числе 65 иностранных.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность руководству ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз» за предоставленные сведения о действующем орошении, применяемых способах полива сельскохозяйственных культур и мелиоративном состоянии орошаемых земель в зоне действия государственных и частных оросительных и оросительно-обводнительных систем, а также о фактической оросительной норме возделываемых культур и структуре посевов хозяйствующих субъектов в регионе.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

1.1 Последствия изменений климата и адаптация сельского хозяйства к ним: глобальный вызов и региональный аспект

Сельское хозяйство играет ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности. Ввиду благоприятных природных условий и разнообразия сельскохозяйственных культур, территория нашей страны, в частности южных регионов, является особо важной для аграрного производства. Значительное влияние на продуктивность и устойчивость современного сельского хозяйства оказывают климатические факторы, в связи с чем агросектор находится под серьёзным давлением и сталкивается с рядом глобальных вызовов – дефицитом пресных вод, деградацией земель и опустыниванием территорий [103, 135].

В таких условиях обеспечение сельского хозяйства водными ресурсами становится одним из ключевых направлений научных исследований и практической деятельности в сфере мелиорации. Согласно оценкам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC, 2022)¹, наблюдаемое повышение температуры воздуха, трансформация режима атмосферных осадков и увеличение повторяемости экстремальных гидрометеорологических явлений оказывают существенное влияние на процессы формирования водного баланса агроландшафтов [140, 160]. Особенно остро данные изменения проявляются в регионах недостаточного увлажнения, где дефицит доступной влаги усиливается, а зависимость сельскохозяйственного производства от искусственного орошения возрастает. К таким регионам относится Нижнее Поволжье и Волгоградская область, в частности. Применительно к ним следует отметить:

1. Изменение температурных режимов является одним из первостепенных факторов колебания климата, который оказывает воздействие

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment.

на тепло- и влагообеспеченность сельскохозяйственных земель. Повышение температурных режимов за последние годы влияет на сроки посевов, нормы поливов и сбор урожая, так как некоторые сельскохозяйственные культуры не успевают адаптироваться за короткие сроки к режиму погоды. Тепловой стресс негативно влияет на продукционный процесс, урожайность, качество продуктов [65, 86]. Изменение количества и распределения осадков приводят к недостатку влаги; частые колебания между засушливыми и дождливыми сезонами способствуют образованию сухих и влажных периодов, которые усложняют процесс планирования поливов сельскохозяйственных культур. Непостоянство климата провоцирует экстремальные погодные явления: засухи снижают доступность оросительной воды и негативно влияют на качество почв; ураганы являются угрозой средствам производства и получения урожая; наводнения возникают в связи с чрезмерными осадками, которые разрушительно воздействуют на посевы и инфраструктуру [153, 157].

2. Дефицит пресных вод: снижение уровня водоёмов возникает в связи с испарением, вызванным изменениями в режиме осадков, и увеличением потребления воды бытовым сектором и промышленностью. В связи с этим сельское хозяйство сталкивается с конкуренцией за водные ресурсы.

3. Низкое качество воды, не отвечающее условиям ирригации. Поверхностный сток воды с водосборных территорий, в том числе и сельскохозяйственных угодий, содержит остаточные концентрации удобрений, пестицидов и других загрязняющих веществ. Другой причиной является несбалансированная эвтрофикация из-за продуцирования цианобактерий вследствие перенасыщения водоёмов биогенными элементами; данный процесс нарушает гидроэкосистемы и приводит к снижению доступности чистой воды в сельском хозяйстве.

4. Потеря биоразнообразия: климатические изменения способствуют глобальным перестроениям в экосистемах, что приводит к исчезновению различных видов растений и животных, наличие которых обеспечивает устойчивость агроландшафтов. По причине изменения климата возникает

распространение инвазивных видов культур и вытеснение местной культурной растительности.

5. Социально-экономические вызовы: снижение доходов фермеров, миграция населения.

Современные исследования свидетельствуют о том, что изменение метеопараметров непосредственно влияет на величину водопотребления сельскохозяйственных культур: повышение температурного фона в сочетании с изменением распределения осадков способствует увеличению суммарной эвапотранспирации. Следствием данных процессов становится рост потребности растений в дополнительном увлажнении, особенно в засушливых и полузасушливых зонах. В работах [142, 183] отмечается, что применение нормативов водопотребности, разработанных для иных природных условий, может приводить к снижению эффективности водохозяйственного планирования, обуславливает необходимость их регулярного уточнения с учётом современных климатических тенденций.

Адаптация к вызовам требует комплексного подхода, включающего внедрение устойчивых агротехнических практик, использование современных технологий с составлением прогнозируемых моделей, обучение фермеров и активное сотрудничество между всеми заинтересованными сторонами [59, 176]. Применение целостных стратегий, включая устойчивые сельскохозяйственные практики с управлением водных ресурсов и защиты экосистем, акцент на инновациях и повышение устойчивости сельского хозяйства являются ключевыми мерами в борьбе с последствиями изменения климата (рис. 1.1) [21, 141].

Современные проблемы адаптации сельского хозяйства к глобальным климатическим изменениям в связи с дефицитом пресных водных ресурсов являются актуальной темой, затрагивающей множество аспектов. Особо важно считаем отметить:

- изменение погоды, увеличение среднесуточных температур воздуха и непредсказуемая смена режима осадков в условиях глобального потепления

воздействует на среду выращивания сельскохозяйственных культур, снижая урожайность и повышая риск засух или наводнений;

- использование при агропроизводстве значительных объёмов пресной воды приводит к её дефициту, в то же время прослеживается ухудшение водоснабжения, вызванное изменениями климата и недостатком ресурсов для полива, что в совокупности требует оптимизации орошения;

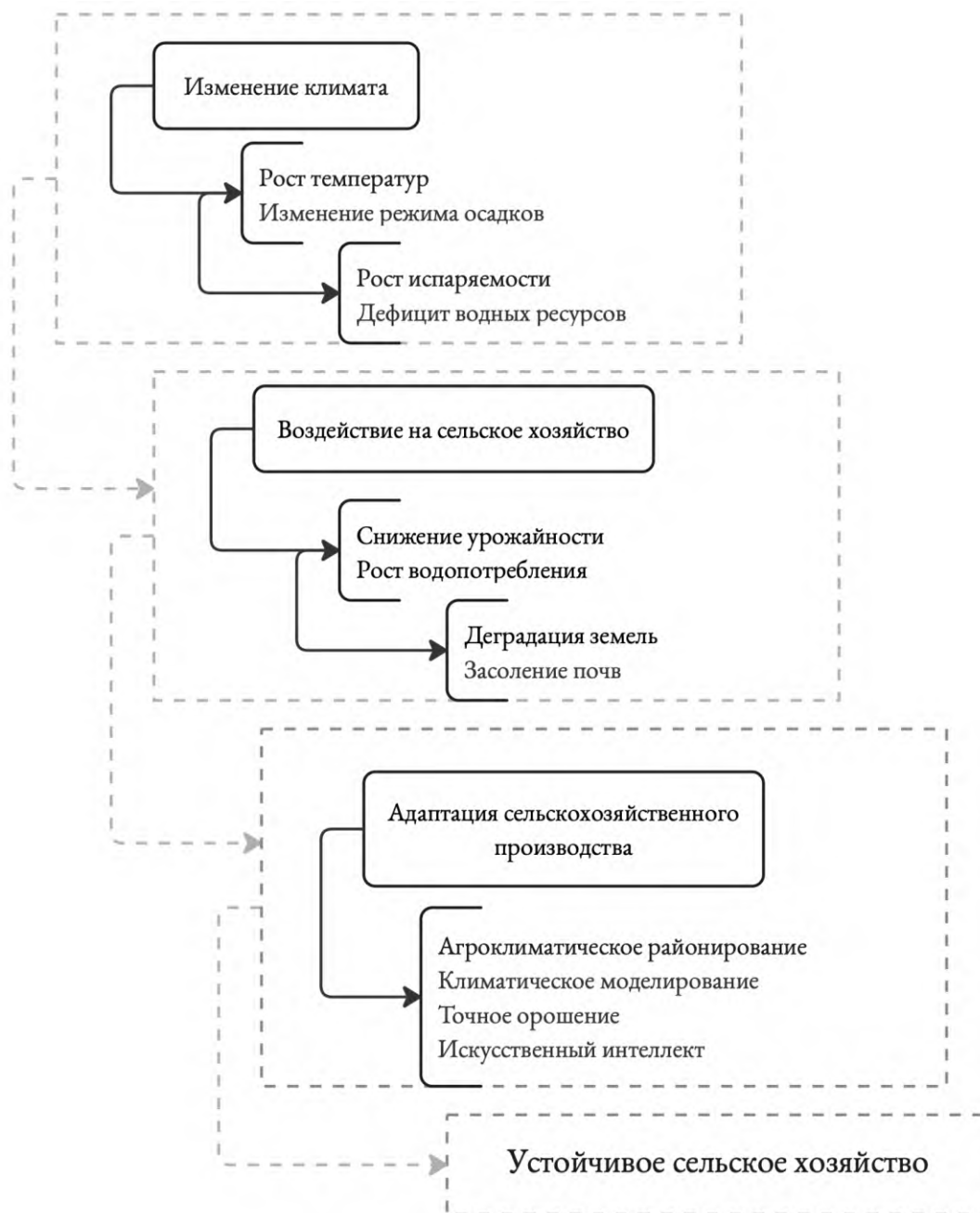


Рисунок 1.1 – Последствия изменения климата и меры адаптации

- климатические изменения способствуют солонцообразованию в

условиях увеличения уровня испарения за счёт повышения среднесуточных температур воздуха, что негативно воздействует на плодородный слой почвы и понижает продуктивную способность поддерживать растения в активных фазах развития;

- необходимость применения современных методов капельного орошения, систем управления поливом с внедрением инновационных технологий, а также культур, устойчивых к засухе и другим экстремальным погодным условиям;

- экономические вызовы: не все регионы могут позволить инвестиции в технологии и устойчивые практики, позволяющие адаптировать сельское хозяйство к условиям окружающей среды;

- политика и управление: создание комплексных мер позволит на государственном уровне вести разработки эффективных стратегий управления водными ресурсами и поддержки фермерского хозяйства в части реализации адаптационных мероприятий.

В связи с этим особую значимость приобретают методы прогнозирования и моделирования водного режима. В исследовании с использованием модели CROPWAT [149, 190] установлено, что прогнозируемые изменения метеопараметров способны существенно увеличить потребность сельскохозяйственных культур в оросительной воде. Схожие результаты получены в работе [181]. Эти исследования подтверждают высокую эффективность моделей AquaCrop и CROPWAT при расчёте фактической эвапотранспирации и определении потребности растений в воде. По мнению специалистов использование подобных инструментов позволяет значительно повысить достоверность прогнозов и рационально спланировать водоподачу на перспективу [180].

В последние годы особое внимание уделяется вопросам пространственной неоднородности водопотребления сельскохозяйственных культур. В исследованиях [147] показано, что величина потребления воды определяется не только биологическими особенностями растений, но и

комплексом природных факторов, включающих климатические условия, свойства почв и структуру сельскохозяйственного использования территории. В результирующей части обосновывается необходимость перехода от усреднённых нормативов к регионально адаптированным системам нормирования. Аналогичной точки зрения придерживаются авторы работы [196], которые связывают повышение эффективности использования воды с внедрением водосберегающих технологий и совершенствованием механизмов водораспределения при увеличении площади орошаемых земель.

Развитие цифровых технологий открывает новые возможности для совершенствования управления водными ресурсами. В исследовании [159] отмечается, внедрение датчиков влажности почвы, систем дистанционного мониторинга и алгоритмов машинного обучения обеспечивает получение оперативной информации о состоянии посевов и фактической потребности растений во влаге. В дополнение к этому, сочетание спутниковых наблюдений, методов искусственного интеллекта и математического моделирования позволяет существенно повысить точность оценки эвапотранспирации и эффективность управления орошением [144].

Для эффективной адаптации сельского хозяйства к изменениям климата требуется интегрированный подход, в основе которого лежит использование многолетних метеоданных и современных технологий их обработки в целях моделирования режима погоды на перспективу.

Для преодоления и смягчения последствий природных вызовов в сельском хозяйстве следует рассмотреть несколько ключевых стратегий.

1. Оросительные системы с водосберегающими технологиями и умными системами полива:

- капельные и другие системы точного орошения (в том числе внутрипочвенные или подземные) с датчиками и алгоритмами для определения оптимального времени и количества воды для полива обеспечивают поступление влаги к растениям при минимальных потерях на испарение и сток;

- мульчирование почвы органикой и другими материалами, внесение гидросорбентов (мелиорантов) уменьшают транспирацию с поверхности и способствуют более рациональному потреблению воды растениями.

2. Инновационные агротехнологии для оптимизации поливов и эффективного управления ресурсами:

- технологии точного земледелия с применением датчиков, дронов и спутниковых систем позволяют проводить мониторинг состояния растений, влажности почвы, прогнозировать потребности растений в воде;

- интеграция автоматизированных систем управления поливом, которые реагируют на изменение погодных условий и состояния почвы, оптимизируют водопотребление культур;

- агроэкологические практики (например, севооборот и междурядная посадка) способствует повышению устойчивости агропроизводства.

3. Создание устойчивых культур к засухе:

- селекционные и генетические разработки сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, устойчивых к засухам и экстремальным условиям произрастания, отличаются низким водопотреблением при сохранении продукционного потенциала.

4. Прогнозные модели метеорологических условий:

- применение современных технологий и методов обработки больших метеоданных для моделирования и прогнозирования параметров климата при планировании агротехнических мероприятий, в том числе орошения сельскохозяйственных культур, снижает риски избыточного или недостаточного полива;

- имитационное моделирование, учитывающее характеристики климата, почвы и водных ресурсов позволяет предсказывать последствия различных агрономических решений и выбирать оптимальные стратегии управления в области мелиорации.

5. Искусственный интеллект в решении глобальных проблем:

- позволяет производить своевременный анализ различных данных в

целях автоматического регулирования полива в системе умного орошения, оптимизации химической нагрузки на агроландшафты, других ресурсов, минимизации потерь урожая за счёт более точного управления процессами;

- ускоряет процесс разработки инновационных агротехнологий, таких как вертикальное земледелие или системы капельного орошения;

- используется при создании информационных сервисов, в том числе для межгосударственного обмена данными, для оценки вероятных рисков и разработки адаптационных мер.

Для южных регионов России особое значение имеют исследования, посвящённые развитию орошаемого земледелия в условиях возрастающей климатической нестабильности. В работе [41] рассмотрены перспективы водообеспечения сельского хозяйства в бассейне р. Дон, авторы указывают на необходимость совершенствования методов оценки будущих потребностей в водных ресурсах. По их мнению, развитие орошения должно основываться на комплексном анализе гидрометеорологических процессов и учитывать возможные изменения структуры сельскохозяйственного производства.

Волгоградская область, как аграрно развитый регион Нижнего Поволжья, вносит существенный вклад в общероссийское производство зерновых, масличных, технических, кормовых культур, фруктов, овощей и ягод. Изучение на этой территории изменений метеопараметров и сопутствующих им последствий для актуализации норм водопотребности сельскохозяйственных культур и перспективного планирования водоподачи носит актуальный характер, так как позволяет не только оптимизировать расход оросительной воды, но и улучшить показатели производства. При этом различные источники [112, 122] указывают на значительную неоднородность мелиоративного состояния орошаемых земель, отмечают, что повышение эффективности использования воды в условиях засушливого климата невозможно без учета почвенно-климатических особенностей территории, определяющих как величину водопотребности сельскохозяйственных культур, так и эффективность функционирования оросительных систем.

1.2 Роль орошения в обеспечении устойчивости производства продовольствия. Мелиоративное состояние орошаемых и постирригационных земель

Одним из важнейших компонентов в сельскохозяйственном производстве является вода, она имеет важное значение в обеспечении глобальной продовольственной безопасности. Вода жизненно необходима для произрастания растений так же, как солнечный свет и воздух. Одним из доступных источников водообеспечения сельскохозяйственных культур являются атмосферные осадки, но они не всегда постоянны и предсказуемы.

В этом случае целесообразным регулируемым источником водоснабжения на сельскохозяйственных землях служат ирригационные системы. Для получения максимальных урожаев важно иметь регулярное орошение, обеспечивающее подачу воды в требуемом количестве и надлежащем качестве в установленные временные интервалы.

Орошаемое земледелие охватывает около 20% пригодных для обработки сельскохозяйственных земель в мире и обеспечивает 40% мирового производства продовольствия. В отличие от богарного земледелия, орошаемое обеспечивает примерно в два раза больше урожая с единицы площади [160].

В регионе исследования оросительные мелиорации в настоящее время обеспечивают стабильность производства растениеводческой продукции – функционирует 17 государственных оросительных и оросительно-обводнительных систем. Орошаемое земледелие в Волгоградской области берёт свое начало ещё в дореволюционный период, основной этап развития приходится на вторую половину XX века [112]. За время активной фазы строительства ирригационных систем наблюдался существенный рост урожайности культур: многолетних трав – в 2,5-4,0 раза, однолетних трав – в 1,3-3,0, кукурузы и зерновых – в 2,4-2,5 раза. Так, урожайность озимой пшеницы возросла с 17-20 до 30 ц/га [28].

Одной из важнейших задач мелиорации сельскохозяйственных угодий

является повышение природного потенциала земельных ресурсов и создание условий для продуктивного долголетия мелиорированных агроландшафтов. Однако орошаемые земли наиболее сильно подвержены антропогенным нагрузкам и характеризуются большим диапазоном эколого-мелиоративного состояния, в том числе и негативно сказывающего на их природной структуре. В клин орошаемого земледелия в Волгоградской области в 1989 г. входило 345,2 тыс. га или 4,6% сельскохозяйственных земель [74]. В исследованиях мелиоративного состояния орошаемых земель Нижнего Поволжья [88] отмечаются закономерности деградационных процессов (засоление, поднятие уровня грунтовых вод), происходящих в результате длительно-временного воздействия водных мелиораций на почвы с недостаточной дренированностью и применения необоснованных грузных поливных норм [29].

Стоит отметить, что в Волгоградской области имеется выраженный дефицит естественной влагообеспеченности на всей территории из-за географического положения. Поэтому применение оросительных мелиораций на сельскохозяйственных угодьях является необходимой мерой в целях обеспечения устойчивого сельскохозяйственного производства.

Почвы Волгоградской области разнообразны, включают тёмно-каштановые, каштановые и светло-каштановые, а также обыкновенные и южные чернозёмы.

В зависимости от гидромелиоративной обстановки в почве под воздействием длительного орошения происходят процессы различной интенсивности: метаморфизм органического вещества и минеральной части; аккумуляция водорастворимых соединений; вторичное осолонцевание, осолодение; подщелачивание со скачкообразным увеличением щелочности среды сразу после полива. Широко распространено явление обесструктурирования почвы с утратой агрономически ценной фракции. Интенсивность проявления отдельных процессов при неблагоприятной эколого-мелиоративной обстановке может быть настолько высокой, что

трансформация почвы с потерей типичных для неё признаков может произойти за очень короткий промежуток времени [28, 29].

Факторами ухудшения состояния орошаемых земель стали ошибки при проектировании оросительных систем, выборе техники полива, водной нагрузки. Из-за возникающих причин негативного воздействия на почвенный покров верным методом систематического наблюдения на орошаемых землях является экологический мониторинг, результаты которого формируются в виде Мелиоративного кадастра. Этот документ позволяет своевременно принимать решения по агротехническому, агромелиоративному обоснованию организационных мероприятий, направленных на минимизацию неблагоприятных факторов.

Волгоградская область входит в состав Южного федерального округа. Общий мелиоративный фонд составляет 1,5 млн га орошаемых земель, из них находится в хорошем состоянии 60%, в удовлетворительном – 22%, в неудовлетворительном – 18% (табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Сведения из Мелиоративного кадастра ЮФО РФ

Субъект	Площадь орошаемых земель, тыс. га	Мелиоративное состояние		
		хор., %	удов., %	неудов., %
Астраханская обл.	211,0	20	44	36
Волгоградская обл.	178,8	75	12	13
Краснодарский край	386,4	74	14	12
Республика Адыгея	25,0	73	21	6
Республика Калмыкия	81,0	2	38	60
Республика Крым	396,4	45	45	9
Ростовская обл.	231,4	69	11	20
г. Севастополь	4,3	60	38	2

По данным Мелиоративного кадастра в Волгоградской области 178,8 тыс. га орошаемых земель. Их экологическое состояние следующее: 75% – хорошее, 12% – удовлетворительное, 13% – неудовлетворительное. Эколого-мелиоративная характеристика этих земель согласно сведениям Волгоградской гидрогеолого-мелиоративной партии (филиал ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз») приведена в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Показатели по оценке и учёту мелиоративного состояния орошаемых земель (по состоянию на 01.01.2021 г.)

Показатель оценки и учёт данных	Площадь, тыс. га
Общая площадь	178,84
Под контролем	178,84
Под солевой съёмкой	101,456
С дренажом, в том числе	11,243
- с закрытым горизонтальным дренажом	2,288
Не использовалось, в том числе	91,753
- по причине засоления или заболачивания	-
Не поливалось, в том числе	26,381
- из-за недостатка воды в источниках	-
- из-за неисправности оросительной сети	16,582
- прочие причины	9,799
Распределение по уровню грунтовых вод (УГВ), м	
УГВ < 1,0	-
1,0 < УГВ < 1,5	0,3
1,5 < УГВ < 2,0	-
2,0 < УГВ < 3,0	8,0
3,0 < УГВ < 5,0	35,0
УГВ > 5,0	135,7
Распределение по степени засоленности в слое до 1 метра, тыс. га	
Незасоленные	165,0
Слабозасоленные	10,2
Среднезасоленные	13,0
Сильно и очень сильно засоленные (солончаки)	0,8
Распределение по степени солонцеватости, тыс. га	
Несолонцеватые	138,1
Слабосолонцеватые	21,0
Средне- и сильно солонцеватые	20,0
Мелиоративное состояния по УГВ и засолению, тыс. га	
«Хорошее»	134,0
«Удовлетворительное»	22,0
«Неудовлетворительное», в том числе	23,0
- недопустимая глубина УГВ	0,5
- засоление почв	22,7
- недопустимая глубина УГВ и засоление почв	0,06

Всероссийский НИИ орошаемого земледелия в рамках выполнения государственного задания с 2006 года по настоящее время проводит систематический эколого-мелиоративный мониторинг орошаемых агроландшафтов Волго-Донского междуречья, включая угодья и прилегающие к ним биотопы (склоны, тальвег балки, лесополосы, плакорные степные участки и т.п.) [88].

Как уже отмечали, в Волгоградской области имеется 17 оросительных

(ОС) и оросительно-обводнительных (ООС) систем (рис. 1.2, табл. 1.3-1.4), в структуре государственной собственности числится 141,6 тыс. га, общая площадь орошения составляет 178840 га, а фактически поливается около 30%. В таблицах 1.5-1.9 представлены показатели эколого-мелиоративной обстановки в зоне действия систем орошения и приняты следующие сокращения: П – природно, В – вторично, ПС – природно солонцеватые, ПЗ – природно засоленные, НГ – недопустимая глубина, З – засоление [88]. Основные сведения по данным ОС и ООС приведены в таблице 1.7 (по состоянию на 01.01.2021 г.).

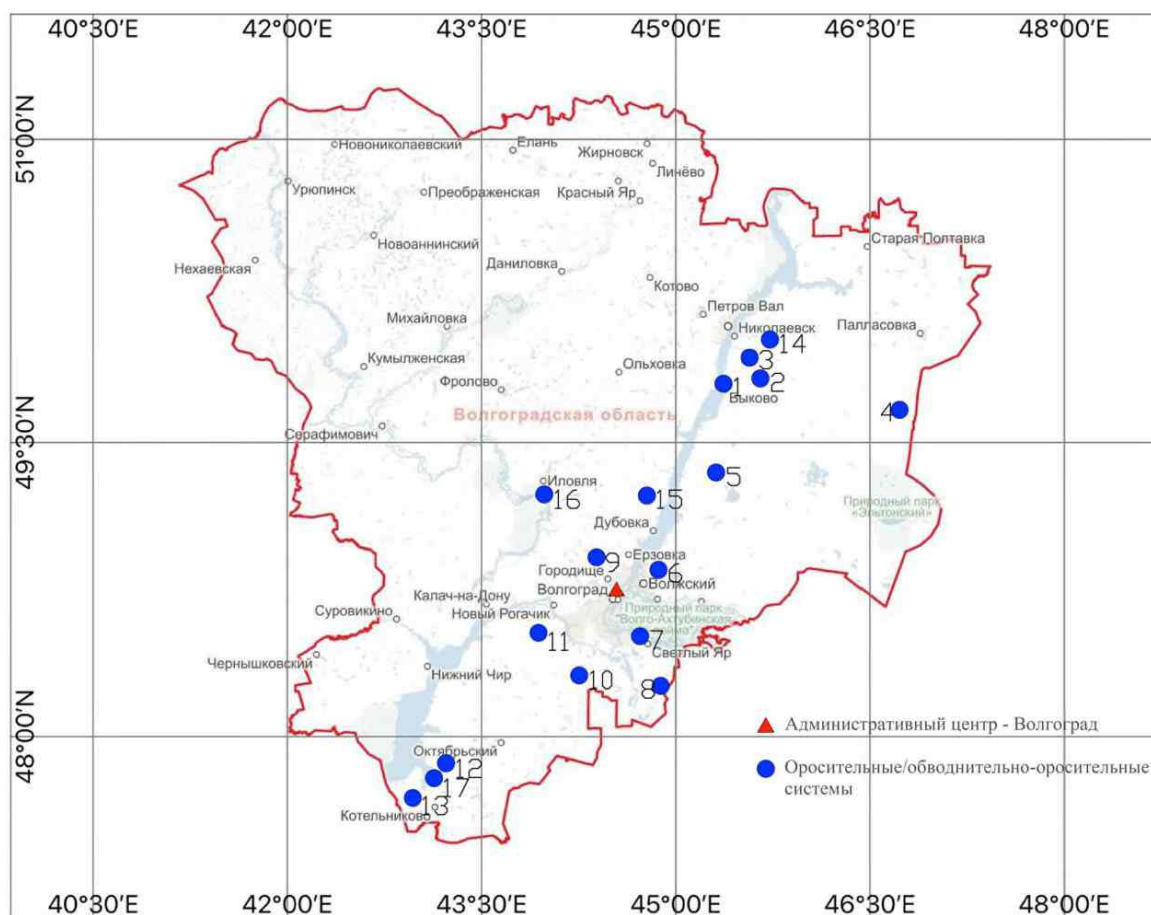


Рисунок 1.2 – Местоположение ОС и ООС в Волгоградской области

По результатам оценки эколого-мелиоративного состояния орошаемых земель можно сделать следующие выводы [88]:

- 1) отмечается различная минерализация грунтовых вод на площади: 58,7 тыс. га – менее 1 г/л, 56 тыс. га – 1-3 г/л, ~64 тыс. га – более 3 г/л;

2) на площади 2,5 тыс. га имеются признаки вторичного засоления, а на площади 11 тыс. га отмечено природное засоление, что составляет 7,5% от общей площади сельхозугодий или 21% от земель мелиоративного фонда;

Таблица 1.3 – Характеристика ОС и ООС Волгоградской области

ОС и ООС (поз. на рис. 1.2)	Площадь орошения, тыс. га	Водозабор	Тип орошения
Большая Волгоградская (1)	~16	Головной водозабор состоит из плавучей НС типа РН 6×1250, установлена в заливе Калиновая балка р. Волга, подаёт воду в магистральный канал с протяжённостью русла 49,3 км	регулярное
Кисловская (2)	7,4	Головной водозабор состоит из стационарной 6-и агрегатной НС, которая подаёт воду из Волгоградского вдхр. по подводящему каналу к стационарной НС 2-го подъёма	регулярное
Заволжская (3)	~13	Головной водозабор состоит из плавучей НС РН 6×1250, которая забирает воду из Волгоградского вдхр. у пос. Очкуровка и подаёт воду по магистральному и распределительным каналам к подкачивающим НС	регулярное
Палласовская (4)	11,5	Водозабор осуществляется из залива Волгоградского вдхр. головной НС №1 «Влага-1» и «Влага-5» и подаёт воду в магистральный канал, далее вода перекачивается стационарной НС 2-го подъёма №2 и НС №4 и №6, и распределяется по системе каналов и водохранилищ	регулярное
Ленинская (5)	9,2	Водозабор осуществляется из Волгоградского вдхр. в Тажинскую, а затем в Ленинскую ООС	5,0 тыс. га регулярного и 4,2 тыс. га лиманного орошения
Тажинская (5)	6,5	Водозабор осуществляется из Волгоградского вдхр. в Тажинскую, а затем в Ленинскую ООС	2,9 тыс. га регулярного и 3,6 тыс. га лиманного орошения

Таблица 1.4 – Продолжение таблицы 1.3

ОС и ООС (поз. на рис. 1.2)	Площадь орошения, тыс. га	Водозабор	Тип орошения
Средне- ахтубинская (6)	9,8	Водозабор осуществляется из Волгоградское вдхр., головной водозабор расположен у пос. Верхнепогромное	5,6 тыс. га регулярного и 4,2 тыс. га лиманного орошения
Красно- слободский и Каширский тракты (7)	5,7	Водные тракты являются источником обводнения и орошения Волго-Ахтубинской поймы. Забор воды осуществляется из р. Волга. Головной водозабор состоит из 2-х плавучих НС типа РН 6×320	регулярное
Райгородская (8)	~6	Источник орошения Волго-Ахтубинской поймы	регулярное
Городищенская (9)	20,6	ОС расположена на правом берегу р. Волги с водозабором из Волгоградского вдхр. в районе пос. Ерзовка	регулярное
Варваровская (10)	4,6	Источником водоснабжения является ВДСК им. Ленина. Головной водозабор находится в пос. Пархоменко на 2635 км ВДСК	регулярное
Калачёвская (11)	7,1	Головной водозабор состоит из плавучей НС «Влага-1», которая подаёт воду в магистральный канал из Цимлянского вдхр.	регулярное
Ильмень- Суворовская (12)	0,7	Головной водозабор состоял из плавучей НС «Поток-5» с водозабором из Цимлянского вдхр. (в н.в. не действует)	регулярное
Котельниковская (13)	2,7	Головной водозабор расположен на берегу Волгоградского вдхр. и состоит из плавучей НС	регулярное
Иловатская (14)	0,2	Головной водозабор состоит из плавучей НС, которая установлена на Волгоградском вдхр. (в н.в. не действует)	регулярное
Оленьевская (15)	2,7	Головной водозабор расположен на берегу Волгоградского вдхр. и состоит из плавучей НС	регулярное
Локальные участки орошения (16)	3,9	-	регулярное
Генераловская (17)	4,9	Головной водозабор состоит из стационарной 4-х агрегатной НС, которая расположена на берегу Цимлянского вдхр.	регулярное

Таблица 1.5 – Характеристика орошаемых земель по УГВ

ОС и ООС	Общая площадь, тыс. га	Ранжирование по УГВ, м					
		< 1	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-3,0	3,0-5,0	> 5
Большая Волгоградская	15,978	-	-	-	3,457	8,501	4,02
Волго-Ахтубинская	1,626	-	-	-	-	1,626	-
Волго-Донская	4,614	-	-	-	-	0,058	4,556
Генераловская	4,87	-	-	-	-	0,08	4,79
Городищенская	20,587	-	0,03	0,047	0,098	0,054	20,358
Заволжская	12,907	-	-	-	1,11	1,954	9,843
Иловатская	0,168	-	-	-	-	-	0,168
Калачевская	7,131	-	-	-	-	-	7,131
Кисловская	7,483	-	-	-	0,108	0,781	6,594
Котельниковская	1,791	-	-	-	-	0,05	1,741
Ленинская	5,04	-	-	-	-	0,813	4,227
Оленьевская	2,68	-	-	-	-	-	2,68
Палласовская	11,596	-	-	0,324	0,274	3,984	7,014
Светлоярская	5,889	-	-	-	-	0,041	5,848
Среднеахтубинская	2,672	-	-	-	-	2,449	0,223
Тажинская	2,926	-	-	-	0,205	2,394	0,327
Иловлинский участок	3,9	-	-	-	-	-	3,9
Инициативное орошение	66,982	-	-	-	4,11	9,24	53,632
Всего	178,84	-	0,03	0,371	9,362	32,025	137,052

Таблица 1.6 – Характеристика орошаемых земель по солонцеватости

ОС и ООС	Ранжирование по солонцеватости, тыс. га		
	несолонцеватые	слабосолонцеватые	средне- и сильно-солонцеватые
Большая Волгоградская	14,136	1,154	0,688
Волго-Ахтубинская	1,626	-	-
Волго-Донская	4,473	0,092	0,049
Генераловская	2,935	0,724	1,211
Городищенская	12,34	5,103	3,144
Заволжская	10,888	1,717	0,302
Иловатская	0,168	-	-
Калачевская	2,231	1,0	3,900
Кисловская	6,597	0,599	0,287
Котельниковская	1,791	-	-
Ленинская	5,04	-	-
Оленьевская	2,68	-	-
Палласовская	3,505	4,382	3,709
Светлоярская	2,516	0,908	2,465
Среднеахтубинская	2,07	0,090	0,512
Тажинская	2,689	0,137	0,1
Иловлинский участок	3,9	-	-
Инициативное орошение	58,521	4,906	3,555
Всего	138,106	20,812	19,922

Таблица 1.7 – Характеристика орошаемых земель по засолённости

ОС и ООС	Ранжирование по засолённости в слое 0,00-1,00 м, тыс. га						
	незасолённые	слабо засолённые		средне-засолённые		сильно засолённые и солончаки	
		П	В	П	В	П	В
Большая Волгоградская	15,828	0,102	-	0,045	0,003	-	-
Волго-Ахтубинская	1,626	-	-	-	-	-	-
Волго-Донская	4,341	-	0,273	-	-	-	-
Генераловская	4,775	0,095	-	-	-	-	-
Городищенская	17,579	2,482	-	0,441	-	0,085	-
Заволжская	12,677	0,23	-	-	-	-	-
Иловатская	0,168	-	-	-	-	-	-
Калачёвская	6,933	0,065	-	0,133	-	-	-
Кисловская	7,469	-	-	-	-	0,014	-
Котельниковская	1,791	-	-	-	-	-	-
Ленинская	4,018	0,442	-	0,203	-	0,377	-
Оленьевская	2,680	-	-	-	-	-	-
Палласовская	8,912	1,514	0,483	0,047	0,383	-	0,257
Светлоярская	4,271	0,320	0,929	0,190	0,147	0,032	-
Среднеахтубинская	2,634	0,038	-	-	-	-	-
Тажинская	2,912	0,014	-	-	-	-	-
Иловлинский участок	3,900	-	-	-	-	-	-
Инициативное орошение	62,793	3,185	-	1,004	-	-	-
Всего	165,307	8,487	1,685	2,063	0,533	0,508	0,257

Таблица 1.8 – Оценка орошаемых земель по УГВ и засолению

ОС и ООС	Ранжирование по УГВ и засолению, тыс. га							
	хор.	удов.	неудовлетворительное					
			всего	из них		в том числе		
				ПС	ПЗ	НГ УГВ	З	НГ УГВ и З
Большая Волгоградская	14,088	1,154	0,736	0,688	0,045	-	0,736	-
Волго-Ахтубинская	1,626	-	-	-	-	-	-	-
Волго-Донская	4,200	0,365	0,049	0,049	-	-	0,049	-
Генераловская	2,855	0,804	1,211	1,211	-	-	1,211	-
Городищенская	10,834	6,079	3,674	3,144	0,453	0,077	3,597	-
Заволжская	10,688	1,917	0,302	0,302	-	-	0,302	-
Иловатская	0,168	-	-	-	-	-	-	-
Калачёвская	2,196	1,035	3,900	3,900	-	-	3,900	-
Кисловская	6,583	0,599	0,301	0,287	0,014	-	0,301	-
Котельниковская	1,791	-	-	-	-	-	-	-
Ленинская	4,018	0,442	0,580	-	0,580	-	0,580	-
Оленьевская	2,680	-	-	-	-	-	-	-
Палласовская	2,254	4,886	4,456	3,709	-	0,375	4,072	0,009
Светлоярская	2,048	1,203	2,638	2,465	0,076	-	2,638	-
Среднеахтубинская	2,032	0,128	0,512	0,512	-	-	0,512	-
Тажинская	2,675	0,151	0,100	0,100	-	-	0,100	-
Иловлинский участок	3,900	-	-	-	-	-	-	-
Инициативное орошение	58,919	3,504	4,559	3,555	1,004	-	4,559	-
Всего	133,555	22,267	23,018	19,922	2,172	0,452	22,557	0,009

Таблица 1.9 – Оценка орошаемых земель по минерализации грунтовых вод и оросительной воды, тыс. га

По минерализации грунтовых вод, г/л		По минерализации оросительной воды, г/л	
< 1,0	64,117	< 1,0	170,593
1,0-3,0	55,418	1,0-3,0	8,27
> 3,0	59,305	> 3,0	-

3) в «неудовлетворительном» состоянии находится почти 15% всех поливных земель; относительно систем орошения наибольшее количество таких земель в зоне действия Калачёвской ОС – 54,7%, Райгородской ООС – 44,8%, Палласовской ООС – 38,4% и Городищенской ОС – 17,8%;

4) «хорошее» и «удовлетворительное» состояние поливных земель сохраняется на Волго-Ахтубинской, Иловатской и Котельниковской ОС.

1.3 Анализ обеспеченности региона ресурсами пресной воды для развития оросительно-обводнительных мероприятий

Поверхностные водные объекты. Волгоградская область располагает достаточным количеством водных объектов с выгодным географическим положением: магистральная водная артерия области, р. Волга, протекает с севера на юг в восточной части региона, формируя естественную границу с правобережными районами, пересекая крупные населённые пункты Камышин, Волжский, Волгоград; р. Дон пересекает западную часть области с границы Воронежской области к югу через города Серафимович, Калач-на-Дону, а в южной части соединяется с Волгой через Волго-Донской судоходный канал им. В.И. Ленина.

В области протекают около двухсот рек, различающихся по размеру и протяжённости. Данные водотоки принадлежат к двум крупнейшим морским бассейнам – Азовскому и Каспийскому, а также участвуют в формировании водных систем замкнутого характера, такие как бессточные Прикаспийский и Сарпинский бассейны. Общая протяжённость всех рек региона достигает 7 981 километра, из них девять – более 200 километров. Речное питание в подавляющем большинстве случаев обеспечивается атмосферными

осадками, на которые приходится от 80% до 90% годового водного стока с подпитыванием подземных вод².

В Дон впадают несколько притоков, насчитывающих 165 рек, включая Хопёр, Медведицу, Иловлю, Чир, Донскую Царицу, Мышкову, Аксай и Курмоярский Аксай, что составляет значительную часть речной сети. В бассейн Волги впадает 30 рек в границах Волгоградской области. Дон и Волга характеризуются благоприятными водными режимами с ярко выраженной сезонностью из-за природных особенностей юга Восточно-Европейской равнины; обладают насыщенно увлажнённой территорией с множеством притоков, которые значительно расширяют водосборную территорию, а также имеют повышенный сток в половодье. Приведённая характеристика объектов указывает на возможность эффективного круглогодичного использования ресурсов в сельском хозяйстве³.

Сарпинская оросительно-обводнительная система, питающаяся водами р. Волги, функционирует в рамках федеральной программы мелиорации, через магистральные каналы Р-1 и Р-3 обеспечивает водой порядка 130 тыс. га рисовых полей в южной части области.

В регионе находятся два крупных водохранилища, играющие ключевую роль в промышленности – Волгоградское и Цимлянское. В дополнение к ним с меньшими по объёму резервуарами функционируют Варваровское, Береславское и Карповское водохранилища.

Саратовский оросительно-обводнительный канал имени Е.Е. Алексеева обеспечивает подачу волжской воды для орошения и обводнения сельхозугодий не только в Саратовской области, но также в Волгоградской области и Республике Казахстан.

Волго-Ахтубинская пойма является одним из водных объектов, потенциально благоприятным для использования в хозяйственной

² Доклад «О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2023 году» / Е.П. Православнова [и др.]; Комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области. Иркутск: ООО «Медиамир», 2024. 300 с.

³ Доклад «О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2024 году» / Ред. колл.: Е.П. Православнова [и др.]; Комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области. Волгоград: «ТЕМПORA», 2025. 51-68 с.

деятельности для оросительно-обводнительных мероприятий пойменных земель. Пойма располагается на территории не только Волгоградской области, но и входит в состав субъектов Астраханской области и Республики Калмыкия. Анализ территории пойменных земель р. Ахтуба с применением ГИС-технологий показал, что земли в пределах 500 метров относительно источника являются благоприятными по расположению и почвенно-экологическому состоянию для ведения орошаемого земледелия [22, 24]. Данные участки обладают плодородными аллювиальными почвами, способными к насыщению влагой во время весенних паводков⁴.

Цимлянское водохранилище представляет собой котловину, наполненную пресной водой с тремя расширениями, переходящими в реки Аксай Курмоярский, Цимла и Чир. Водохранилище является одним из приоритетных источников орошения Волгоградской области: в 1,3 км юго-восточнее станицы Нагавская на левом берегу Нагавского залива размещён водозабор Котельниковской ООС; в 1,5 км северо-восточнее хутора Песковатка находится плавучая насосная станция «Влага-1» Калачёвской ОС. Из водохранилища вода также подаётся и в Донской магистральный канал с головным водозабором 250 м³, к которому приурочены некоторые оросительные системы Ростовской области⁵.

Одним из факторов, оказывающих влияние на выбор источника орошения сельскохозяйственных культур, является качество оросительной воды. Согласно научной и агрохимической практике, качественные показатели (физико-химические, токсикологические, биологические) воды учитываются при оценке её пригодности для использования в оросительных и обводнительных мероприятиях, что обусловлено воздействием на растения и почвы. Вода с недопустимым содержанием патогенов, тяжёлых металлов, высокой минерализацией, ионным составом, рН при долгосрочном

⁴ Мелиоративный комплекс Российской Федерации: информационное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 304 с.

⁵ Приказ Федерального агентства водных ресурсов от 2 июня 2016 г. № 114 «Об утверждении Правил использования водных ресурсов Цимлянского водохранилища».

воздействии может спровоцировать необратимую деградацию земель.

Показатели оценки пригодности воды для обеспечения полива при возделывании сельскохозяйственных культур по регламентирующим данным ФАО ООН (FAO)⁶, Россельхознадзора, ГОСТ 17.1.2.03-90⁷, СанПиН 2.1.3684-21⁸, а также ГОСТ Р 58556-2019⁹ приведены в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Показатели качества оросительной воды

Показатель	Единицы измерения	Оптимальное значение	Условно пригодные	Непригодные
Минерализация (TDS)	г/л	< 1	1-2	> 2
Индекс натриевой адсорбции (SAR)	-	< 10	10-18	> 18
рН воды	-	6,0-8,4	5,5-6,0 / 8,4-9,0	< 5,5 или > 9,0
Хлориды (Cl ⁻)	мг/л	< 140	140-350	> 350
Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	мг/л	< 250	250-500	> 500
Бикарбонаты (HCO ₃ ⁻)	мг/л	< 90	90-180	> 180
Кальций + Магний (Ca ²⁺ +Mg ²⁺)	мг-экв/л	1-5	5-10	> 10
Натрий (Na ⁺)	мг/л	< 60	60-120	> 120
Нитраты (NO ₃ ⁻)	мг/л	< 45	45-90	> 90
Железо общее (Fe)	мг/л	< 0,3	0,3-1,0	> 1,0
Кадмий (Cd)	мг/л	< 0,01	0,01-0,05	> 0,05
Медь (Cu)	мг/л	< 0,2	0,2-0,5	> 0,5
Свинец (Pb)	мг/л	< 0,1	0,1-0,3	> 0,3
Содержание бактерий	КОЕ/100 мл	< 100	100-1000	> 1000

В таблице 1.9 приведена комплексная характеристика качества воды основных водоёмов Волгоградской области за период с 2020 по 2024 гг. Здесь в числителе удельный комбинаторный индекс загрязнённости воды (УКИЗВ), а в знаменателе класс и разряд. Данная оценка включает такие показатели как: цветность, запах, рН, CO₂, O₂, H₂S, Mg, Cl⁻, SO₄²⁻, жёсткость, HCO₃⁻, Ca²⁺, биохроматная окисляемость, БПК₅, NO₂⁻, NH₄⁺, NO₃⁻, PO₄³⁻, азот общий, SiO₂, Fe, Cu²⁺, Zn²⁺, Hg²⁺, фенолы, F⁻, нефтепродукты, альфа-ГХЦГ, гамма-ГХЦГ, Na+K.

⁶ Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций – Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Режим доступа: <https://www.fao.org/> (дата обращения: 15.07.2026).

⁷ ГОСТ 17.1.2.03-90 «Охрана природы. Гидросфера. Критерии и показатели качества воды для орошения».

⁸ СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».

⁹ ГОСТ Р 58556-2019 «Оценка качества воды водных объектов с экологических позиций».

Таблица 1.9 – Качество воды основных водоисточников

Год	р. Волга				Волгоград. вдхр.			р. Ахтуба	Цимлянск. вдхр.
	0,5 км ↓	20,8 км ↓	7,1 км ↓	64,9 км ↓	2,5 км ↑	*3,0 км ↓	*1,5 км ↓	0,9 км ↓ пос. Солодовка	х. Красно- ярский
2020	2,97/ 3А	3,32/ 3Б	3,25/ 3Б	2,90/ 3А	3,10/ 3Б	2,71/ 3А	2,78/ 3А	3,49/ 3Б	4,16/ 4А
2021	2,51/ 3А	2,89/ 3А	2,83/ 3А	2,59/ 3А	2,63/ 3А	2,71/ 3А	2,04/ 3А	3,19/ 3Б	4,52/ 4А
2022	3,04/ 3Б	3,34/ 3Б	3,17/ 3Б	2,92/ 3А	2,98/ 3А	2,63/ 3А	2,79/ 3А	3,01/ 3Б	4,05/ 4А
2023	2,97/ 3А	3,02/ 3Б	3,53/ 3Б	3,08/ 3Б	3,36/ 3Б	2,57/ 3А	2,47/ 3А	2,24/ 3А	4,68/ 4А
2024	2,43/ 3А	2,81/ 3А	3,17/ 3Б	2,68/ 3А	2,81/ 3А	2,43/ 3А	2,09/ 3А	1,92/ 2	4,66/ 4А

Примечание: ↓ – ниже, ↑ – выше, * – относительно Камышина,
в неуказанных графах – относительно ГЭС

УКИЗВ позволяет оценить долю загрязняющих веществ, содержащихся в воде, значение индекса варьируется в пределах от 1 до 16 (от чистой к грязной). По УКИЗВ вода распределяется по классам: 1 – условно чистая; 2 – слабозагрязненная; 3 – загрязненная с разрядами А (загрязненная) и Б (очень загрязненная); 4 – грязная и очень грязная с разрядами А, Б, В, Г; 5 – экстремально грязная). В таблице 1.10 приведены разряды пригодности воды для орошения сельскохозяйственных культур, учитывающие TDS и SAR, определяющие риск осолонцевания почвы [28, 88].

Таблица 1.10 – Разряды пригодности воды для орошения культур

Разряд	Характеристика	Условия использования
I	Хорошее качество, TDS < 1 г/л, SAR < 10	Подходит для любых типов почв и культур, не вызывает засоления
II	Удовлетворительное качество, TDS = 1-2 г/л	Ограниченного применения, контроль за солевым балансом почвы
III	Ограниченно пригодная, TDS = 2-3 г/л	Ограниченного применения, солестойкие культуры на дренированных почвах
IV	Непригодная, TDS > 3 г/л или SAR > 18	Не рекомендуется использовать, может привести к деградации почвы

Пригодной для полива растений считается вода 1 и 2 разрядов, её применение гарантировано не приводит к засолению, повышению щёлочности и накоплению токсичных веществ в почве. В соответствии с

динамикой изменения качества воды в водоёмах Волгоградской области в настоящее время оптимальным водоисточником для оросительных мелиораций является р. Ахтуба, воды которой характеризуются 2 разрядом.

Подземные воды. Немаловажным источником водоснабжения населения и хозяйственной деятельности региона, особенно в районах, где отсутствуют поверхностные водоёмы, являются подземные воды. При дефиците воды именно подземные водоносные горизонты обеспечивают функционирование коммунальной инфраструктуры, аграрного сектора и отдельных промышленных объектов. Уровень доступности и качество этой воды напрямую зависят от геологических условий, рельефной структуры местности и климатических факторов.

Территория Волгоградской области охватывает участки пяти артезианских бассейнов второго порядка, каждый из которых имеет собственную структуру и водный потенциал. На северо-западе находится Приволжско-Хопёрский бассейн, на востоке – Северо-Каспийский, юго-запад региона входит в зону Днепровско-Донецкого бассейна, на севере Заволжья расположен Сыртовский, а южные территории включают Ергенинский бассейн. Эти бассейны представляют собой сложные гидрогеологические системы, объединяющие многочисленные водоносные горизонты различного возраста, состава и степени минерализации [8].

К числу основных водоносных комплексов относятся: четвертичный-хазарский, хазарско-хвалынский (на левобережье Волги), аллювиальные, неогеновые и палеогеновые отложения, а также более глубокие пласты палеогена, альб-сеномана, сеномана, нижнего мела, каменноугольной и девонской систем, распространённые на правом берегу. Эти водоносные горизонты формируют ресурсы как пресных, так и минерализованных вод, определяя направления их хозяйственного использования.

Приволжско-Хопёрский бассейн охватывает северо-западную часть области и занимает площадь порядка 57,4 тыс. км². Его границы проходят по правобережным районам р. Волги, Дона ВДСК им. Ленина. Подземные воды

в пределах этого бассейна активно применяют и для питьевого водоснабжения, и в промышленных целях.

Северо-Каспийский бассейн протягивается вдоль восточной части области, в пределах Прикаспийской низменности. Его западная граница очерчена руслом Волги, а южнее Волгограда она смещается к восточному склону Ергеней. Главной геологической структурой бассейна выступает Прикаспийская синеклиза – обширная осадочная впадина, в пределах которой преобладают минерализованные воды, ограничивающие возможности прямого применения без опреснения.

Днепровско-Донецкий бассейн охватывает территории, примыкающие к бассейну р. Дон и Цимлянскому водохранилищу. Наличие проницаемых пород и сильно расчленённый рельеф способствуют активному инфильтрационному питанию водоносных горизонтов, особенно в пределах неогеновых и палеогеновых отложений. В нижележащих слоях, изолированных водоупорными толщами, формируются минерализованные воды с ограниченным водообменом.

Сыртовский бассейн, расположенный на северо-востоке области, граничит с уступами Прикаспийской синеклизы, что придаёт ему относительную изолированность. Эти тектонические особенности обуславливают специфический характер циркуляции подземных вод и ограничивают водообмен с соседними бассейнами.

Ергенинский бассейн охватывает южную часть Волгоградской области, включая территорию к югу от Котельниково. Он выделяется благодаря широкому распространению специфических ергенинских отложений. Ключевая его особенность заключается в полной разобщённости водоносных горизонтов неогенового и четвертичного возраста, между которыми залегает мощный глинистый слой майкопской свиты, выполняющий роль эффективного водоупора и препятствующий вертикальному переносу вод.

На рисунке 1.3 представлена схема гидрогеологического районирования Волгоградской области: бассейны подземных вод II и III

порядка, с пояснениями в таблице 1.11.



Рисунок 1.3 – Схема гидрогеологического районирования

Таблица 1.11 – Пояснения к рисунку 1.3¹⁰

Бассейны подземных вод II порядка (подпровинции)	Бассейны подземных вод III порядка (области)
I-1Г – Ергенинский	I-1Г-1 – Сальско-Манычский
III-3Б – Приволжско-Хоперский	III-3Б-1 – Калачинско-Медведицкий III-3Б-2 – Окско-Донской III-3Б-3 – Восточно-Донской III-3Б-4 – Арчединско-Донской
III-3В – Сыртовский	III-3В-3 – Западно-Сыртовский
III-4В – Днепровско-Донецкий	III-4В-1 – Южно-Средне-Русский III-4В-4 – Цимлянский
III-8А – Северо-Каспийский	III-8А-1 – Нижневолжский III-8А-2 – Рын-Песковский III-8А-3 – Северо-Прикаспийский

¹⁰ Доклад «О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2024 году» / Ред. колл.: Е.П. Православнова [и др.]; Комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области. Волгоград: «ТЕМПORA», 2025. 51-68 с.

1.4 Подходы к оценке и моделированию прогнозов природной тепло- и влагообеспеченности для агроклиматического районирования сельскохозяйственных земель

С целью рационального использования ресурсов в аграрном секторе и обеспечения устойчивого сельского хозяйства на этапе организационных мероприятий сельскохозяйственного производства осуществляется процесс определения на уровне региона однородных по климатическим условиям зон (областей, провинций) – агроклиматическое районирование. Это система основана на оценке природных условий территории по показателям теплового и водного режимов. Данная классификация направлена на формирование рекомендаций по размещению культур в составе севооборотов, применению адаптивных агротехнологий, обоснованию строительства оросительных и обводнительных мелиоративных систем, реализации других агротехнических и агромелиоративных мероприятий [45].

Для условий рискованного земледелия, а территория Волгоградской области с резко континентальным климатом относится к таковой, агроклиматическое районирование, также позволяет, что важно, учитывать динамику погодных рисков, прогнозировать изменения границ производства и актуализировать стратегии адаптации сельского хозяйства [7, 50].

Классическим подходом при агроклиматическом районировании является расчёт суммы активных температур более 10 °С за вегетационный период (САТ). Влагообеспеченность территории оценивается по количеству осадков, коэффициенту увлажнения и испаряемости. Для Волгоградской области показатель САТ может превышать 3600 °С, что указывает на высокий тепловой потенциал, а водный баланс отрицательный из-за значительного превышения испаряемости над количеством осадков. По совокупности природных факторов таких, как климат, почвы, рельеф в исследуемом регионе выделяют пять зон: степная чернозёмных почв; сухостепная тёмно-каштановых почв; сухостепная каштановых почв;

левобережная подзона сухостепной зоны каштановых почв; полупустынная светло-каштановых почв [6, 38, 61].

При осуществлении пространственного анализа тепло- и влагообеспеченности применяются геостатистические методы интерполяции, включая кригинг, сплайн-интерполяцию, инверсную взвешенную интерполяцию (IDW). На основе полученных многолетних данных с метеостанций формируются тепловые карты, позволяющие выделить однородные по теплообеспеченности зоны с пространственным отображением [103, 105].

Одним из подходов к оценке влагообеспеченности территории сельскохозяйственных земель является метод Г.Т. Селянинова, основанный на расчёте гидротермического коэффициента увлажнения (ГТК) [61, 135]:

$$\text{ГТК} = \frac{\sum P \cdot 10}{\sum t}, \quad (1.1)$$

где $\sum P$ – сумма осадков за период с температурами больше $+10^\circ\text{C}$, мм;

$\sum t$ – сумма температур воздуха за тот же период, $^\circ\text{C}$.

По ГТК выделяют зоны избыточного увлажнения ($\text{ГТК} > 1,3$), обеспеченного увлажнения ($1,0-1,3$), засушливую ($0,7-1,0$), сухого земледелия ($0,5-0,7$), ирригации ($\text{ГТК} < 0,5$). Важным недостатком методики расчёта ГТК является отсутствие учёта испаряемости и иных факторов, влияющих на влагообеспеченность сельскохозяйственных районов [79, 128].

Метод, предложенный М.И. Будыко [19], основывается на взаимосвязи между температурой воздуха, осадками и испарением, и позволяет рассчитывать индекс сухости (радиационный индекс сухости):

$$\text{РИС} = \frac{R}{L \cdot \sum P}, \quad (1.2)$$

где R – годовой радиационный баланс, $\text{ккал}/\text{см}^2$;

L – скрытая теплота испарения, $\text{ккал}/\text{см}^2$;

$\sum P$ – сумма осадков за год, мм.

Д.И. Шашко для оценки продуктивности культур с учётом

многолетних метеоданных разработал параметр биоклиматического потенциала (БКП), который представляет произведение двух коэффициентов – термического и влажностного. Первый является соотношением сумм активных температур выше 10 °С к базовой сумме температур. Второй – эмпирическая логарифмически-параболическая зависимость, где в качестве исходного фактора используется частное годовых сумм дефицита влажности воздуха к количеству осадков [59, 66].

$$\text{БКП} = K_p \frac{\sum t > 10^\circ\text{C}}{1000^\circ\text{C}}, \quad (1.3)$$

где K_p – коэффициент влагообеспеченности растений;

$\sum t > 10^\circ\text{C}$ – сумма температур воздуха выше 10 °С;

1000 °С – сумма температур вблизи северной границы зоны полевого земледелия выше 10 °С.

Расчётную модель по Д.И. Шашко можно модифицировать для проведения сравнительного анализа агроклиматических условий различных регионов, меняя базовые суммы температур и коэффициенты пропорциональности в уравнении влажностного коэффициента роста. Из недостатков следует выделить отсутствие учёта отдельных характеристик, влияющих на развитие сельскохозяйственных культур [135].

Мировой опыт предлагает такие методы, как: Пенмана-Монтейта – находит широкое применение при расчёте испаряемости и оценке потребности в поливе сельскохозяйственных культур; Индекса засухи Палмера (PDSI) – применяется для мониторинга засушливых районов и изучения масштабов засух; Торнтвейта (Thornthwaite) – используется для определения потенциальной эвапотранспирации, как функции температуры воздуха, для расчёта необходимы данные среднемесячной температуры воздуха и среднего значения светового дня для каждого месяца.

Уравнение эталонной эвапотранспирации (Пенмана-Монтейта) имеет вид:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0,34u_2)}, \quad (1.4)$$

где ET_0 – эталонная эвапотранспирация, мм/сут.;

R_n – чистая радиация на поверхности растений, МДж/м²/сут.;

G – плотность теплового потока почвы, МДж/м²/сут.;

T – среднесуточная температура воздуха на высоте 2 м, °C;

u_2 – скорость ветра на высоте 2 м, м/с;

e_s – давление пара насыщения, кПа;

e_a – фактическое давление, кПа;

$(e_s - e_a)$ – дефицит давления пара насыщения, кПа;

Δ – уклон кривой давления пара, кПа/°C;

γ – психрометрическая постоянная, кПа/°C.

Индекс засухи Палмера (PDSI)¹¹ рассчитывается по формуле:

$$PDSI_i = 0,897 \cdot PDSI_{i-1} + \frac{Z_i}{3}, \quad (1.5)$$

где i – порядковый номер месяца

Z – индекс аномалии влажности Палмера:

$$Z = Kd, \quad (1.6)$$

где K – весовой климатический показатель;

d – параметр, равный разности между значениями сумм атмосферных осадков и уравнением водного баланса.

PDSI – стандартизированный индекс, в диапазоне от –10 до +10, указывающий на засушливые условия территории при отрицательном значении, и – влажные условия – с положительными значениями.

В зарубежной практике, в странах Центральной Азии, Ближнего Востока, а также Африки, для расчёта режимов орошения с учётом специфики регионального климата, почв и сельскохозяйственной практики применяют «калькуляторы ФАО» («калькуляторы ET_0 ») [139, 163, 165],

¹¹ Индекс интенсивности засухи Палмера (PDSI) / Руководство по климатическим данным». climatedataguide.ucar.edu.

разработанные на основе уравнения Пенмана-Монтейта ¹².

Для расчёта водопотребности культур и доступности водных ресурсов при различных агроклиматических условиях используется программа CROPWAT (Crop Water Assessment Tools) [149, 162].

Сбор, хранение и предоставления метеоинформации осуществляется с применением базы данных WaPOR (Water Productivity through Open access of Remotely sensed derived data), которая позволяет агрономам осуществлять мониторинг сельскохозяйственных полей и учёт водных ресурсов по спутниковой информации [86, 162, 168].

Среди отечественных методов для оценки влагообеспеченности территории и планирования сельскохозяйственной деятельности широко распространён расчёт коэффициента увлажнения по Н.В. Данильченко:

$$K_y = \frac{W_a + P_v}{E_0}, \quad (1.7)$$

где P_v – осадки за тёплый период года ($+5\text{ }^{\circ}\text{C}$), мм;

W_a – запасы активной почвенной влаги, мм;

E_0 – испаряемость, мм.

K_y показывает территории с избыточным ($K_y > 1$) увлажнением, с оптимальным ($K_y = 1$) и недостаточным ($K_y < 1$) увлажнением. В данной модели учитываются не только осадки и испарение, но и иные факторы, влияющие на биоклиматический потенциал сельскохозяйственных районов. Подход позволяет проводить более глубокий анализ, адекватно учитывая специфику региона и климатические условия [59, 169].

Современные методы оценки тепло- и влагообеспеченности сельскохозяйственных земель представляют инструменты для оптимизации аграрного производства. Опираясь на методики отечественных практик и международный опыт, можно эффективно использовать природные ресурсы и обеспечить устойчивость сельского хозяйства. Стоит отметить, что для комплексного анализа агроклиматического потенциала наиболее

¹² Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединённых Наций – Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Режим доступа: <https://www.fao.org/> (дата обращения: 15.03.2026).

целесообразно использование методов Н.В. Данильченко (K_y) и Д.И. Шашко (БКП), они дают более детальную информацию для планирования структуры посевных площадей, выбора культур и расчёта потребности в оросительной воде [59, 191]. Однако и они имеют определённые сложности со сбором первичной информации. В частности, относительно расчёта $K_{ув}$ требуются эмпирические данные по биоклиматическим коэффициентам, которые варьируются в зависимости от природных и агротехнических условий конкретной зоны, долгосрочные наблюдения метеопараметров.

Для разрешения этих задач требуется организация соответствующих многолетних опытов, создание централизованных обновляемых баз данных с интеллектуальными инструментами автоматизированного сбора и анализа экспериментальной информации, разработка алгоритмов математических моделей для прогнозирования биоклиматических коэффициентов [36, 37].

Современные тенденции в изменении климата усиливают значимость точной оценки погодных ресурсов: перераспределение осадков, рост среднегодовых температур, увеличение частоты экстремальных погодных явлений, требуют обновления подходов к районированию. В этих условиях возрастает необходимость интеграции традиционных методов с современными моделями и технологиями – геоинформационными системами (ГИС), дистанционным зондированием Земли (ДЗЗ), климатическим моделированием и машинным обучением [73, 146, 165].

С целью построения агроклиматических прогнозов и зонирования территорий широко используются современные инструменты: ГИС-технологии (ArcGIS, QGIS, MapInfo) – для интеграции и визуализации пространственно-временной изменчивости агроклиматических условий [21, 113]; агроклиматические модели (DSSAT, AquaCrop, CropSyst) – для имитации развития культур с учётом тепловых и водных ресурсов; климатические сценарии CMIP6 (модели общей циркуляции атмосферы) – для долгосрочного прогнозирования изменений теплового и влажного режимов; модели водного баланса для оценки потребности в ирригации,

например AquaCrop – для прогноза урожайности при различных уровнях влагозапасов и расчёта норм полива для компенсации дефицита влаги [162, 164, 166].

Таким образом, агроклиматическое районирование на основе прогнозов позволяет обосновать перспективные зоны орошения и определить дифференцированные нормы водопотребления. При этом этапность проведения исследований с учётом выполненного обзора современного состояния проблемы представляется в виде схемы на рисунке 1.4.

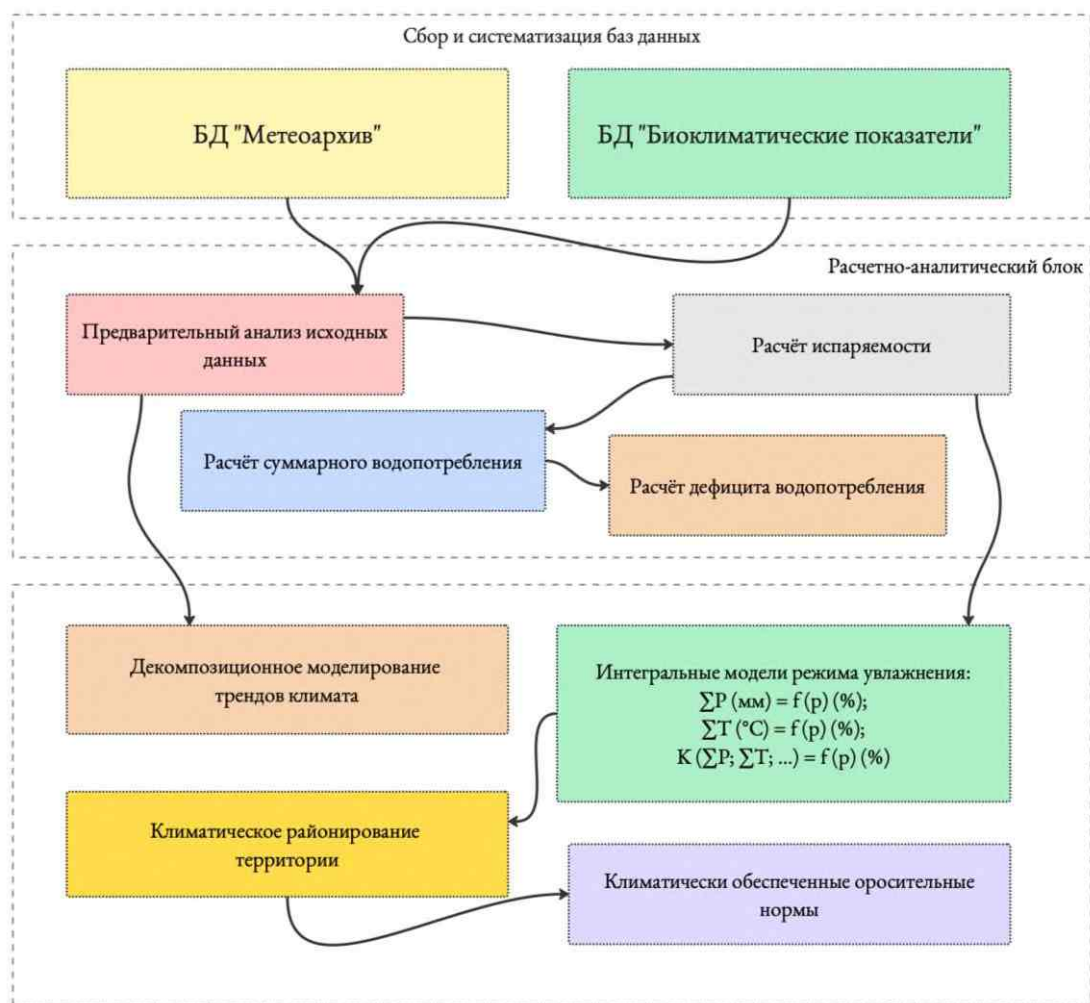


Рисунок 1.4 – Схема оценки и моделирования тепло- и влагообеспеченности для расчёта поливных норм

Выводы:

1. Южные регионы России, включая Волгоградскую область, всё в большей степени подвержены глобальным климатическим трансформациям,

которые ставят под угрозу устойчивость аграрного производства вследствие повышения среднесуточных температур воздуха, дефицита и непредсказуемости осадков, роста частоты экстремальных погодных явлений, сокращения водных ресурсов, ухудшения качества воды и потери биоразнообразия. Будучи климатически уязвимым, Волгоградская область одновременно является значимым регионом страны по реализации задач продовольственной безопасности. Сохранение устойчивости сельского хозяйства возможно за счёт внедрения адаптивных, научно обоснованных стратегий, технологической модернизации и межотраслевого взаимодействия с приоритетной поддержкой на государственном уровне, направленной на развитие и поддержание ирригационной инфраструктуры и систем земледелия.

2. Орошаемое земледелие является ключевым фактором кратного повышения урожайности и обеспечения стабильности сельскохозяйственного производства в условиях дефицита природного увлажнения. Согласно данным мелиоративного мониторинга, 75% орошаемых земель Волгоградской области характеризуются хорошим состоянием, тогда как 13% находятся в неудовлетворительном вследствие процессов вторичного засоления и осолонцевания. Наибольшая деградиционная нагрузка отмечена в пределах Калачёвской, Городищенской, Палласовской и Светлоярской оросительных систем. Поддержание высокого потенциала орошаемых территорий требует соблюдения требований мелиоративной эксплуатации, регулярного эколого-мелиоративного мониторинга и дифференцированного подхода к управлению ирригацией с учётом почвенно-гидрологических условий.

3. Ежегодный экологический мониторинг региона позволяет заключить, что водообеспечение сельского хозяйства наиболее эффективно реализуется на базе систем, использующих ресурсы р. Ахтубы, Волги и Цимлянского водохранилища. По почвенно-экологическим критериям более 70% пойменных земель вдоль Ахтубы пригодны для орошения. Согласно

результатам мониторинга 2020-2024 гг., лишь вода Ахтубы (2-й разряд) является условно пригодной для орошения. К основным угрозам относятся минерализация и высокие концентрации химических веществ, способные вызвать деградацию почв. Подземные воды приурочены к пяти артезианским бассейнам второго порядка с разнообразными литологическими и гидрогеологическими условиями; их использование целесообразно в зонах с ограниченным доступом к поверхностным водам, при этом значительная часть вод требует предварительного опреснения из-за высокой засоленности.

4. Высокая климатическая контрастность Волгоградской области обуславливает необходимость адаптивного подхода к водопотреблению и водообеспечению при долгосрочном планировании сельскохозяйственного производства, учитывающего ключевые факторы тепло- и влагообеспеченности.

Цель исследования – научное обоснование норм водопотребности зонально значимых групп сельскохозяйственных культур, обеспечивающих перспективное планирование водоподачи в орошаемом земледелии Волгоградской области на основе почвенно-климатического зонирования территории.

В соответствии с поставленной целью требуют решения следующие задачи исследования:

1. Провести анализ влияния факторов на формирование норм водопотребления и усовершенствовать систему регионально-адаптивного нормирования водопотребности сельскохозяйственных культур.

2. Разработать региональные информационно-аналитические базы данных агроклиматических ресурсов и биоклиматических коэффициентов водопотребления сельскохозяйственных культур.

3. Выполнить вероятностные оценки временных рядов гидротермических ресурсов сельскохозяйственных районов региона и определить актуальные тренды изменения тепло- и влагообеспеченности.

4. Провести почвенно-климатическое зонирование орошаемых земель

региона для обоснования норм водопотребности сельскохозяйственных культур.

5. Определить климатически обеспеченные дефициты водного баланса, получить модель и эмпирические коэффициенты водопотребления сельскохозяйственных культур.

6. Выполнить статистические оценки ожидаемых затрат оросительной воды для перспективного планирования водоподачи на региональном уровне.

7. Провести технико-экономическую оценку эффективности использования актуализированных норм водопотребности сельскохозяйственных культур.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ОРОШАЕМОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

2.1 Нормирование водопотребности для орошения, оценка эффективности взаимодействия водоподающих организаций и водопотребителей

В области гидромелиорации центральной задачей является рациональное использование водных ресурсов, имеющее научное обоснование в орошаемом земледелии. Рост антропогенной нагрузки и климатической изменчивости оказывает существенное влияние на гидросферу и способствует повышению дефицита пресных вод, поэтому проблема совершенствования нормирования системы водопотребления приобретает стратегическое значение [1, 84, 97].

Классическая система нормирования водопотребности строится на среднесезонных агрометеорологических данных, что не всегда отражает истинную изменчивость биологических особенностей сельскохозяйственных культур в определённых природных условиях [2, 3]. Недостаточная точность оценки состояния биоклиматических факторов агроценозов при расчётном методе водопотребности может приводить к:

- 1) перерасходу воды, что сказывается на повышении себестоимости продукции и усилении процессов деградации почвенного плодородия;
- 2) недополиву, что оказывает негативное влияние на урожайность и устойчивость агроценозов.

В связи с существующими условиями и последствиями возникает необходимость совершенствования системы нормирования водопотребления на основе современных научно обоснованных методических разработок и подходов, учитывающих экономико-экологические и агрономические аспекты в комплексе [89, 94, 99].

Эффективность функционирования системы нормирования водопользования в орошаемом земледелии во многом определяется не только

корректностью установления оросительных норм, но и качеством организационно-хозяйственных связей, складывающихся между поставщиками водных ресурсов и сельхозпроизводителями. Рациональное распределение и использование воды в процессе орошения возможно лишь при наличии скоординированного взаимодействия всех участников водохозяйственного комплекса [4, 5, 98].

В Волгоградской области обеспечение потребностей сельскохозяйственного производства в оросительной воде осуществляется преимущественно посредством государственных мелиоративных систем, эксплуатацию которых обеспечивает Федеральное государственное бюджетное учреждение «Управление мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения по Волгоградской области» (ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз»). Учреждение выполняет комплекс задач, связанных с поддержанием работоспособности объектов мелиоративной инфраструктуры, эксплуатацией гидротехнических сооружений и обеспечением бесперебойного функционирования систем водораспределения^{13,14}.

Существующая в регионе модель водообеспечения основана на централизованном управлении государственным мелиоративным фондом, в рамках которого ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз» выступает основным оператором водохозяйственной инфраструктуры. На учреждение возложены функции по содержанию и техническому обслуживанию магистральных и распределительных каналов, насосных станций, гидротехнических сооружений и средств измерения объёмов водопотребления. Одновременно организация обеспечивает правовое и

¹³ «Инструкция для заявителя / получателя услуг по организации недискриминационного доступа к инфраструктуре государственных мелиоративных систем и (или) отнесённых к государственной собственности отдельно расположенных гидротехнических сооружений, а также по организации оказания услуг по подаче воды» от 21.04.2025 № 434-01/1. ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз».

¹⁴ «Правила доступа к инфраструктуре государственных мелиоративных систем и (или) отнесённых к государственной собственности отдельно расположенных гидротехнических сооружений, а также организации оказания услуг по подаче воды сельскохозяйственным товаропроизводителям, другим юридическим лицам и гражданам». Распоряжение от 21.04.2025 № 25-р ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз».

организационное сопровождение отношений с водопользователями, включая заключение договоров на оказание услуг по подаче воды, контроль исполнения принятых обязательств и координацию процессов водораспределения в течение всего поливного периода¹⁵.

В соответствии с нормативными документами регионального уровня предоставление услуг по подаче оросительной воды осуществляется поэтапно (рис. 2.1).

Первоначальным этапом организации водоснабжения орошаемых земель является получение права доступа к государственной ОС или ООС. Реализация данной процедуры предполагает обращение потенциального водопользователя в эксплуатирующую организацию с заявлением, содержащим сведения о местоположении земельного участка, площади планируемого орошения, предполагаемых объёмах потребления воды и способе её отбора. На основании представленных данных осуществляется подготовка и выдача технических условий, необходимых для последующей разработки проекта мелиорации либо размещения водозаборного сооружения и средств учёта водных ресурсов.

Следующий этап связан с проектированием и согласованием технических решений, обеспечивающих подключение объекта к существующей мелиоративной инфраструктуре. После получения технических условий водопотребитель организует разработку проектной документации, которая подлежит рассмотрению в ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз». В ходе согласовательных процедур проводится комплексная оценка возможности обеспечения заявленного объёма водоподачи с учётом пропускной способности каналов, эксплуатационных режимов насосных станций, а также потенциального влияния подключения нового водопользователя на функционирование действующей системы

¹⁵ «Регламент оказания услуг по подаче (отводу) воды потребителям с использованием государственных мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений, находящихся в оперативном управлении ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз». Распоряжение врио директора ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз» Горитько Е.Ф. 11.02.2025 № 07-р.

водораспределения и интересы других потребителей.

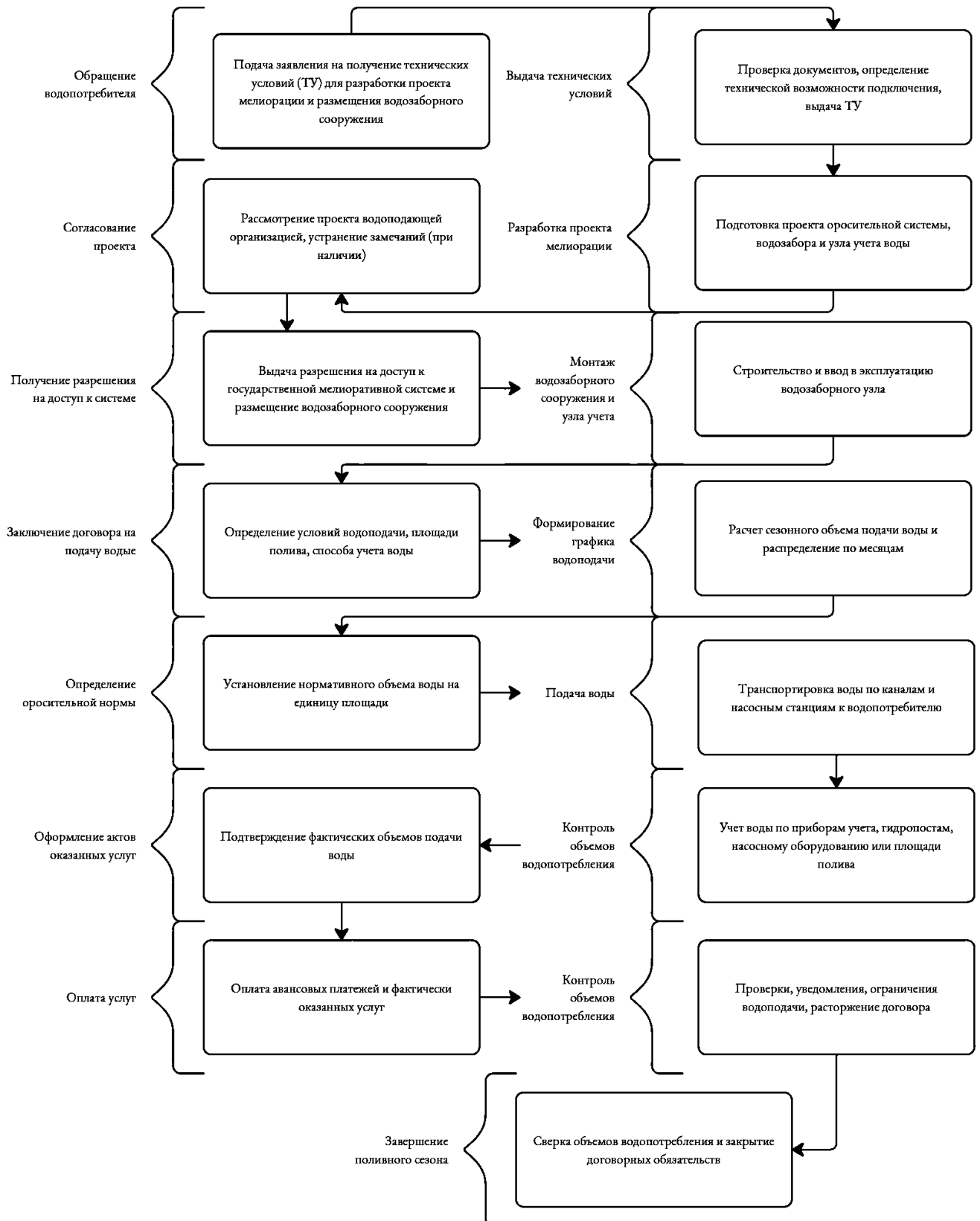


Рисунок 2.1 – Организационно-правовая схема предоставления услуг по подаче воды на государственных ОС и ООС Волгоградской области

После завершения проектно-согласовательных мероприятий осуществляется переход к договорному регулированию отношений между сторонами. Действующий порядок предусматривает предоставление услуг по подаче воды исключительно на основании заключённого договора, в котором закрепляются основные параметры водопользования. К числу таких параметров относятся площадь орошаемых земель, структура возделываемых сельскохозяйственных культур, применяемые способы учёта потребляемой воды, режим и график её подачи, расчётные объёмы водопотребления, а также условия финансового обеспечения оказываемых услуг.

Завершающим элементом рассматриваемой системы является контроль фактического использования водных ресурсов и определение объёмов оказанных услуг. Учёт поданной воды может осуществляться различными способами в зависимости от технического оснащения конкретной оросительной системы: на основании показаний приборов учёта, данных гидрометрических постов, характеристик работы насосного оборудования, либо расчётным методом с использованием сведений о площади поливаемых земель. Выбор подхода к определению фактического водопотребления обусловлен конструктивными особенностями гидромелиоративной сети и применяемой системой водораспределения. При этом наиболее совершенным способом контроля фактического водопользования является приборный учет.

Результаты проведённого анализа свидетельствуют о том, что система взаимодействия между ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз» и водопользователями имеет многоуровневую структуру управления, обеспечивающую координацию процессов водораспределения на различных организационных уровнях. Ключевые управленческие функции сосредоточены в центральном аппарате учреждения, который осуществляет разработку нормативно-методического обеспечения деятельности, определяет порядок предоставления услуг, формирует ценовую политику и координирует работу территориальных подразделений. Филиалы же выполняют задачи оперативного характера, непосредственно взаимодействуя

с сельхозпроизводителями, организуя договорные отношения, контролируя соблюдение установленных режимов водоподачи и обеспечивая бесперебойное функционирование объектов мелиоративного комплекса.

Важной особенностью действующей системы управления водными ресурсами является применение механизма регулируемого распределения воды в условиях ограниченной пропускной способности оросительной инфраструктуры. При возникновении вододефицита или технологических ограничений приоритет в обеспечении оросительной водой предоставляется сельхозпроизводителям, деятельность которых связана с реализацией государственных программ в области развития мелиорации земель и поддержки сельскохозяйственного производства. Подобный подход позволяет обеспечить выполнение стратегических задач агропромышленного комплекса и повысить эффективность использования имеющегося водохозяйственного потенциала региона.

При рассмотрении данного вопроса с точки зрения нормирования водопотребления важное значение имеет порядок осуществления расчётов объёмов подачи воды. В соответствии с Регламентом оказания услуг по подаче воды водопотребителям от 11.02.2025 года на практике применяются несколько способов учёта (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Схема способов определения объёмов оросительной воды

Одним из ключевых показателей, используемых при планировании водообеспечения сельскохозяйственных культур, является оросительная норма, величина которой определяется с учётом площади орошаемых земель, структуры посевов, биологических особенностей возделываемых культур, а также почвенно-климатических условий территории и технических характеристик применяемой оросительной сети. Вместе с тем фактическая потребность растений в воде в течение вегетационного периода не является постоянной и во многом зависит от складывающихся метеорологических условий. Вследствие этого реальные объёмы водопотребления могут существенно отклоняться от первоначально запланированных значений, что обуславливает необходимость оперативной корректировки режимов и графиков водоподачи на протяжении всего поливного сезона.

Изучение действующей нормативной и организационной документации позволяет сделать вывод о том, что регулирование водопользования в настоящее время преимущественно основывается на административных и договорных механизмах управления. В рамках данной модели водоподающая организация осуществляет систематический мониторинг выполнения условий заключённых договоров, контролирует своевременность расчётов за предоставленные услуги, а также соблюдение требований, предъявляемых к эксплуатации водозаборных сооружений и иных объектов мелиоративной инфраструктуры. При возникновении нарушений предусмотрен комплекс мер организационного воздействия, включающий уведомление водопользователя о выявленных несоответствиях, введение ограничений на подачу воды и, в исключительных случаях, прекращение договорных отношений в установленном порядке.

Действующая система организации водораспределения обладает рядом значимых преимуществ, среди которых следует выделить высокий уровень централизованного управления процессами водоподачи и возможность осуществления постоянного контроля за использованием водных ресурсов в пределах мелиоративных систем. Подобный подход способствует

поддержанию стабильного функционирования оросительной инфраструктуры, обеспечивает соблюдение установленных режимов водопользования и позволяет координировать деятельность большого числа сельскохозяйственных водопотребителей. Вместе с тем проведенный анализ свидетельствует о наличии ряда организационных и технологических ограничений, снижающих общую эффективность управления водными ресурсами. В частности, существующая модель недостаточно ориентирована на оперативное регулирование объемов водоподачи с учётом фактической потребности сельскохозяйственных культур в воде в течение вегетации.

Существенным сдерживающим фактором также остаётся недостаточный уровень цифровизации процессов учёта и передачи информации между участниками водохозяйственного комплекса, что ограничивает возможности своевременного принятия управленческих решений. Кроме того, планирование объемов водоподачи в значительной степени основывается на предварительно заявленных потребностях водопользователей, сформированных до начала поливного сезона, тогда как реальные условия возделывания культур и их водопотребность могут существенно изменяться из-за погодных факторов. Следует отметить и сравнительно низкую степень распространения автоматизированных средств мониторинга, позволяющих получать объективные данные о фактическом водопотреблении непосредственно на орошаемых массивах [92, 96].

В современных условиях возрастающего влияния климатических изменений на аграрное производство особое значение приобретает повышение эффективности использования оросительной воды как одного из ключевых факторов устойчивого развития сельского хозяйства Волгоградской области [84, 90]. В связи с этим региональная политика адаптации к изменению климата предусматривает реализацию мероприятий, направленных на совершенствование мелиоративного комплекса. В их числе модернизация существующих оросительных систем, реконструкция гидротехнических сооружений, внедрение технологий управления водными

ресурсами, а также развитие агролесомелиорации, способствующих снижению негативного воздействия засух и повышению устойчивости агроландшафтов к неблагоприятным природно-климатическим условиям¹⁶.

Проведенный анализ свидетельствует о том, что система водообеспечения орошаемых земель Волгоградской области представляет собой многофункциональную организационно-техническую структуру, в рамках которой объединены процессы управления водными ресурсами, эксплуатации объектов гидромелиоративного комплекса и взаимодействия с сельскохозяйственными водопользователями. Координирующая роль в данной системе принадлежит ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз», которое обеспечивает функционирование государственных мелиоративных систем, выполняя задачи единого оператора и организуя управление водораспределением на всех стадиях предоставления услуг по подаче оросительной воды (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Региональная система организации водообеспечения орошаемых земель

¹⁶ «Региональный план адаптации к изменениям климата Волгоградской области и материалы региональной климатической политики в сфере сельского хозяйства и мелиорации земель». Постановление Администрации Волгоградской области от 27.04.2022 № 248-п.

Эффективность действующей модели во многом определяется точностью прогнозирования потребности сельскохозяйственных культур в водных ресурсах, надёжностью учёта фактических объёмов водопотребления и уровнем информационного обмена между участниками водохозяйственной деятельности. В условиях возрастающих требований к рациональному использованию воды особую актуальность приобретает совершенствование существующих подходов к управлению водопользованием, направленное на повышение оперативности и обоснованности принимаемых решений [18, 93]. В этой связи значительный потенциал имеет внедрение адаптивных механизмов регулирования водораспределения, основанных на современных цифровых технологиях. Использование систем мониторинга состояния посевов, оперативного анализа погодных условий и оценки фактической обеспеченности растений влагой позволит своевременно корректировать режимы орошения, более точно определять реальные потребности культур в воде и обеспечивать рациональное использование водных ресурсов в условиях усиливающейся климатической изменчивости.

2.2 Теоретическое обоснование совершенствования системы нормирования водопользования в орошаемом земледелии

Нормирование водопользования в орошаемом земледелии является актуальной темой изучения в приложении к мелиоративному воздействию на окружающую среду. Система нормирования орошения за последние десятилетия формировалась с целью обеспечения стабильного урожая и предотвращения засоления почв. Однако на сегодняшний момент более глубокое изучение составляющих элементов экологической устойчивости в условиях антропогенной нагрузки, воздействующей на орошаемые агроландшафты, и детальное представление изменений климатических условий, роста дефицита пресных водных ресурсов, повышение стоимости воды и энергии становятся аргументирующими факторами, требующими

модернизации подходов к нормированию водопользования. Соответственно, совершенствование этой системы является ключевым для перехода к ресурсосберегающей модели орошения [93, 99].

В основу традиционных методов определения норм водопотребления принимаются показатели биологических потребностей возделываемых культур; климатические параметры (температура, осадки, испаряемость, дефицит влажности воздуха); водно-физические свойства почвы, а также технологии и способы поливов. Наиболее информативные показатели с позиции научно-методического подхода определяются по расчётам балансового метода, где водопотребление на орошаемом участке принимается как разница между испарением и влагозапасом почвы. Климатический фактор – это непредсказуемый и нестабильный параметр, поэтому расчёты балансового метода не всегда корректно отражают пространственно-временную изменчивость ситуации, влияющей на произрастание сельскохозяйственных культур [20, 103].

Одним из важных критериев по обоснованию норм водопотребления является их дифференциация по технологиям орошения, что предполагает снижение норм за счёт адресного полива при капельном орошении, учёт неравномерности распределения воды при дождевании, корректировку на коэффициент распределения при поверхностном орошении.

На основании существующих методологических расчётов водного баланса территорий с целью совершенствования норм водопотребления следует рассматривать переходы от статичных к динамическим нормам, базу данных которых составляют ежедневные и почасовые климатические данные, модели потенциальной и фактической транспирации в соответствии с фазой развития культуры.

Также стоит отметить, что научно обоснованное нормирование должно базироваться на концепции: учитывать предельную продуктивность воды, оптимальные затраты на единицу продукции, минимизацию водного следа. Данный подход обеспечит максимальную рентабельность системы

производства с выбранной нормой поливов культур.

Экологизация нормирования должна сочетаться с агротехническими мероприятиями: соблюдение предельно допустимых нагрузок на водные источники, предотвращение эрозии, заболачивания и вторичного засоления.

Существующая практика по нормированию орошения сталкивается с рядом ограничений: недостаточная гибкость и адаптивность системы по определению водопотребления ввиду вариативного природно-климатического состояния орошаемого участка; большая погрешность определения объёмов поливов при традиционных методах орошения (потери на испарение, фильтрацию и сток); экономико-энергетические барьеры – затраты на водозабор, перекачку и т.п., износ инфраструктуры ирригационных систем; фрагментарное применение систем дистанционного зондирования, датчиков почвенной влажности, автоматических метеостанций, информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и цифровых моделей испаряемости (ЕТ-модели) [104, 106].

На сегодняшний день в мире существуют различные типы информационно-советующих моделей по прогнозированию водопотребления и нормированию орошения агробиоценозов. Данные программные модели обеспечивают поддержание требуемого водно-воздушного режима орошаемых участков при рациональном использовании природно-климатического потенциала территории с обоснованием техногенных нагрузок. Достоверность и точность каждой такой системы прогнозирования определяется, в первую очередь, на сколько технологическое обеспечение модели адаптировано к состоянию рассматриваемого объекта и к условиям его функционирования. Расчётный методологический комплекс данных систем базируется на актуальной информации, отражающих условия гидрогеологического и почвенного состояний орошаемых участков с учётом динамики водного режима почв, системного зонирования земледелия, технологий и техники ирригации [105, 121].

Результаты экспериментов по водному балансу имеют существенные

пространственные различия, что не позволяет получить достоверные универсальные модели прогнозирования состояния агробиоценозов в системе орошаемого земледелия. Среднемноголетние показатели тепло- и влагообеспеченности агробиоценозов в период вегетации сильно варьируются относительно каждой культуры природной зоны. Для решения данной проблемы требуется разработка универсальной методики нормирования орошения для корректного учёта влияния водного режима в агроценозах и метеоусловий на суммарное испарение [94, 107].

Аналитические исследования показывают, что универсальный подход, обеспечивающий одинаковую эффективность для всех природно-климатических зон и видов сельскохозяйственных культур, в настоящее время отсутствует. Существующие расчётные алгоритмы обладают своими сильными и слабыми сторонами, что определяет необходимость их применения исключительно в пределах конкретных условий тепло- и влагообеспеченности, и соответствующих вегетационных периодов [93, 96].

Следует подчеркнуть, что значительная часть ошибок в расчётных моделях связана с использованием линейных зависимостей, которые не отражают реальной сложности природных процессов. В природной среде большинство взаимодействий имеет нелинейный характер, что необходимо учитывать при моделировании. Так, влияние влажности почвы на суммарное испарение агроценозов демонстрирует линейную зависимость лишь при оптимальной влагообеспеченности, соответствующей уровню наименьшей влагоёмкости. Любое отклонение от этого оптимального состояния – как в сторону недостатка, так и избытка влаги – приводит к снижению интенсивности водопотребления, ослаблению физиологической активности и замедлению роста растений. Подобные процессы, чаще всего, выражаются параболическими зависимостями.

Авторами работы [96] рассматриваются и научно аргументируются ключевые положения совершенствования методики нормирования и прогнозирования орошения с формированием методической основы для

последующих исследований. Отмечаются принципы совершенствования методики нормирования орошения и прогнозных моделей.

1. Планирование и оперативное управление режимами орошения обеспечивает рациональное, экологически безопасное и экономически эффективное использование ресурсов.

2. Контроль и регулирование поливов строится на своевременном и достоверном определении динамики водного режима почвы на протяжении всего расчётного периода, от начала до окончания вегетационного этапа развития агроценозов, что обеспечивает точность и эффективность водопользования.

3. Надёжность и адекватность расчётных моделей орошения зависит от точности определения суммарного водопотребления агроценозов во времени и определяется качеством исходных данных о состоянии подстилающей поверхности, а также влиянием влагообеспеченности посевов на величину суммарного испарения.

4. Разработка и внедрение математических моделей для планирования и управления процессами орошения требует комплексного научного подхода, включающего обоснование расчётных зависимостей, уточнение параметров и констант, а также формирование достоверной и информативной базы данных с применением методов системного анализа и статистики.

В процессе разработки математических моделей, направленных на определение водопотребления и оптимизацию режимов орошения, особое значение приобретает формирование исходной базы данных, включающей сведения об агротехнологических, гидрометеорологических и оперативных характеристиках исследуемого объекта. Существенную роль играют и физико-химические свойства почвы, влияющие на влагоудерживающую способность, и технико-эксплуатационные параметры оборудования, применяемого в системе орошения. Эти сведения формируют основу для точного моделирования водного баланса агроландшафта [92].

Провести научно обоснованную оценку вариаций проявления

характеристик экспериментальных данных многолетних рядов и получить количественные связи изменчивости суммарного испарения и гидрометеорологических условий представляется возможным при использовании аналитических и статистических исследований многолетних рядов данных в ретроспективе не менее, чем за 30 лет. За пример проверки научной парадигмы по ранее проведённым исследованиям регулирования водного режима в агроценозах водно-балансовыми методами принимаются гидрометеорологические ретроспективные данные многолетних рядов более 50 лет, начиная с даты 1 мая 1973 года, теплого периода с мая по сентябрь, полученные от ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» на метеостанции Волгоград¹⁷.

Математическая обработка многолетних рядов, расчёт суммарного испарения и природного увлажнения позволяют выявить статистические характеристики, установить соответствующие закономерности и взаимосвязи.

Для проверки гипотезы взаимосвязи компонентов природных факторов по данным временных метеорологических показателей за ретроспективный ряд были рассчитаны: ET_0 – суммарное испарение за временный интервал, мм; PW – дефицит водообеспеченности. Для расчётов эвапотранспирации принимается расчётный показатель испаряемости с поверхности. Согласно исследованиям Иванова Н.Н. [52] испаряемость рассчитывается по формуле:

$$E_w = 0,0018(T + 25)^2(100 - r), \quad (2.1)$$

где T – средняя температура воздуха, °C,

r – относительная влажность воздуха, %.

Формула расчёта дефицита естественного увлажнения имеет вид:

$$PW = E_w - P, \quad (2.2)$$

где P – сумма слоя естественных осадков, мм.

Отклонение дефицита водообеспеченности территории от среднестатистических показателей за ретроспективный ряд лет определяется как разница между дефицитом естественного увлажнения на данный момент

¹⁷ Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных». Режим доступа: <http://meteo.ru/data/> (дата обращения: 05.07.2025)

времени и средним знанием дефицита влагообеспеченности:

$$\Delta PW = PW - PW_{cp}. \quad (2.3)$$

Функциональная зависимость между текущими показателями и среднестатистическими значениями величин выражается функцией:

$$\Delta ET_0 = f(\Delta PW). \quad (2.4)$$

На рисунке 2.4 представлен график данной функции с полиномиальной линией тренда, отражающей криволинейную зависимость с корреляционным коэффициентом 0,3, что не является высоким показателем связи показателей.

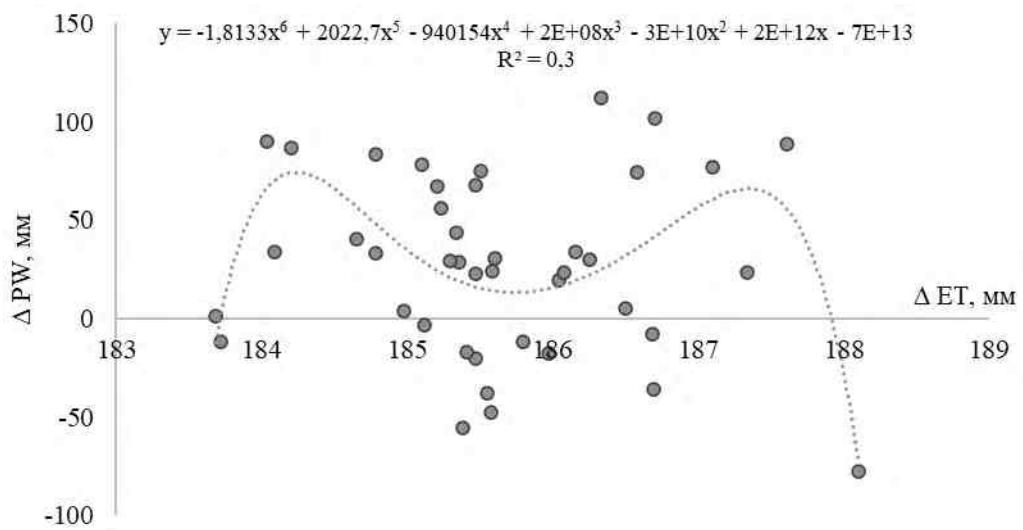


Рисунок 2.4 – Зависимость отклонений ΔET_0 и ΔPW от среднегодовых показателей за ретроспективный ряд лет

Так как дефицит природного увлажнения определяется количеством атмосферных осадков, то была исследована зависимость (рис. 2.5):

$$\Delta PW = f(\sum P), \quad (2.5)$$

Коэффициент корреляции $\sim 0,31$ также свидетельствует о наличии слабой связи.

Для полноценного анализа и выявления цикличности со среднегодовыми обеспеченными значениями метеорологических показателей следует провести комплексную оценку, включающую все метеофакторы, от которых зависит оросительная норма. Среди них первостепенные – это осадки и испаряемость. Подходом к расчёту

метеопараметров на основе поступления атмосферных осадков и испаряемости является определение коэффициента увлажнения, отражающего соотношение водного и теплового балансов. Для его расчёта пользуются формулами Иванова Н.Н. и Шашко Д.И.:

$$K_{ye} = \frac{P}{E_0}; \quad (2.8)$$

$$KY = \frac{P}{f}, \quad (2.9)$$

где P – годовая сумма атмосферных осадков;

E_0 и f – испаряемость, соответственно, определённая по формуле Иванова Н.Н. и по формуле Шашко Д.И.

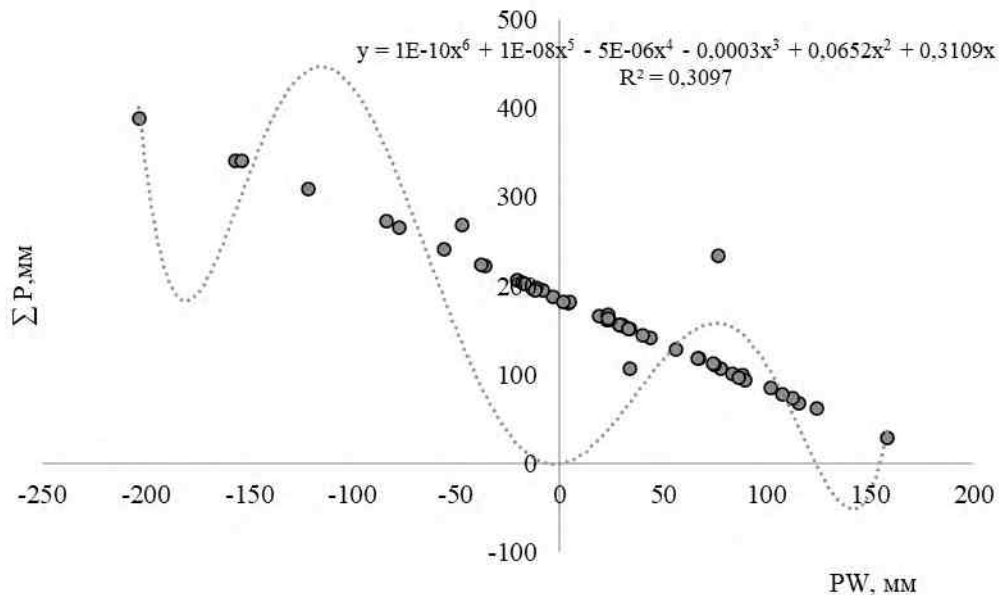


Рисунок 2.5 – Зависимость отклонения дефицита влагообеспеченности от суммы естественного увлажнения

Для решения задач нормирования орошения в сельскохозяйственной деятельности особый интерес представляют данные метеорологической характеристики территории за период вегетации сельскохозяйственных культур. В этой связи наиболее целесообразным представляется метод Иванова Н.Н. в интерпретации Данильченко Н.В.:

$$K_y = \frac{W_a + P_e}{E_0}, \quad (2.10)$$

где P_v – осадки за теплый период года (+5 °C), мм;

W_a – запасы активной почвенной влаги, мм;

E_0 – испаряемость, мм.

Активные влагозапасы определяются по формуле:

$$W_a = W_\phi - W_0, \quad (2.11)$$

где W_ϕ – фактические почвенные влагозапасы метрового слоя (или активного слоя, но для конкретной культуры) в весенний период, мм;

W_0 – труднодоступные запасы почвенной влаги (0,5-0,6 – для песчаных и супесчаных почв; 0,6-0,7 – для суглинков; 0,7-0,8 – для глинистых почв).

График, приведённый на рисунке 2.6, отражает функциональную зависимость испаряемости от суммы температур воздуха с коэффициентом корреляции 0,66.

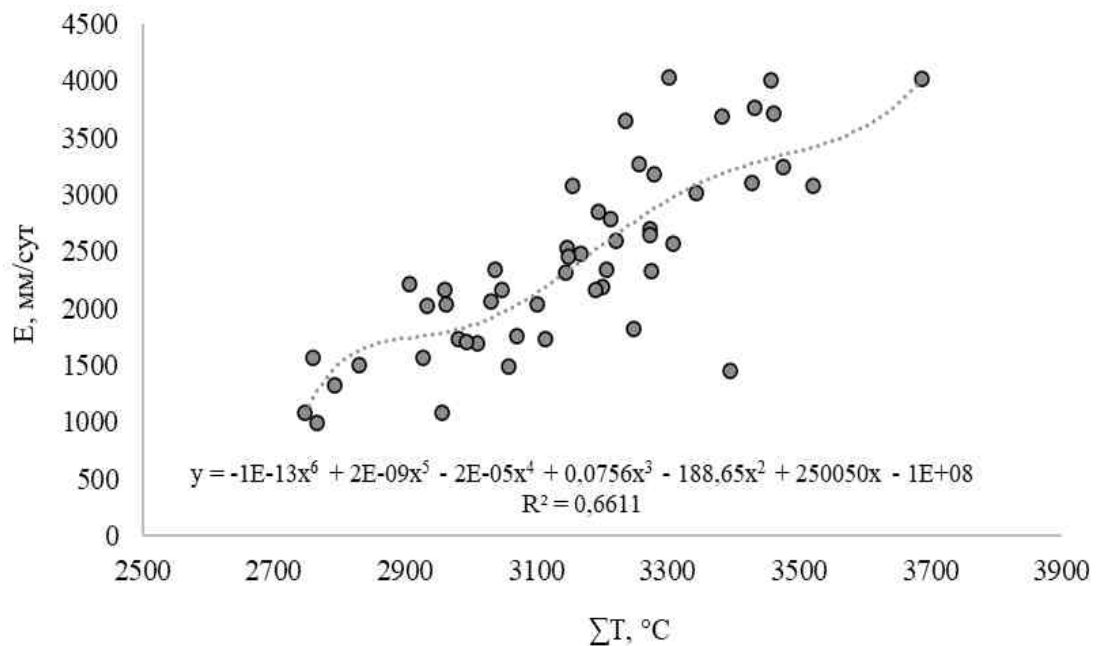


Рисунок 2.6 – Зависимость испаряемости от суммы температуры воздуха

Графики, приведённые на рисунках 2.7-2.8, отражают функциональную зависимость коэффициента увлажнения от сумм температур воздуха и атмосферных осадков (в пределах Волгоградского пригородного сельскохозяйственного района) с коэффициентами корреляции 0,6-0,8. Графики указывает на высокую зависимость коэффициента увлажнения от

метеопараметров территории. Использование K_y позволяет перейти от статистических, усреднённых норм к адаптивной системе нормирования.

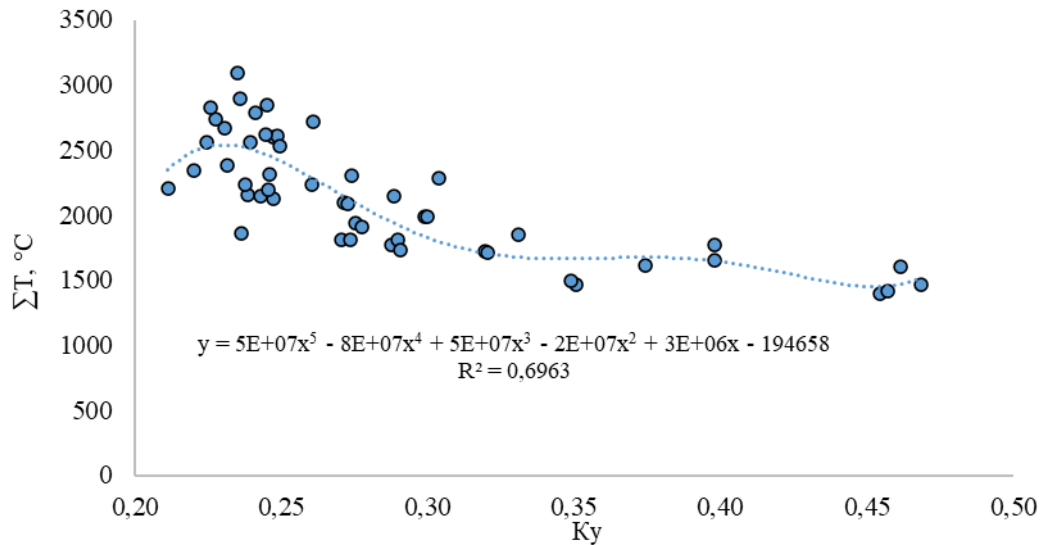


Рисунок 2.7 – Зависимость коэффициента увлажнения от суммы температур воздуха за тёплый период ретроспективного ряда

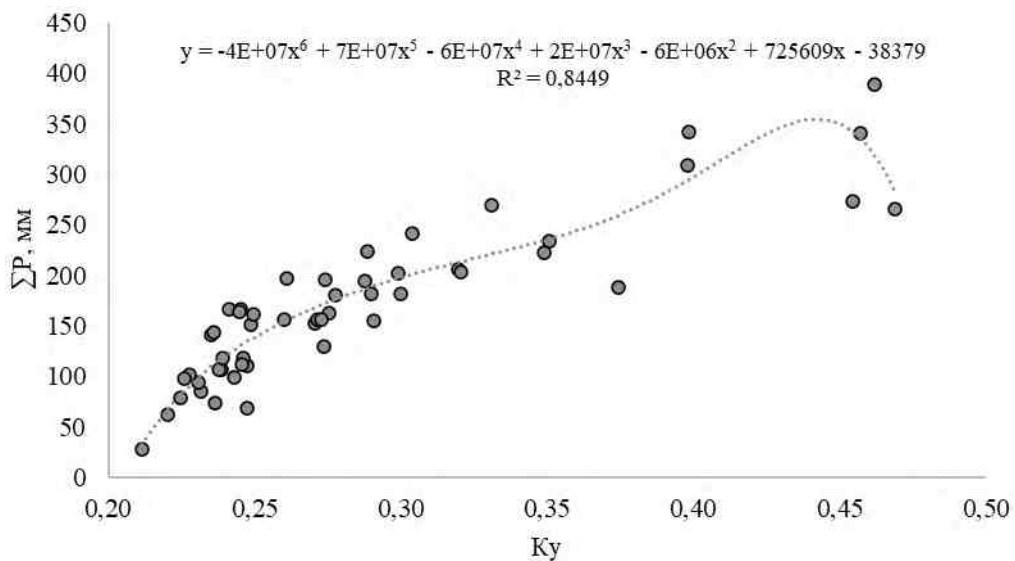


Рисунок 2.8 – Зависимость коэффициента увлажнения от суммы осадков за тёплый период ретроспективного ряда

Совершенствование системы нормирования водопользования позволит перейти к комплексной адаптивной системе управления водными ресурсами региона, теоретическое основание которого заключается в интегрированном взаимодействии цифровых технологий, агрономии, гидрологии, экономических аспектов, применение точных моделей транспирации и

водного баланса. Модернизация системы нормирования позволит повысить эффективность орошения, снизить затраты на воду, энергию и обеспечить устойчивость развития орошаемого земледелия.

2.3 Анализ базы данных и группировка фактических параметров водопользования по почвенно-климатическим зонам и основным культурам орошаемого земледелия

Природные особенности Волгоградской области формируются под влиянием разнообразных природных факторов, вследствие чего регион дифференцирован по условиям сельскохозяйственного производства. В ходе агроклиматического районирования в пределах области выделяются зоны с разным уровнем обеспеченности теплом и влагой, свойствами почвенного покрова, а также характером хозяйственного использования земельных ресурсов. Учёт данных различий имеет важное значение при анализе функционирования оросительных систем, поскольку позволяет рассматривать показатели водопользования с учётом специфики природной среды. Использование результатов районирования способствует более корректной классификации объектов орошения и создаёт основу для повышения точности расчётов водопотребности растений [69].

В Волгоградской области выделяют четыре основных укрупнённых природно-хозяйственных зоны: степную с преобладанием чернозёмов, сухостепную тёмно-каштановых и каштановых почв, полупустынные земли светло-каштанового типа, а также Волго-Ахтубинскую пойму, для которой характерно наличие аллювиальных почв (табл. 2.1). Каждая из указанных зон обладает собственным комплексом климатических и почвенных характеристик, влияющих на водный режим агроценозов, интенсивность испарительных процессов и потребность растений в дополнительном увлажнении. В результате данные различия находят отражение в величине оросительных норм и особенностях организации поливов, определяя

специфику использования водных ресурсов на каждой территории [27, 29].

Таблица 2.1 – Распределение сельскохозяйственных культур по почвенно-климатическим зонам в регионе

Почвенно-климатическая зона	Тип почвы	Зонально значимые сельскохозяйственные культуры
Чернозёмно-степная	Обыкновенные и южные чернозёмы	Озимая пшеница, ячмень, подсолнечник, кукуруза на зерно и силос, нут, лён масличный, соя
Сухостепная	Тёмно-каштановые и каштановые почвы	Озимая пшеница, сорго, подсолнечник, кормовые культуры, нут
Полупустынная	Светло-каштановые почвы	Кормовые культуры, бахчевые, овощи
Волго-Ахтубинская пойма	Аллювиальные почвы	Овощи, картофель, кукуруза, люцерна, плодово-ягодные

Для степных районов характерно преобладание посевов озимой пшеницы, ячменя, кукурузы на зерно, подсолнечника и зернобобовых культур. Использование здесь орошения позволяет расширить площади под кукурузой, соей и многолетними травами, требующими более стабильного водного режима. В сухостепной части региона основу растениеводства составляют зерновые и технические культуры, тогда как на орошаемых землях значительное место занимают кормовые посевы. В полупустынных районах искусственное увлажнение обеспечивает возможность эффективного возделывания овощных, бахчевых и кормовых культур. Наиболее интенсивное использование оросительных систем отмечается в Волго-Ахтубинской пойме, где благодаря благоприятному сочетанию природных факторов сформировалась специализация на производстве картофеля, овощей, кукурузы, многолетних трав, а также плодовых и ягодных культур. Картографическая схема зонирования области с указанием основных возделываемых культур приведена на рисунке 2.9.

Анализ водопользования хозяйствующих субъектов Волгоградской области за 2020-2023 годы приведены в таблицах 2.2-2.8 по всем государственным системам федерального и регионального значения по филиалам ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз». В таблицах приняты сокращения и обозначения: НСО – насосно-силоевое оборудование;

ГТЗ – гидротехнический затвор; НС – насосная станция; ГМП – гидрометрический пост; 1 – доля выделенного объема в структуре водоподачи, %; 2 – доля выделенной площади в структуре фактически поливаемых земель, %; 3 – отношение фактической оросительной нормы для выделенной группы к средневзвешенной оросительной нормы.

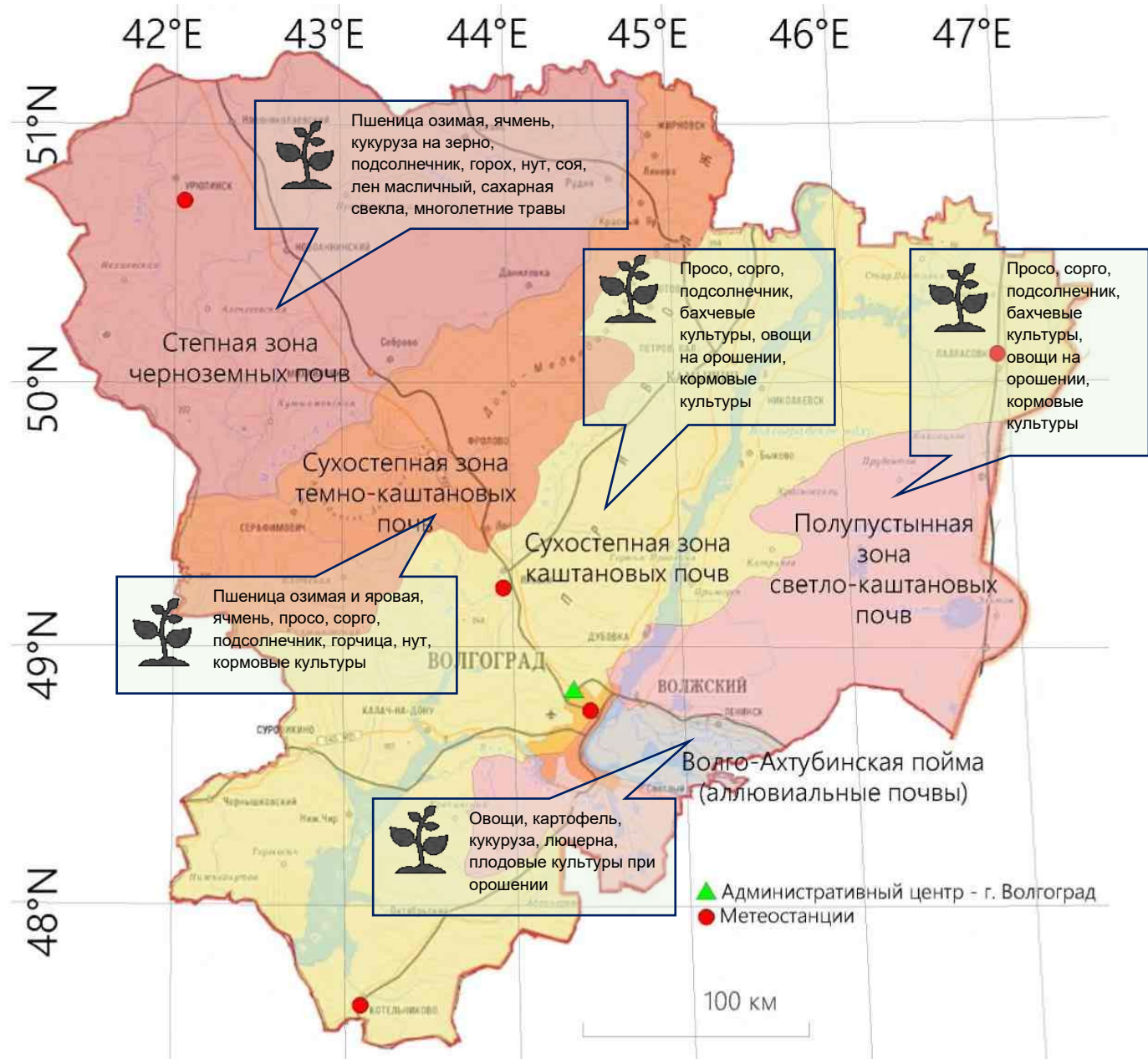


Рисунок 2.9 – Картографическая схема распределения зонально значимых культур по почвенно-климатическим зонам Волгоградской области

Эксплуатационная деятельность Быковского филиала охватывает Большую Волгоградскую и Среднеахтубинскую ОС. В 2023 году фактически

поливалося 4563 га. Из них под овощными было 20%, около 37% занимали овощебахчевые и свыше 17% овощекормовые севообороты. Зерновые с применением орошения возделывали на площади ~ 16%.

Таблица 2.2 – Показатели фактического водопользования хозяйств в сфере обслуживания Быковского филиала

Группа культур	Метод водоучёта	Объём водоподачи		Площадь полива		Оросительная норма	
		м³	% ¹	м³	% ²	м³	% ³
2020							
Овощи	Приборный	1379590	11,7	335	9,2	4113	127,0
Овощи	Площадь полива	2405700	20,4	418	11,5	5749	177,5
Бахчи	Приборный	119920	1,0	67	1,8	1795	55,4
Бахчи	Мощность НСО	31250	0,3	17	0,5	1796	55,5
Бахчи	ГТЗ	638550	5,4	161	4,4	3956	122,1
Бахчи	Площадь полива	243250	2,1	70	1,9	3500	108,1
Овощи, бахчи	Приборный	2055540	17,4	680	18,7	3023	93,3
Овощи, бахчи	Площадь полива	1308530	11,1	366	10,0	3580	110,5
Овощи, бахчи	ГТЗ	828927	7,0	297	8,2	2791	86,2
Овощи, кормовые	Приборный	2213780	18,8	630	17,3	3514	108,5
Зерновые	Мощность НСО	330940	2,8	150	4,1	2206	68,1
Зерновые	Приборный	237480	2,0	450	12,4	528	16,3
2021							
Овощи	Мощность НСО	308915	2,3	60	1,6	5149	148,6
Овощи	ГТЗ	110130	0,8	18	0,5	6250	180,4
Овощи	Приборный	508650	3,8	176	4,6	2893	83,5
Бахчи	Приборный	61157	0,5	38	1,0	1618	46,7
Смешанные	Мощность НСО	475215	3,6	149	3,9	3183	91,9
Смешанные	Приборный	3544473	26,8	1807	47,3	1962	56,6
Смешанные	Площадь полива	8235292	62,2	1576	41,2	5225	150,9
2023							
Овощи	Мощность НСО	540768	3,9	161	3,6	3361	109,8
Овощи	Приборный	4657184	33,6	1078	23,8	4320	141,1
Овощи	ГТЗ	128746	0,9	33	0,7	3854	125,9
Зерновые	Расход НС	431849	3,1	143	3,2	3019	98,6
Зерновые	Приборный	791650	5,7	190	4,2	4168	136,2
Смешанные	Приборный	6946841	50,1	2713	59,9	2561	83,7
Смешанные	ГМП	83702	0,6	37	0,8	2245	73,3
Смешанные	Площадь полива	282692	2,0	173	3,8	1634	53,4

Фактическая потребность отдельных хозяйств в оросительной воде формируется с учётом размеров поливаемых площадей и норм орошения возделываемых сельскохозяйственных культур. Приведённые в таблице 2.2 значения характеризуют средневзвешенный уровень водоподдачи и определены исходя из отношения объёма воды, фактически использованного

для проведения поливов, к соответствующей площади орошаемых земель.

Анализ данных за 2020-2023 гг. показывает существенную зависимость фактических значений оросительных норм от возделываемой культуры и принятого способа учёта подаваемой воды. Так, для овощных культур при использовании приборов водоучёта величина данного показателя находилась в диапазоне 2893-4320 м³/га, достигая от 127 до 154% от среднего уровня, установленного по всей совокупности орошаемых культур. В хозяйствах, где объём водоподачи оценивался исходя из мощности НСО, соответствующие значения возрастали до 3361-5149 м³/га. Еще более высокая норма 5749 м³/га зафиксирована при расчётном определении расхода воды на площадь полива.

Иная ситуация наблюдается при возделывании бахчевых культур. По данным приборного учёта на их орошение расходовалось в среднем от 1618 до 1778 м³/га, что соответствует 46,7-63,9% средневзвешенной нормы на гектар поливаемой площади. Сравнительно невысокие значения связаны с агротехникой – поливы проводили для частичного восполнения дефицита влаги в почве. При расчётном определении водоподачи показатель существенно возрастал и достигал 3500 м³/га. Таким образом, для бахчевых и овощных культур расчётные значения заметно превышали показатели, полученные посредством непосредственного учёта расходуемой воды.

По зерновым культурам объём водопотребления определялся несколькими способами, включая учёт по приборам и работе НС, по мощности НСО. При непосредственном измерении расхода воды значения оросительной нормы варьировали в диапазоне от 528 до 4168 м³/га. Вместе с тем распространение полученных результатов на все орошаемые земли, обслуживаемые Быковским филиалом, недостаточно обоснованно, так как полив зерновых осуществляется лишь несколькими хозяйствами, вследствие этого отдельные наблюдения могут существенно зависеть от локальных условий и особенностей орошения. По этой причине имеющаяся выборка недостаточно репрезентативна для формирования устойчивых выводов о характерных нормах водопотребления зерновых культур.

Отдельную категорию составляют смешанные посевы, в структуре которых отсутствует явно выраженная преобладающая культура. В хозяйствах к ним относятся различные сочетания овощных, бахчевых, кормовых и зерновых культур. Величина водопотребления таких севооборотов определяется их структурой, поэтому получение единой оросительной нормы в расчёте на гектар затруднено и может сопровождаться значительной изменчивостью показателя. Несмотря на это, сопоставление методов учёта выявляет ту же тенденцию, что и по отдельным группам культур: нормы, определённые расчётным способом на площадь полива, превышают значения, полученные по приборам водоучёта.

В сфере деятельности Городищенского филиала находятся Городищенская, Калачёвская и Оленьевская ОС, расположенные в сухостепной зоне каштановых почв. При общей проектной площади более 30 тыс. га фактически обслуживается 24,3 тыс. га сельхозугодий, из них в 2023 году поливали 15,1 тыс. га. Основная часть орошаемых земель (~ 13 тыс. га) относится к Городищенской ОС. Сохранению значительной доли мелиоративного фонда и его интенсивному использованию способствовала овощная специализация хозяйств, благодаря этому уровень освоения орошаемых земель остаётся выше среднего по Волгоградской области. В таблице 2.3 приведены характерные особенности водопользования хозяйствующих субъектов на орошаемых участках Городищенского филиала.

В структуре фактически орошаемых земель преобладают овощные культуры, площадь которых в специализированных хозяйствах за анализируемый период 2020-2023 гг. возросла с 4,6 тыс. до 11,8 тыс. га, или с 42,6 до 78,0% общей площади полива. Помимо овощей, на мелиорированных землях возделываются картофель, зерновые, технические, кормовые и плодовые культуры, в том числе в составе смешанных севооборотов. Одновременно совершенствуется система контроля водоподачи.

Таблица 2.3 – Показатели фактического водопользования хозяйств
в сфере обслуживания Городищенского филиала

Группа культур	Метод водоучёта	Объём водоподачи		Площадь полива		Оросительная норма	
		м ³	% ¹	м ³	% ²	м ³	% ³
2020							
Овощи	Мощность НСО	6735305	10,8	1623	11,8	4150	91,4
Овощи	Расход НС	2358110	3,8	516	3,7	4570	100,6
Овощи	Приборный	3079898	4,9	657	4,8	4687	103,2
Овощи	ГТЗ	495427	0,8	165	1,2	3000	66,1
Овощи	Площадь полива	20371443	32,5	3318	24,0	6140	135,2
Картофель	Площадь полива	225600	0,4	47	0,3	4800	105,7
Овощи, картофель	Мощность НСО	7576027	12,1	1450	10,5	5224	115,0
Овощи, картофель	Расход НС	2595078	4,1	593	4,3	4374	96,3
Овощи, картофель	Площадь полива	4247980	6,8	728	5,3	5838	128,6
Овощи, бахчи	Площадь полива	934780	1,5	163	1,2	5749	126,6
Сады	Площадь полива	81000	0,1	18	0,1	4500	99,1
Овощи, сады	Площадь полива	2089350	3,3	369	2,7	5660	124,6
Овощи, сады	Расход НС	3243915	5,2	848	6,1	3827	84,3
Технические	Расход НС	791979	1,3	564	4,1	1404	30,9
Технические	Площадь полива	1196000	1,9	260	1,9	4600	101,3
Овощи, картофель, технические	Приборный	3610883	5,8	989	7,2	3651	80,4
Овощи, зерновые, кормовые	Мощность НСО	116288	0,2	455	3,3	2453	54,0
Кормовые	Мощность НСО	654338	1,0	220	1,6	2974	65,5
Зерновые	Приборный	2243773	3,6	814	5,9	2756	60,7
2021							
Овощи	Мощность НСО	12219829	30,7	2597	19,7	4705	156,1
Овощи	ГТЗ	927883	2,3	200	1,5	4638	153,9
Овощи	Приборный	4164804	10,5	1113	8,4	3741	124,1
Овощи	Расход НС	6968145	17,5	1708	13,0	4079	135,3
Технические	Приборный	4230967	10,6	2002	15,2	2113	70,1
Кормовые	Расход НС	908360	2,3	440	3,3	2064	68,5
Зерновые	Расход НС	1536735	3,9	1692	12,8	908	30,1
Смешанные	Расход НС	8795060	22,1	3434	26,0	2561	85,0
2022							
Овощи	Мощность НСО	19492073	26,1	3921	22,2	4971	117,4
Овощи	Приборный	29781803	39,9	6630	37,6	4492	106,1
Овощи	ГТЗ	586059	0,8	170	1,0	3447	81,4
Смешанные	Мощность НСО	2828921	3,8	512	2,9	5523	130,5
Смешанные	Приборный	4804043	6,4	2228	12,6	2156	50,9
Смешанные	Приборный	17160632	23,0	4173	23,7	4112	97,1
Бахчи	Мощность НСО	14725	-	5	-	2945	69,6
Овощи	Мощность НСО	8693356	14,7	2145	14,1	4053	104,5
Овощи	Приборный	23838479	40,4	6663	43,8	3578	92,2
2023							
Овощи	Мощность НСО	8693356	14,7	2145	14,1	4053	104,5
Овощи	Приборный	23838479	40,4	6663	43,8	3578	92,2
Овощи	Расход НС	15836684	26,8	3059	20,1	5177	133,4
Смешанные	Мощность НСО	873404	1,5	226	1,5	3865	99,6
Смешанные	Приборный	5949363	10,1	2037	13,4	2921	75,3
Смешанные	НС	3561809	6,0	922	6,1	3861	99,5
Бахчи	Мощность НСО	13530	0,0	6	-	2255	58,1

Наряду с водоучётом по мощности НСО, работе НС, ГТЗ и площади полива все большее распространение получают приборные методы. За рассматриваемый период площадь земель, обеспеченных приборами водоучёта, увеличилась с 2,5 тыс. га (18%) до 8,7 тыс. га, что соответствует 57% орошаемой территории. Такая динамика указывает на постепенный переход к инструментальному определению объёмов используемой воды.

Наиболее высокие оросительные нормы характерны для овощных культур. В зависимости от метода учёта их величина составляла 3578-5177 м³/га и в большинстве случаев находилась на уровне или превышала средневзвешенные затраты воды. Существенно меньшие значения отмечены для бахчевых культур – 2255-2945 м³/га, кормовых – 2064-2974 м³/га и зерновых – 908-2756 м³/га. Для технических культур диапазон был более широким и составлял 1404-3651 м³/га. Оценка водопотребления смешанных посевов затруднена вследствие различного сочетания культур и отсутствия детализированных сведений об их доле в структуре севооборотов.

Основу мелиоративного фонда Иловлинского филиала составляют орошаемые участки, водообеспечение которых осуществляется за счёт ресурсов местного стока. В последние годы отмечается активное вовлечение этих земель в использование: если в 2020 г. фактический полив проводился на площади 268 га, то к 2023 г. она превысила 1,1 тыс. га. Такая динамика обусловлена вовлечением в оборот постмелиоративных участков. В таблице 2.4 приведены фактические параметры водопользования хозяйствующих субъектов на орошаемых землях Иловлинского филиала. Основные возделываемые культуры – зерновые, кормовые и овощные в составе различных севооборотов. Имеющиеся сведения по хозяйствам носят фрагментарный характер и не формируют достаточной выборки для выявления достоверных зависимостей водопотребления как от вида сельскохозяйственной культуры, так и от применяемого метода учёта оросительной воды.

Таблица 2.4 – Показатели фактического водопользования хозяйств в сфере обслуживания Иловлинского филиала

Группа культур	Метод водоучёта	Объём водоподачи		Площадь полива		Оросительная норма	
		м ³	% ¹	м ³	% ²	м ³	% ³
2020							
Овощи, картофель	Приборный	386376	61,3	97	36,2	3983	169,5
Овощи, кормовые	Приборный	113964	18,1	140	52,2	814	34,6
Смешанные	Приборный	129531	20,6	31	11,6	4178	177,8
2021							
Смешанные	Приборный	478849	100	215	100	2227	100
2022							
Зерновые	Приборный	911737	28,6	309,1	31,8	2950	90,0
Кормовые	Приборный	2042	0,1	20	2,1	102	3,1
Смешанные	Приборный	2276684	71,4	643,9	66,2	3536	107,8
2023							
Кормовые	Приборный	112958	3,1	20	1,8	5648	176,3
Смешанные	Приборный	2182179	60,6	777	69,1	2808	87,6
Смешанные	Расход НС	1307872	36,3	327,6	29,1	3992	124,6

Мелиоративная инфраструктура Ленинского филиала включает Волго-Ахтубинскую ОС, Ленинскую и Тажинскую ООС. Подаваемая вода в Волго-Ахтубинскую пойму в основном используется для её обводнения. Потенциальная площадь орошения в зоне действия Ленинской и Тажинской ООС составляет 9,3 тыс. га, тогда как в 2023 году фактическая площадь поливаемых участков не превышала 3,4 тыс. га. В таблице 2.5 приведены фактические показатели водопользования хозяйствующих субъектов на орошаемых землях Ленинского филиала.

Территория, обслуживаемая Ленинским филиалом, относится к сухостепной и полупустынной природным зонам Волгоградского Заволжья с преобладанием светло-каштановых почв. Орошаемое земледелие здесь ориентировано главным образом на выращивание овощных и зерновых культур. В последние годы в хозяйствах получили распространение севообороты, сочетающие овощные, зерновые и бахчевые культуры. Параллельно изменяется организация контроля водоподачи: наряду с расчётом объёма воды на площадь полива все шире применяется непосредственное измерение её расхода приборным методом.

Таблица 2.5 – Показатели фактического водопользования хозяйств в сфере обслуживания Ленинского филиала

Группа культур	Метод водоучёта	Объём водоподачи		Площадь полива		Оросительная норма	
		м ³	% ¹	м ³	% ²	м ³	% ³
2020							
Зерновые	Приборный	143000	2,7	170,8	17,5	837	15,6
Овощи	Площадь полива	5085201	97,3	803,87	82,5	6326	117,9
2021							
Зерновые	Приборный	39610	0,3	170,8	14,4	231	2,4
Овощи	Площадь полива	11363640	99,7	1014	85,6	11206	116,4
2022							
Зерновые	Приборный	1166656	14,5	668	37,0	1747	39,3
Овощи	Приборный	4799434	59,8	725	40,2	6620	148,8
Овощи	Площадь полива	2055650	25,6	410	22,7	5013	112,7
2023							
Овощи	Приборный	3360664	41,7	646,5	19,0	5198	219,7
Бахчи	Приборный	38005	0,5	16	0,5	2375	100,4
Смешанные	Приборный	4669130	57,9	2748	80,6	1699	71,8

В 2020-2021 гг. овощные культуры занимали от 82,5 до 85,6% всей орошаемой площади, в 2022 г. – 62,9%, а в 2023 г. – 19,0%. Такое снижение связано с увеличением площади под зерновыми и зернобобовыми культурами, а также переходом части хозяйств к смешанным севооборотам, в составе которых овощные культуры отдельно не выделяются.

Наибольшие объёмы водоподачи отмечены при выращивании овощей. Оросительная норма изменялась от 5013 до 11206 м³/га при использовании расчётного метода учёта и от 5198 до 6620 м³/га при приборном водоучёте. Для зерновых культур соответствующий диапазон был существенно ниже – 231-1747 м³/га, для бахчевых величина составляла 2375 м³/га. На смешанных посевах средневзвешенная норма находилась на уровне 1699 м³/га.

В управлении Николаевского филиала находятся Заволжская и Кисловская ОС. Мелиоративный фонд составляет 26,5 тыс. га, а площадь обслуживаемых сельхозугодий ограничивается 15,1 тыс. га. В 2023 году орошалось 10,5 тыс. га. На Кисловской системе полив проводился примерно на 830 га, что соответствует лишь 6,1% её проектной площади, а на Заволжской – 9,6 тыс. га из предусмотренных 12,9 тыс. га или 74,7%. Высокая степень эксплуатации последней во многом стала результатом

восстановления орошаемых земель в крупных хозяйствах (табл. 2.6).

Таблица 2.6 – Показатели фактического водопользования хозяйств в сфере обслуживания Николаевского филиала

Группа культур	Метод водоучёта	Объём водоподачи		Площадь полива		Оросительная норма	
		м ³	% ¹	м ³	% ²	м ³	% ³
2020							
Овощи	Приборный	1448963	6,8	294,8	3,4	4915	200,8
Бахчи	Приборный	991374	4,6	555,11	6,3	1786	73,0
Бахчи	Мощность НСО	37748	0,2	21	0,2	1798	73,5
Бахчи	ГТЗ	150009	0,7	52,5	0,6	2857	116,7
Овощи, бахчи	Мощность НСО	195260	0,9	35	0,4	5579	227,9
Овощи, бахчи	Приборный	1974484	9,2	586,61	6,7	3366	137,5
Кормовые	Мощность НСО	6983280	32,6	2995	34,2	2332	95,3
Зерновые	Мощность НСО	6664942	31,1	2863	32,7	2328	95,1
Технические	Мощность НСО	2263622	10,6	960	11,0	2358	96,3
Технические	ГТЗ	711624	3,3	388	4,4	1834	74,9
Овощи	Мощность НСО	476090	2,0	169	1,6	2824	127,8
Овощи	Приборный	1036918	4,5	258	2,5	4021	181,9
Бахчи	Мощность НСО	147022	0,6	80	0,8	1838	83,2
Бахчи	Приборный	1798421	7,7	849	8,1	2118	95,8
Овощи, бахчи	Приборный	1748819	7,5	530	5,0	3302	149,4
Кормовые	Мощность НСО	1179235	5,1	483	4,6	2441	110,5
Зерновые	Мощность НСО	8021695	34,5	4263	40,5	1882	85,2
Технические	Мощность НСО	8842003	38,0	3889	37,0	2274	102,9
2022							
Овощи	Мощность НСО	354013	1,6	163	1,6	2172	100,3
Овощи	Приборный	1356468	6,0	270,3	2,6	5018	231,8
Бахчи	Мощность НСО	5533517	24,4	2935	28,0	1885	87,1
Бахчи	Приборный	1239202	5,5	589,4	5,6	2102	97,1
Овощи, бахчи	Приборный	2019525	8,9	557,8	5,3	3621	167,3
Технические	Мощность НСО	8534066	37,7	4822	46,1	1770	81,8
Технические	Расход НС	297754	1,3	126	1,2	2363	109,2
Зерновые	ГТЗ	135807	0,6	152	1,5	893	41,2
Зерновые	НС	3173683	14,0	787	7,5	4033	186,3
Кормовые	НС	14877	0,1	64	0,6	232	10,7
2023							
Овощи	Мощность НСО	293167	1,3	150	1,5	1954	88,0
Овощи	Приборный	1210157	5,5	247,2	2,5	4895	220,3
Бахчи	Приборный	483362	2,2	293,1	3,0	1649	74,2
Овощи, бахчи	Приборный	2128093	9,7	574,05	5,8	3707	166,9
Кормовые	Мощность НСО	1241520	5,7	610	6,2	2035	91,6
Кормовые	Расход НС	172017	0,8	63	0,6	2730	122,9
Зерновые	Мощность НСО	5160282	23,5	2488	25,2	2074	93,4
Зерновые	Расход НС	1804817	8,2	661	6,7	2730	122,9
Зерновые	Приборный	296675	1,4	150	1,5	1978	89,0

Основной массив поливаемых угодий занят зерновыми, техническими и кормовыми культурами. В течение 2020-2023 гг. площадь орошаемых зерновых варьировала от 939 до 4,3 тыс. га или от 9,0 до 40,5% от общей площади фактического полива. Технические и кормовые культуры занимали 4343-5317 га или 42,0-53,8%. Овощные возделывались на небольших площадях в фермерских хозяйствах – 294-433 га. Бахчевые занимали от 294 до 929 га, а площадь овощебахчевых севооборотов составляла 530-586 га.

Объёмы оросительной воды определяются с использованием нескольких способов учёта, включая приборные измерения, оценку по мощности НСО, ГТЗ и данные работы НС. Наиболее высокие оросительные нормы установлены для овощных культур. При учёте по мощности НСО их значения находились в пределах 1954-2824 м³/га, тогда как при непосредственном приборном измерении достигали 4021-5018 м³/га. Выявленное расхождение может быть обусловлено не только методом определения расхода воды, но и ограниченным числом хозяйств в отдельных группах наблюдений, а также различиями в составе выращиваемых овощных культур, продолжительности их вегетации и характере водопотребления.

Для бахчевых культур величина оросительной нормы составляла 1954-2857 м³/га, что связано с особенностями их режима орошения и относительно коротким периодом дополнительного водообеспечения. Более низкие показатели характерны для зерновых, кормовых и технических культур, по которым затраты воды изменялись в диапазоне 232-2730 м³/га.

Основным мелиоративным объектом Палласовского филиала является Палласовская ООС, проектная площадь которой составляет 16,9 тыс. га. Вместе с тем в 2023 году фактически обслуживалось лишь 1,6 тыс. га сельскохозяйственных угодий, что соответствует 9,2% предусмотренной проектом площади. Специфика использования орошаемых земель Палласовской ООС определяется природно-территориальными условиями и сложившейся сельскохозяйственной специализацией. В отличие от других рассматриваемых мелиоративных систем региона, овощные культуры здесь

практически не представлены, преимущественно возделываются зерновые, кормовые и технические культуры (табл. 2.7).

Таблица 2.7 – Показатели фактического водопользования хозяйств в сфере обслуживания Палласовского филиала

Группа культур	Метод водоучёта	Объём водоподачи		Площадь полива		Оросительная норма	
		м³	%¹	м³	%²	м³	%³
2020							
Зерновые	Мощность НСО	1121256	34,2	285	24,2	3934	141,3
Зерновые	Приборный	1297787	39,6	534	45,4	2430	87,3
Зерновые	Площадь полива	245145	7,5	91	7,8	2682	96,3
Кормовые	Приборный	611600	18,7	266	22,6	2299	82,6
2021							
Зерновые	Приборный	576656	74,8	1277	82,8	452	90,5
Кормовые	Приборный	194107	25,2	266	17,2	730	146,1
2022							
Зерновые	Приборный	334548	41,6	740	48,1	452	86,5
Кормовые	Приборный	396811	49,4	532	34,6	746	142,8
Технические	Приборный	72155	9,0	266	17,3	271	51,9
2023							
Зерновые	Приборный	26678	3,8	266	17,1	100	21,9
Зерновые	Площадь полива	214160	30,2	281	18,1	762	167,0
Кормовые	Приборный	29051	4,1	266	17,1	109	23,9

Фактические объёмы водоподачи на мелиорированных землях Палласовской ООС определяются несколькими способами, включая измерения приборами водоучёта, расчёт по характеристикам НСО и площади полива. В районе в основном выращиваются зерновые культуры. За рассматриваемый период их площадь составляла от 541 до 1,3 тыс. га.

Фактические оросительные нормы зерновых характеризовались значительным разбросом. При инструментальном измерении расхода воды значения изменялись от 100 до 2430 м³/га, а при расчёте на площадь полива – от 762 до 2682 м³/га. Наибольший показатель – 3934 м³/га, зафиксирован при определении водоподачи по мощности НСО. Небольшое количество наблюдений по отдельным методам учёта не позволяет рассматривать различия между полученными значениями как устойчивую закономерность.

Для кормовых культур при приборном водоучёте диапазон оросительных норм также оказался достаточно широким и составлял 109-

2299 м³/га. Технические культуры представлены в структуре орошаемых посевов лишь с 2022 года, поэтому накопленный ряд наблюдений по ним крайне ограничен: оросительная норма составила 271 м³/га в 2022 г. и увеличилась до 593 м³/га в 2023 г.

Таким образом, имеющиеся сведения по Палласовской ООС демонстрируют существенную вариабельность фактических затрат оросительной воды как по годам, так и между отдельными группами культур.

Мелиоративный системы, находящиеся в управлении Светлоярского филиала, включают Райгородскую и Варваровскую ОС, а с 2023 года – еще и Котельниковскую. Проектная площадь земель достигает 17,8 тыс. га. В настоящее время обслуживается около 12 тыс. га сельхозугодий, однако непосредственно орошалось в 2023 г. только 3,9 тыс. га. Следовательно, имеющиеся мелиоративные мощности используются лишь частично, причём степень их освоения имеет заметные территориальные различия.

Минимальная нагрузка отмечается на Варваровской ОС: при проектной площади 6,8 тыс. га фактический полив в 2023 г. проводился на 136 га, что составляет ~ 2%. На Котельниковской системе из потенциально обеспеченных орошением 1,8 тыс. га поливалось 267 га. Наиболее значимая площадь полива сосредоточена в пределах Райгородской ООС, где в сельскохозяйственный оборот с применением орошения было вовлечено 3,5 тыс. га (37,6%) из проектных 9,2 тыс. га. Основная группа возделываемых культур – это овощные и бахчевые, а также смешанные севообороты, включающие зерновые, кормовые и садовые культуры (табл. 2.8).

В специализированных овощеводческих хозяйствах в 2020-2023 гг. фактически орошалось от 189 до 472 га. При использовании ГМП оросительная норма овощных культур составляла 2952-6973 м³/га, тогда как по данным приборного учёта – 1761-3049 м³/га. Площадь орошаемых бахчевых культур изменялась от 7 до 82 га, а их оросительная норма при инструментальном контроле находилась в пределах 311-2459 м³/га. При расчётном методе учёта на площадь полива она составляла 3528 м³/га.

Таблица 2.8 – Показатели фактического водопользования хозяйств
в сфере обслуживания Светлоярского филиала

Группа культур	Метод водоучёта	Объём водоподачи		Площадь полива		Оросительная норма	
		м³	% ¹	м³	% ²	м³	% ³
2020							
Овощи	Приборный	322478	2,7	156	4,6	2071	57,7
Овощи	Площадь полива	225822	1,9	33	1,0	6925	192,8
Бахчи	Приборный	1866	0,0	6	0,2	311	8,7
Бахчи	Площадь полива	57153	0,5	16	0,5	3528	98,2
Овощи, бахчи	Приборный	1378805	11,4	653	19,3	2112	58,8
Овощи, бахчи	Площадь полива	1904634	15,7	362	10,7	5264	146,5
Овощи, бахчи	Мощность НСО	312500	2,6	30	0,9	10416	290,0
Овощи, сады	Приборный	279387	2,3	137	4,1	2036	56,7
Лиманы	ГТЗ	170490	1,4	57	1,7	3000	83,5
Кормовые, овощи, зерновые	Приборный	6667107	54,9	1540	45,6	4329	120,5
Кормовые, зерновые	Приборный	16827	0,1	180	5,3	93	2,6
2021							
Зерновые, овощи	Мощность НСО	757500	6,2	130	3,8	5827	162,2
Кормовые	Приборный	44600	0,4	80	2,4	558	15,5
Овощи	Приборный	1276535	13,7	419	11,5	3049	118,8
Овощи	ГМП	369580	4,0	53	1,5	6973	271,7
Бахчи	Приборный	45713	0,5	19	0,5	2459	95,8
Кормовые	Приборный	157487	1,7	170	4,7	926	36,1
Кормовые	ГМП	272100	2,9	91	2,5	3000	116,9
Смешанные	Приборный	6789472	72,9	2791	76,9	2432	94,8
Смешанные	ГМП	402523	4,3	87	2,4	4649	181,1
2022							
Овощи	Приборный	620325	6,4	258	8,0	2404	80,9
Овощи	ГМП	150279	1,6	51	1,6	2952	99,3
Бахчи	Приборный	6743	0,1	7	0,2	1016	34,2
Кормовые	Приборный	10592	0,1	75	2,3	141	4,7
Кормовые	ГМП	93600	1,0	31	1,0	3000	100,9
2023							
Смешанные	Приборный	8252071	85,6	2689	82,9	3069	103,2
Смешанные	ГМП	511732	5,3	133	4,1	3839	129,1
Овощи	Приборный	665595	5,7	378	10,1	1761	57,0
Овощи	ГМП	168000	1,5	50	1,3	3360	108,8
Бахчи	Приборный	197482	1,7	82	2,2	2411	78,1
Кормовые	Приборный	14948	0,1	75	2,0	199	6,4
Кормовые	ГМП	51000	0,4	17	0,5	3000	97,1
Смешанные	Мощность НСО	1965113	17,0	431	11,5	4565	147,8
Смешанные	Приборный	7976335	68,9	2571	68,6	3102	100,4
Смешанные	ГМП	537367	4,6	145	3,9	3709	120,1

В 2020 г. овощебахчевые посевы занимали 1 тыс. га, сочетание овощных с зерновыми и кормовыми культурами – 1,5 тыс. га, а

зерноовощные севообороты – 130 га. В последующие годы эти площади учитывались как «смешанные» без детализации состава культур, что ограничивает возможность объективной оценки их оросительных норм.

Кормовые культуры занимали от 80 до 261 га, а их оросительная норма по данным приборного учёта составляла 141-926 м³/га. Показатели водопользования Светлоярского филиала свидетельствуют о существенных различиях в затратах оросительной воды в зависимости от вида культур, структуры севооборотов и метода учёта водоподачи.

Таким образом, на орошаемых землях в зоне действия государственных мелиоративных систем преобладает возделывание овощных. Наиболее выражена такая специализация в Городищенском и Ленинском филиалах, где доля овощных достигает 78,0-85,6%. Для Николаевского и Палласовского филиалов характерным является отведение бóльшей части орошаемых земель под зерновые, кормовые и технические культуры.

Обобщенные данные по применяемым методам учёта водоподачи на орошаемые земли по ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз» приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Динамика методов учёта водоподачи за 2020-2023 гг.

Приборы водоучёта	Площадь полива	Мощность НСО	ГТЗ	Расход НС	ГМП	Итого
2020						
<u>39,3</u> 12490,32	<u>22,2</u> 7062,87	<u>34,9</u> 11104,00	<u>3,5</u> 1120,50	-	-	<u>100,0</u> 31777,69
2021						
<u>35,5</u> 12180,80	<u>7,5</u> 2590,00	<u>34,4</u> 11820,00	<u>0,6</u> 218,00	<u>21,2</u> 7274,00	<u>0,7</u> 231,00	<u>100,0</u> 34313,80
2022						
<u>60,9</u> 25355,50	<u>1,0</u> 410,00	<u>34,8</u> 14503,00	<u>0,8</u> 322,00	<u>2,3</u> 977,00	<u>0,2</u> 82,00	<u>100,0</u> 41649,50
2023						
<u>59,9</u> 25221,85	<u>1,1</u> 454,00	<u>25,8</u> 10861,00	<u>0,1</u> 33,00	<u>12,3</u> 5175,60	<u>0,9</u> 382,00	<u>100,0</u> 42127,45

Примечание: над чертой – доля площади, %, под чертой – площадь полива, га.

Сопоставление фактических объёмов водоподачи показывает, что наиболее высокие оросительные нормы в исследуемых хозяйствах

характерны для овощных культур. Это несколько отличается от укрупнённых показателей, представленных в ГОСТ Р 58331.3-2019, где максимальные значения установлены для кукурузы на зерно и люцерны на сено. При этом данные по посевам, объединённым в категорию «смешанные», не позволяют корректно оценивать водопотребность отдельных культур, поскольку сведения об их составе и долевом соотношении отсутствуют.

Полученные результаты также указывают на зависимость величины оросительной нормы от способа контроля водоподачи. Расширение приборного водоучёта в хозяйствах создает более надёжную основу для оценки фактических затрат воды и накопления статистических данных по отдельным группам сельскохозяйственных культур.

Наряду со структурой посевов и организацией водоучёта существенную роль в формировании оросительных норм играют природно-климатические различия территории, погодные условия конкретного года и уровень естественной влагообеспеченности. Совместное влияние этих факторов определяет пространственную и межгодовую изменчивость фактических затрат воды, что обосновывает необходимость дифференциации норм водопотребности применительно к конкретным культурам и природным условиям их возделывания [92, 84].

2.4 Технологические решения по оптимизации водопользования на основе применения современных технологий, способов и техники полива

В современных условиях осуществления сельскохозяйственной деятельности изменяющийся климат и ограничение пресной воды снижают рентабельность производства и требуют повышения эффективности использования природных ресурсов. Ключевым направлением по обеспечению устойчивого развития сельского хозяйства является рациональное водопользование – снижение удельного водопотребления при сохранении или росте урожайности сельскохозяйственных культур, что

обосновывает внедрение инновационных ирригационных технологий в традиционные методы полива и средства автоматизации в системы управления орошением [82, 83]. Современные методы полива можно классифицировать по способу подачи и распределению воды (рис. 2.10).



Рисунок 2.10 – Схема классификации современных методов орошения

С целью оптимизации полива рассматривается практика внедрения высокоэффективных технических средств и современного оборудования, как ключевой элемент модернизации мелиоративных систем. На данный момент современные технические решения находят широкое применение при обеспечении поливов в мелиорации в качестве автоматизированных дождевальных машин (фронтального или кругового типа) с программируемыми режимами подачи воды; систем дистанционного мониторинга влажности почвы, метеоусловий и состояния посевов (датчики влажности, температуры, минерализации); систем интеллектуального контроля полива с управлением насосов и клапанов по показаниям сенсоров

и прогнозов погоды; энергоэффективных насосных агрегатов с частотно-регулируемыми приводами; фильтрационных и дозирочных установок для точного смешения воды с удобрениями и микроэлементами [80, 107].

Важным направлением модернизации оросительных систем является внедрение автоматизированных технических средств управления водораспределением. По данным В.Н. Щедрина, С.М. Васильева и А.А. Чураева [130], цифровизация в мелиорации должна основываться на комплексном использовании средств автоматизированного контроля, телеметрии и дистанционного управления объектами мелиоративной инфраструктуры.

Развитие цифровых технологий способствует переходу к концепции «умного орошения» (Smart Irrigation). В современных исследованиях отмечается, что интеллектуальные системы орошения – это совокупность датчиков, исполнительных устройств и программного обеспечения, которые автоматически принимают решения по управлению поливом в зависимости от параметров окружающей среды и состояния посевов [107, 187].

К важным направлениям цифровизации относятся использование ГИС-технологий для моделирования гидрологических процессов и планирования водоподачи; внедрение IoT-платформ для мониторинга и регулирования параметров в реальном времени; анализ данных с применением искусственного интеллекта (AI) для прогнозирования потребности посевов в воде; применение дронов и спутниковых снимков для оценки состояния посевов и выявления зон неравномерного увлажнения [164, 170, 187].

В качестве одного из основных инструментов цифровизации мелиорации рассматривается применение технологий Интернета вещей (IoT). Использование сенсорных сетей позволяет организовать непрерывный мониторинг влажности почвы, температуры и других параметров, необходимых для оперативного управления режимами орошения [138, 167].

Оптимизация водопользования с использованием современных технологий и платформенных решений обеспечивает сокращение расходов

воды, снижение энергозатрат на водоподачу, уменьшение потерь удобрений и снижение загрязнений дренажных стоков, а также повышение урожайности культур за счёт оптимального водного режима почвы. Совокупность данных факторов способствует формированию устойчивой модели водопользования, ориентированной на экономию водных и энергетических ресурсов, а также обеспечивает экологическую безопасность [136, 171].

В перспективе особое внимание следует уделить внедрению автоматизированных систем управления ирригационными системами на уровне региона; развитию адаптивных технологий полива с учётом агроклиматических условий; совершенствованию энергоэффективных и водосберегающих машин отечественного производства; интеграции мелиоративных комплексов в системы точного земледелия.

Перспективным направлением повышения эффективности управления водными ресурсами является использование методов искусственного интеллекта, алгоритмы которого способны прогнозировать водопотребность сельскохозяйственных культур и оптимизировать водораспределение с учётом погоды и пространственной неоднородности агроландшафтов [197].

Особую роль в развитии точного орошения играют технологии дистанционного зондирования Земли и беспилотные летательные аппараты. В работах учёных из Ближнего Востока отмечается, что интеграция данных БПЛА и облачных IoT-платформ позволяет своевременно выявлять зоны водного стресса растений и принимать обоснованные решения по корректировке режимов полива [167].

По мнению Л.В. Кирейчевой, И.Ф. Юрченко и В.А. Шевченко развитие мелиоративного комплекса России связано с формированием единого цифрового пространства управления водными ресурсами, обеспечивающего интеграцию данных мониторинга, прогнозирования и управления технологическими процессами орошения [57, 58].

Представленная на рисунке 2.11 схема демонстрирует современные тенденции развития оросительных мелиораций, связанные с переходом от

традиционных систем водораспределения к умным, основанным на технологиях точного земледелия, цифрового мониторинга и автоматизированного принятия решений. На рисунке 2.12 представлена научно обоснованная структура управления водопользованием с учётом теоретических и практических разработок.

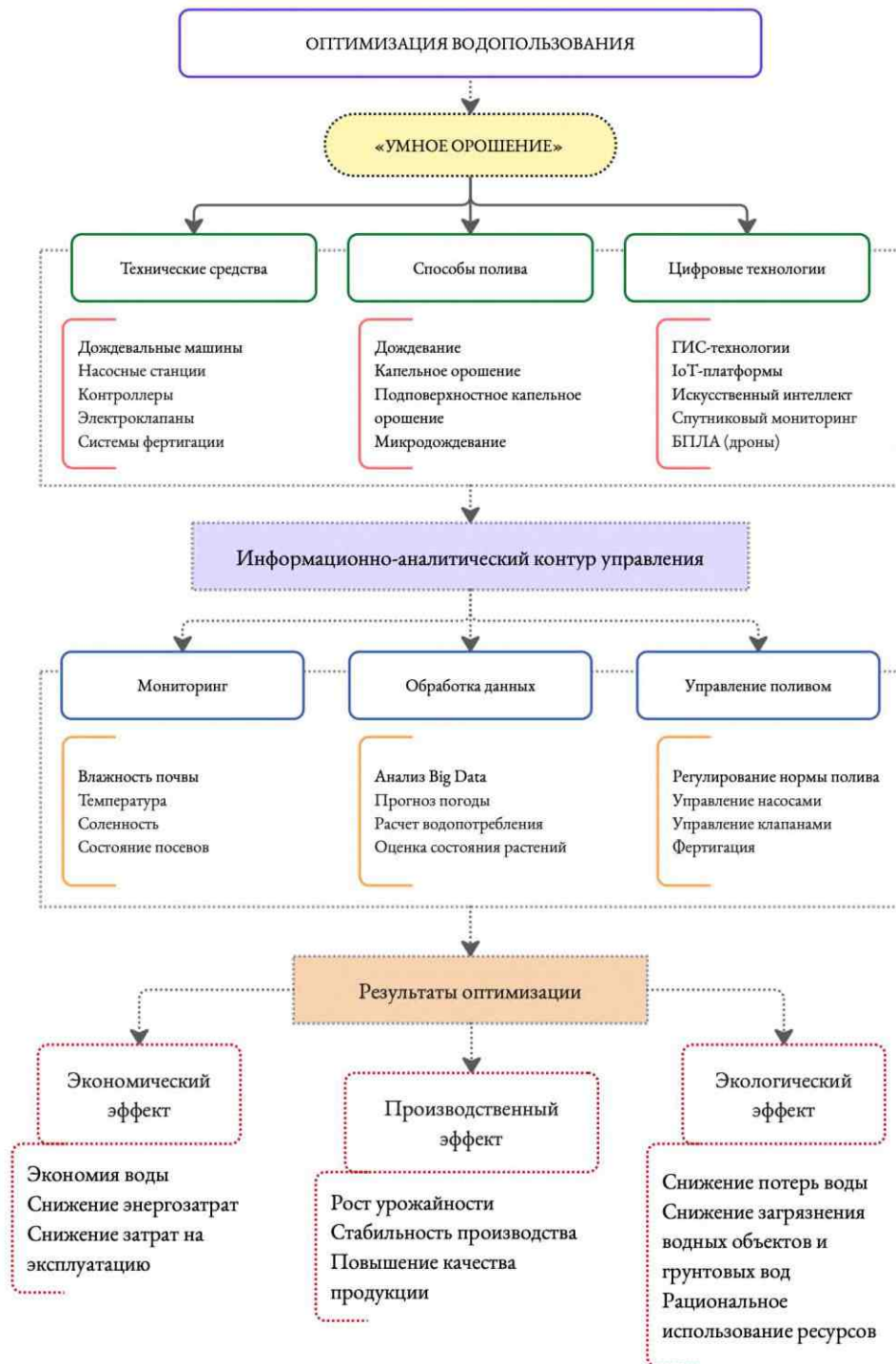


Рисунок 2.11 – Концептуальная схема оптимизации водопользования в оросительных мелиорациях на основе технологий «умного орошения»

Современные технологические решения в области оросительных мелиораций позволят существенно повысить эффективность использования водных ресурсов в Волгоградской области, а также пример данной региональной системы управления мелиоративным комплексом поспособствует усовершенствованию оросительных систем в других засушливых субъектах страны.

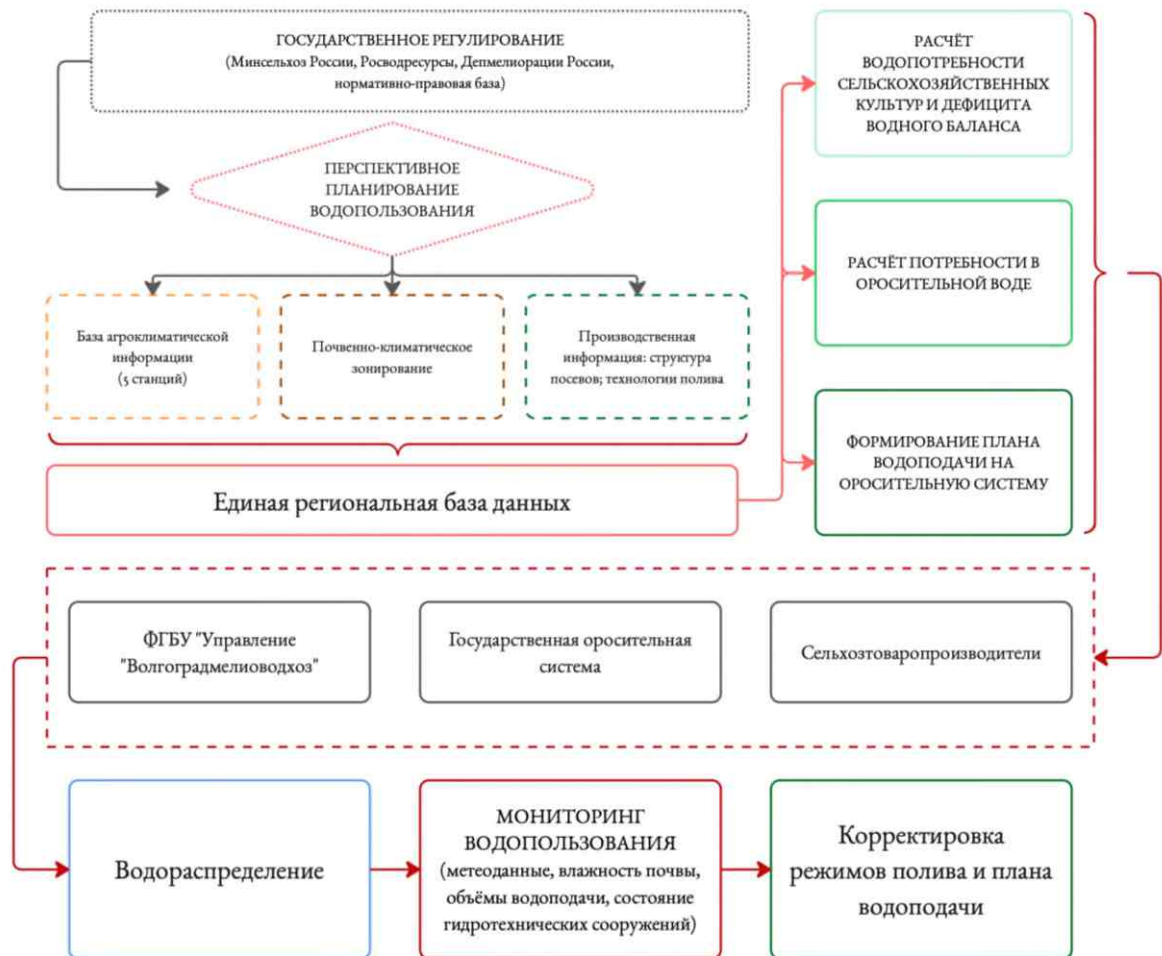


Рисунок 2.12 – Структура управления водопользованием с учётом практических разработок

Выводы:

1. Обеспечение оросительной водой орошаемых земель Волгоградской области реализуется в рамках сложного организационно-технического комплекса, объединяющего управление водными ресурсами, эксплуатацию гидромелиоративной инфраструктуры и взаимодействие с

водопользователями. Ключевым звеном этой системы выступает ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз», выполняющее функции единого оператора государственных мелиоративных систем и координирующее процессы водораспределения на всех этапах оказания услуг по подаче воды сельскохозяйственным производителям.

2. В современных условиях возрастает значимость совершенствования механизмов управления водопользованием, направленного на повышение гибкости и оперативности принимаемых решений. Использование инструментов оперативного контроля состояния посевов, анализа метеорологических параметров и оценки фактической водообеспеченности сельскохозяйственных культур позволит более точно определять потребность в оросительной воде, своевременно корректировать режимы водоподачи и повышать эффективность использования водных ресурсов в условиях возрастающей климатической неопределённости.

3 ПРОГРАММА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, РЕСУРСЫ И БАЗЫ ДАННЫХ

3.1 Методы исследования элементов водного баланса земель сельскохозяйственного назначения

Обоснование норм водопотребности для перспективного планирования водоподачи на орошаемые земли рассматривается как комплексная оценка влагообмена в циклической системе «атмосфера – почва – растение» (рис. 3.1). Определение потребности возделываемых культур в воде требует учёта приходных и расходных составляющих водного баланса (рис. 3.2), в котором участвуют атмосферные осадки, запасы продуктивной влаги в почве, фактическая и потенциальная эвапотранспирация, инфильтрационные потери, поверхностный сток и подпитывание грунтовыми водами.

В научно-практической среде существуют разработанные и эмпирически подтверждённые методики определения испаряемости, имеющие связь с дефицитом влажности и температурой воздуха. Из возможных методик расчёта показателей испарения, широкое применение в области эколого-мелиоративных наук занимают метод теплового баланса и турбулентной диффузии Х.Л. Пенмана [101]; водно-тепlobалансовый метод [19], комплексный подход Н.В. Данильченко [36]. Для целей оптимизации водопотребления сельскохозяйственных культур также известны исследования суммарного испарения Д.И. Шашко [125], С.Н. Вериги [23], Р.Э. Давида [33], П.И. Колоскова [58], А.Р. Константинова [60], А.Н. Костякова [63], И.П. Кружилина [64], А.М. Алпатьева [2], С.М. Алпатьева [3], Г.К. Льгова [69], В.С. Мезенцева [78], В.П. Остапчика [3], А.А. Роде [108], Г.Т. Селянинова [110], А.Ю. Черемисинова [119], Г.В. Ольгаренко [96], И.В. Ольгаренко [97], И.А. Шарова [124], Д.А. Штойко и многих других [87, 111, 127].

Важное значение водно-балансовый подход приобретает в условиях климатической изменчивости и необходимости сохранения пресных водных ресурсов, когда нормативные объёмы воды требуют учёта пространственной

неоднородности почв, динамической непредсказуемости метеорологических факторов и биологических особенностей культур.

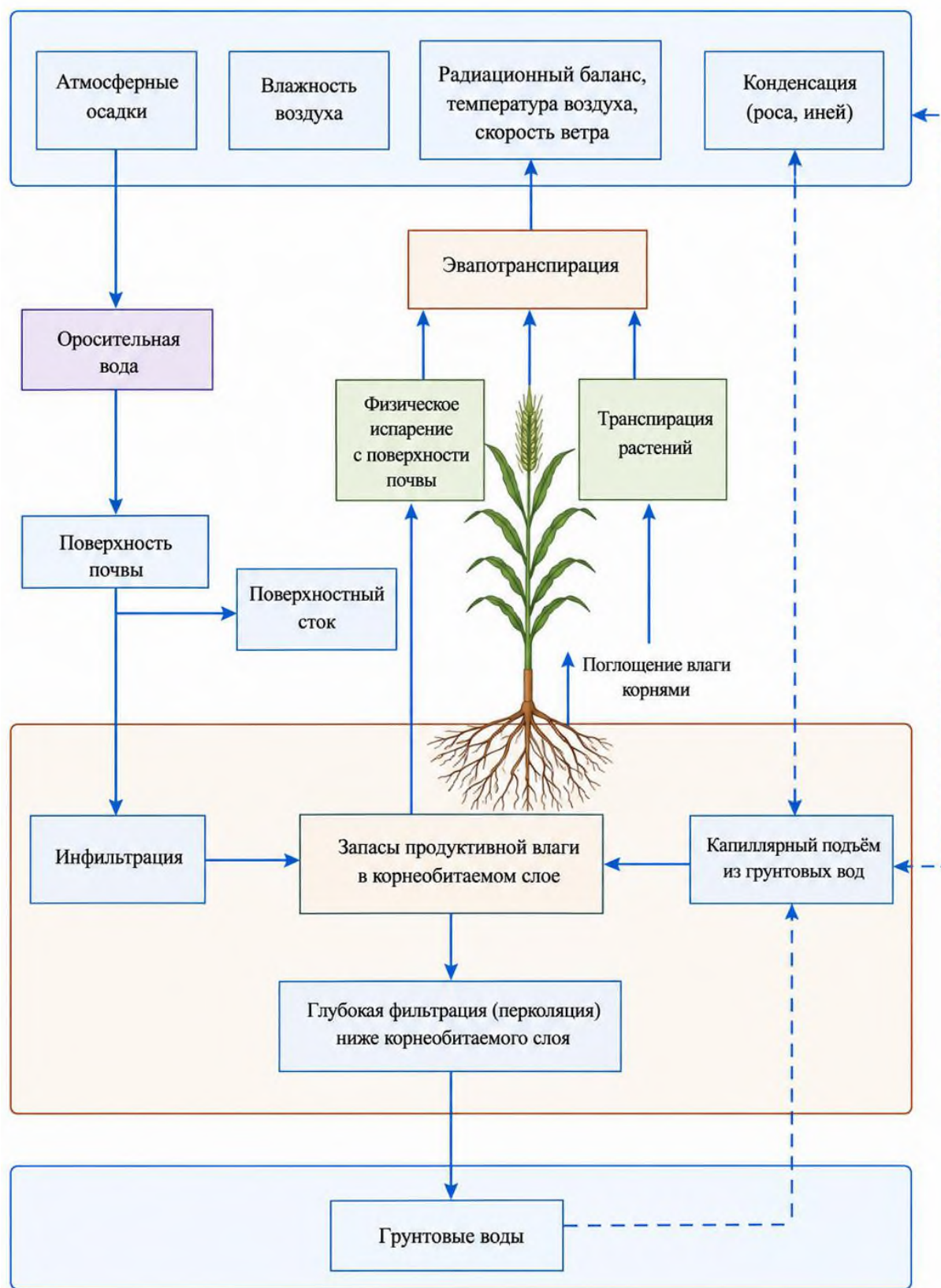


Рисунок 3.1 – Схема влагообмена в системе «атмосфера – почва – растение»

В исследованиях [163] отражены результаты определения водопотребления культур и сроков их поливов с применением модели почвенного водного баланса, основанных на подходах FAO-56¹⁸. Авторы [139] проводят комплексную оценку водного баланса опытного участка с использованием комбинированного подхода мониторинга влажности почвы в засушливых условиях орошаемого земледелия для оптимизации поливных норм. В работе [146] обосновывается эффективность дистанционного зондирования и водно-балансового моделирования при оценке фактического использования оросительной воды для орошения возделываемых культур.

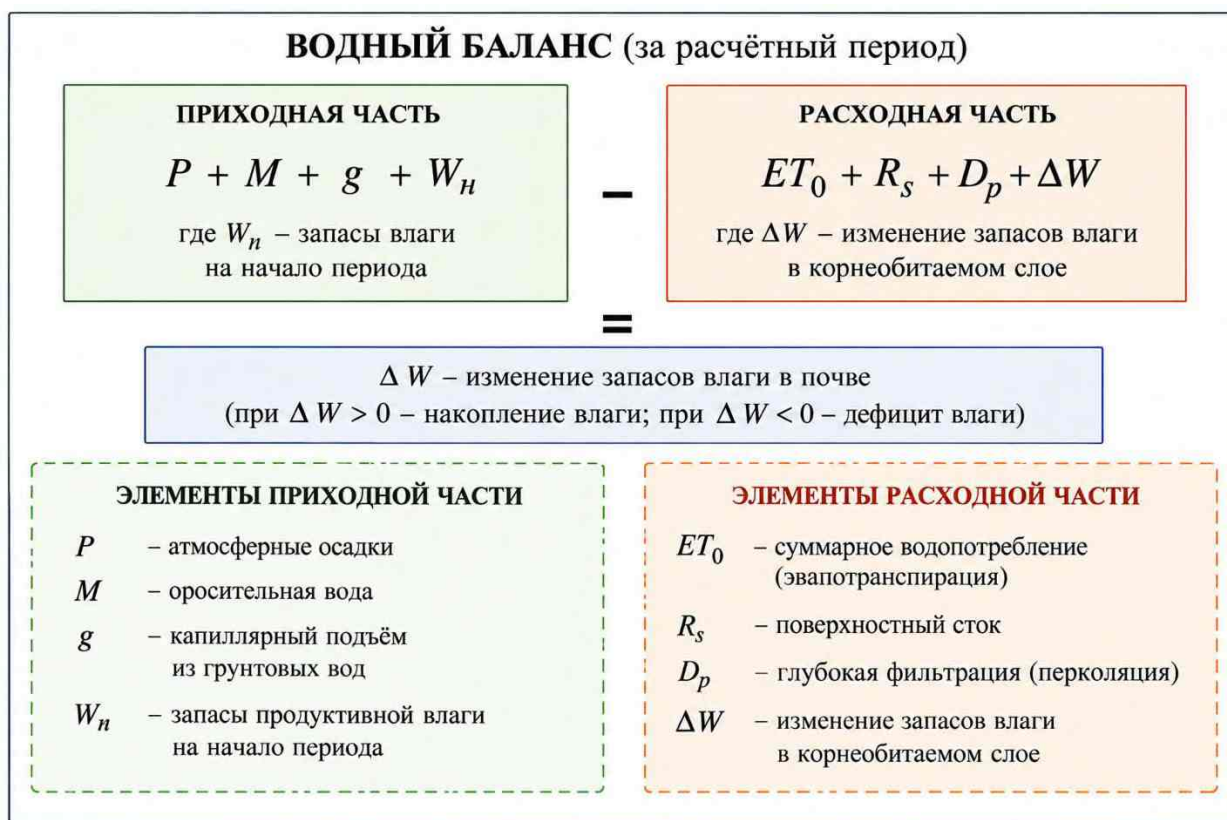


Рисунок 3.2 – Схема компонентов водного баланса за расчётный период

В рамках настоящего исследования основным методическим подходом выбран водно-балансовый метод определения норм водопотребности сельскохозяйственных культур с применением расчётного коэффициента увлажнения Н.В. Данильченко K_y (рис. 3.3). Его использование позволяет

¹⁸ Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome: FAO, 1998.

выполнить сравнительную оценку влагообеспеченности территории через соотношение приходной и расходной частей водного баланса. K_y особенно важен при почвенно-климатическом зонировании орошаемых земель, поскольку отражает степень естественного обеспечения культур влагой и позволяет определить районы, где дефицит атмосферного увлажнения должен компенсироваться за счёт дополнительной водоподачи [6].

С научно-методической позиции коэффициент увлажнения целесообразно рассматривать как интегральный индикатор, связывающий климатические условия, водно-физические свойства почвы и потенциальную потребность агроценозов во влаге. Его использование в перспективном планировании водоподачи позволяет не только уточнить расчётные нормы орошения, но и дифференцировать их по природно-климатическим зонам, типам почв, структуре посевных площадей и уровню влагообеспеченности вегетационного периода. Данный подход повышает обоснованность долгосрочных схем водопользования, способствует рациональному распределению водных ресурсов и снижает риск как водного дефицита, так и избыточного увлажнения почвенного профиля.

Основой исследования послужили результаты длительных гидрометеорологических наблюдений, накопленные для территории Волгоградской области. В анализ были включены сведения, характеризующие режим атмосферного увлажнения, температурные условия, влажность воздушных масс, интенсивность ветровых процессов и другие климатические показатели. Обобщение и последующая обработка эмпирических данных позволили определить пространственные особенности формирования влагообеспеченности и установить характер её распределения в различных природно-хозяйственных районах региона.

Для оценки обеспеченности сельскохозяйственных земель влагой был выполнен анализ водного баланса корнеобитаемого слоя почвы, отражающего соотношение поступления и расходования водных ресурсов. Источниками пополнения запасов влаги рассматривались атмосферные

осадки, оросительные мероприятия и остаточные почвенные влагозапасы. К факторам её расходования относили процессы испарения, потери воды вследствие вертикальной фильтрации, поверхностный сток, а также изменения объёма влаги, аккумулированной в почвенном профиле.

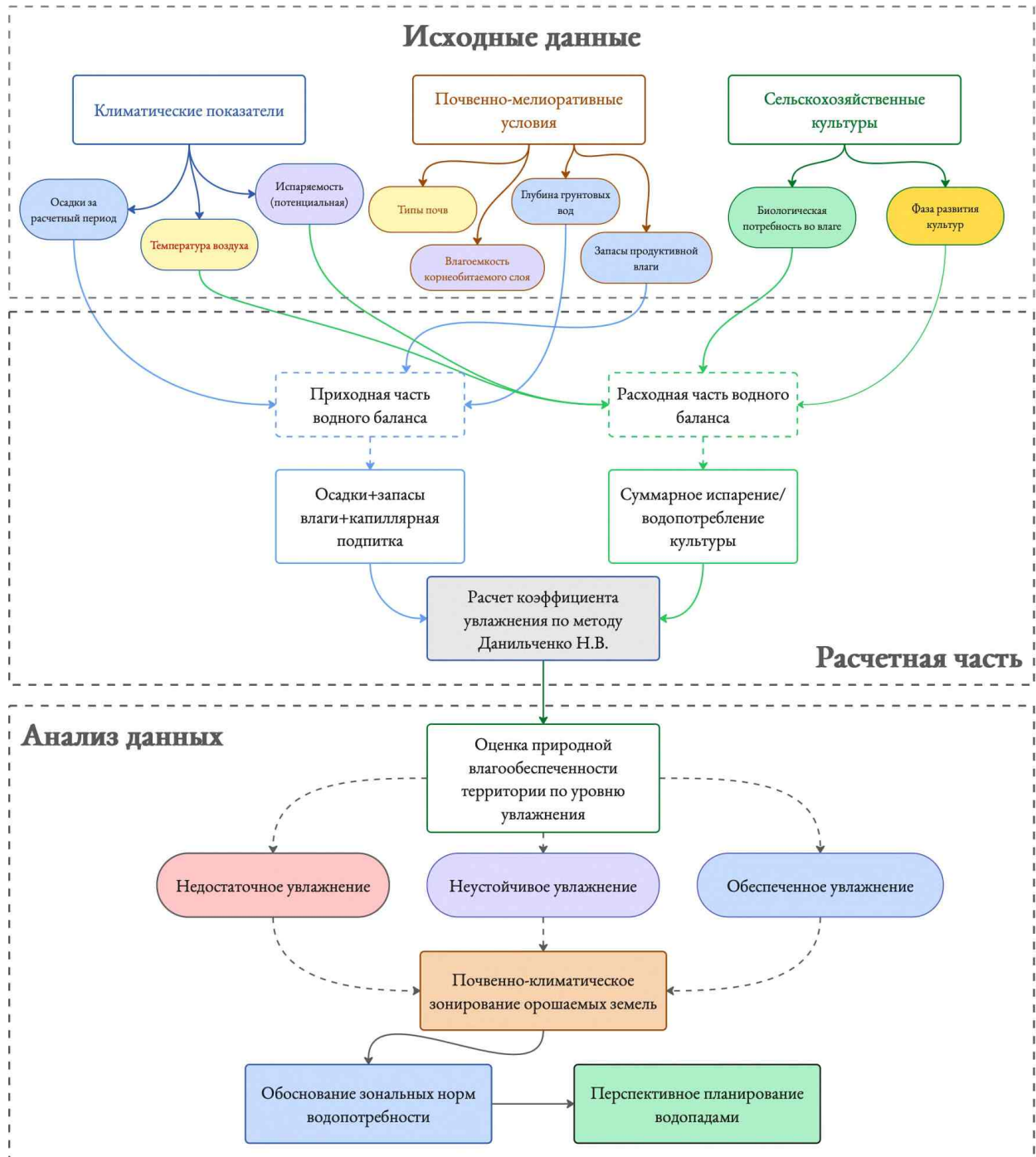


Рисунок 3.3 – Блок-схема водно-балансового метода определения перспективного планирования водопадачи

Испаряемость является показателем влагоёмкости воздуха, расчёты

основаны на модифицированной формуле Н.Н. Иванова:

$$E_0 = k_t \cdot d \cdot f(v), \quad (3.1)$$

где k_t – энергетический фактор испарения, мм/мбар;

d – дефицит влажности воздуха, мбар;

$f(v)$ – ветровая функция.

Энергетический фактор испарения определяется по формуле:

$$k_t = 0,0061 \cdot \frac{(25+t)^2}{l_a}, \quad (3.2)$$

где t – среднесуточная температура воздуха за расчётный период, °C;

l_a – упругость насыщенного пара при температуре t , мбар.

При этом дефицит влажности воздуха связан с относительной его влажностью зависимостью:

$$d = l_a (1 - 0,01 \cdot a), \quad (3.3)$$

где a – относительная влажность воздуха, %.

Произведение ($k_t \cdot d$) выражается следующим образом:

$$k_t = 0,0061 \cdot (25+t)^2 \cdot (1 - 0,01 \cdot a), \quad (3.4)$$

Ветровая функция по Н.В. Данильченко определяется выражением:

$$f(v) = 0,64 + 0,12 \cdot v, \quad (3.5)$$

где v – скорость ветра на высоте 2 м, м/с.

В таблицах 3.1-3.3 приведены значения соответственно энергетического фактора k_t (мм/мбар) относительно температуры воздуха t , ветровой функции $f(v)$ в зависимости от скорости ветра v на высоте 2-х метров, а также понижающего коэффициента k_v .

По расчётным показателям испаряемости и метеорологическим данным осадков за тёплый период определяется коэффициент увлажнения, который в данном исследовании рассматривается как комплексный показатель для определения цикличности метеорологических условий.

$$K_y = \frac{W_a + P_e}{E_0}, \quad (3.6)$$

где P_v – осадки за теплый период года ($+5\text{ }^{\circ}\text{C}$), мм;

W_a – запасы активной почвенной влаги, мм;

E_0 – испаряемость, мм.

Активные влагозапасы определяются по формуле:

$$W_a = W_{\phi} - W_0, \quad (3.7)$$

где W_{ϕ} – фактические почвенные влагозапасы метрового слоя (или активного слоя для конкретной культуры) в весенний период, мм;

W_0 – труднодоступные запасы почвенной влаги (0,5-0,6 для песчаных и супесчаных почв; 0,6-0,7 для суглинков; 0,7-0,8 для глинистых почв). Фактическая влажность в весенний период $0,85 \cdot \text{НВ}$, труднодоступная $0,65 \cdot \text{НВ}$, для средних суглинков каштановых почв НВ 23-25 % (масс.).

Таблица 3.1 – Зависимость k_t от t

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

Таблица 3.2 – Зависимость $f(v)$ от v

Критерий	Значение								
Скорость ветра v , 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	1,0	1,12	1,24	1,36	1,48	

Таблица 3.3 – Значения k_v для определения v на высоте 2-х метров

Критерий	Значение								
h_{ϕ}	2	6	7	8	9	10	11	12	13
k_v	1	0,83	0,81	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,75

Среднемноголетние значения показателя K_y , рассчитанный по метеоданным Волгоградской области, полученным по 5 станциям за 50-летний период (с мая по сентябрь), позволяют составить карту изолиний методом линейной интерполяции, отражающей изменчивость природного увлажнения территории. По данной изменчивости выделяются физико-географические зоны. В ГОСТе¹⁹ приведена градация природных зон по

¹⁹ ГОСТ Р 58331.3-2019. Системы и сооружения мелиоративные. Водопотребность для орошения сельскохозяйственных культур. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2019. 26 с.

значениям коэффициента увлажнения: $K_y < 0,20$ – пустынная зона; $K_y = 0,21-0,30$ – полупустынная зона; $K_y = 0,31-0,40$ – сухостепная зона; $K_y = 0,41-0,50$ – умеренно сухая степь; $K_y = 0,51-0,80$ – лесостепная зона; $K_y > 0,80$ – лесная зона. По данным метеонаблюдений были определены коэффициенты увлажнения за тёплые периоды каждого года (табл. 3.4).

Таблица 3.4 – Среднее значение K_y за 50-летний ретроспективный ряд

Местоположение метеостанции	Минимальное значение K_y за тёплый период > 50 лет	Максимальное значение K_y за тёплый период > 50 лет	Среднее значение K_y за тёплый период > 50 лет	Природная агроклиматическая зона
Волгоград	0,2	0,5	0,3	сухостепная зона
Иловля	0,2	0,8	0,4	сухостепная зона
Котельниково	0,2	0,8	0,32	сухостепная зона
Палласовка	0,2	0,4	0,25	полупустынная зона
Урюпинск	0,2	0,7	0,37	степная зона

Следующим этапом расчётной части исследования следует определить суммарное водопотребление по всем зонально значимым сельскохозяйственным культурам. Эвапотранспирация зависит от биологических свойств растений и ранее определённой испаряемости:

$$ET_0 = E_0 \cdot K_6 \cdot K_0, \quad (3.8)$$

где E_0 – испаряемость, мм;

k_0 – микроклиматический коэффициент, отражающий изменение интенсивности испарения под воздействием орошения (учитывается при расчётах на большие площади);

k_6 – биоклиматический коэффициент, характеризующий роль растения в расходовании влаги.

Определение суммарного испарения также может быть произведено по формуле с применением температурного показателя сельскохозяйственной культуры и суммарного количества температур воздуха за период вегетации:

$$ET_0 = K_t \cdot \sum t_{\text{сум}}, \quad (3.9)$$

где k_t – температурный коэффициент испарения, мм/°С;

$\Sigma t_{\text{сут.}}$ – сумма среднесуточных температур воздуха за расчётный период.

Таблица 3.5 – Значения k_0 в зависимости от K_y и площади орошения

Площадь орошения, тыс. га	Коэффициент K_y						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
0,1	0,88	0,91	0,94	0,96	0,97	0,99	1,0
1,0	0,82	0,85	0,88	0,91	0,93	0,94	0,96
10,0	0,77	0,82	0,86	0,89	0,91	0,93	0,95
50,0	0,73	0,78	0,83	0,86	0,89	0,92	0,94

Определение суммарного водопотребления за вегетационный период культуры позволяет перейти к оценке дефицита водного баланса:

$$M = ET_0 - (W_a + P + g), \quad (3.10)$$

где g – использование грунтовых вод (при залегании на глубине < 3 м).

3.2 Формирование региональной базы агроклиматических данных на основе гидрометеорологических ресурсов

Этап проведения агроклиматического анализа при обосновании норм водопотребности вызывает необходимость формирования преобразованных данных о природно-климатическом состоянии территории исследования. Ввиду этого была образована специализированная региональная база климатических показателей.

Источником информации при формировании базы послужили архивные материалы наблюдений сети метеостанций в Волгограде (СИ 34561, координаты – $48^{\circ}40'$ с.ш., $44^{\circ}27'$ в.д.), Урюпинске (34240, координаты – $50^{\circ}47'$ с.ш., $42^{\circ}03'$ в.д.), Иловле (СИ 34461, координаты – $49^{\circ}18'$, $43^{\circ}58'$ в.д.), Котельниково (СИ 34655, координаты – $47^{\circ}37'$ с.ш., $43^{\circ}08'$ в.д.) и Палласовке (СИ 34373, координаты – $50^{\circ}02'$ с.ш., $46^{\circ}52'$ в.д.).

Расположение метеостанций обуславливает охват основных агроклиматических условий области, которые могут характеризоваться значительными вариациями обеспеченностей теплом, влагой и испаряемостью. Пространственное распределение пунктов получения климатической информации позволяет учитывать особенность северо-

западной части региона, так и наиболее подверженных районов к засухе – юг Заволжья и юго-восточное направление (рис. 3.4).

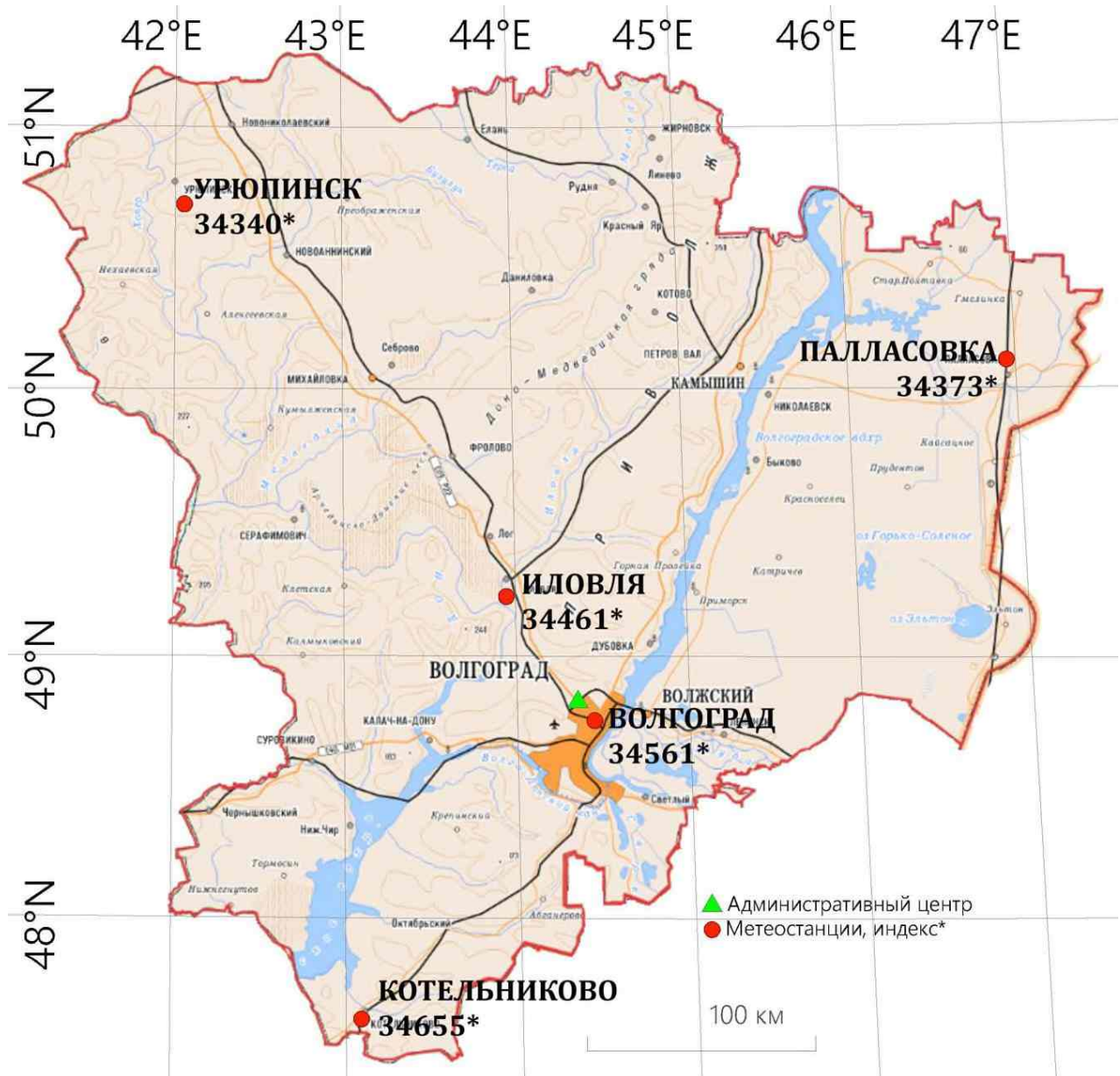


Рисунок 3.4 – Территориальное размещение метеостанций в границах Волгоградской области

База данных имеет многоуровневую систему (рис. 3.5): первичный уровень включает метеорологические сведения об атмосферных осадках, среднесуточных температурах воздуха, скорости ветра, упругости водяного пара, дефицита влажности воздуха; далее рассматривается блок вычисляемой части базы данных, к которой относятся расчётные показатели водного

режима территориального охвата каждой станции; следующая ступень – обобщения значений агроклиматических условий для дальнейшего статистического преобразования агроклиматических обеспеченностей региона исследования.

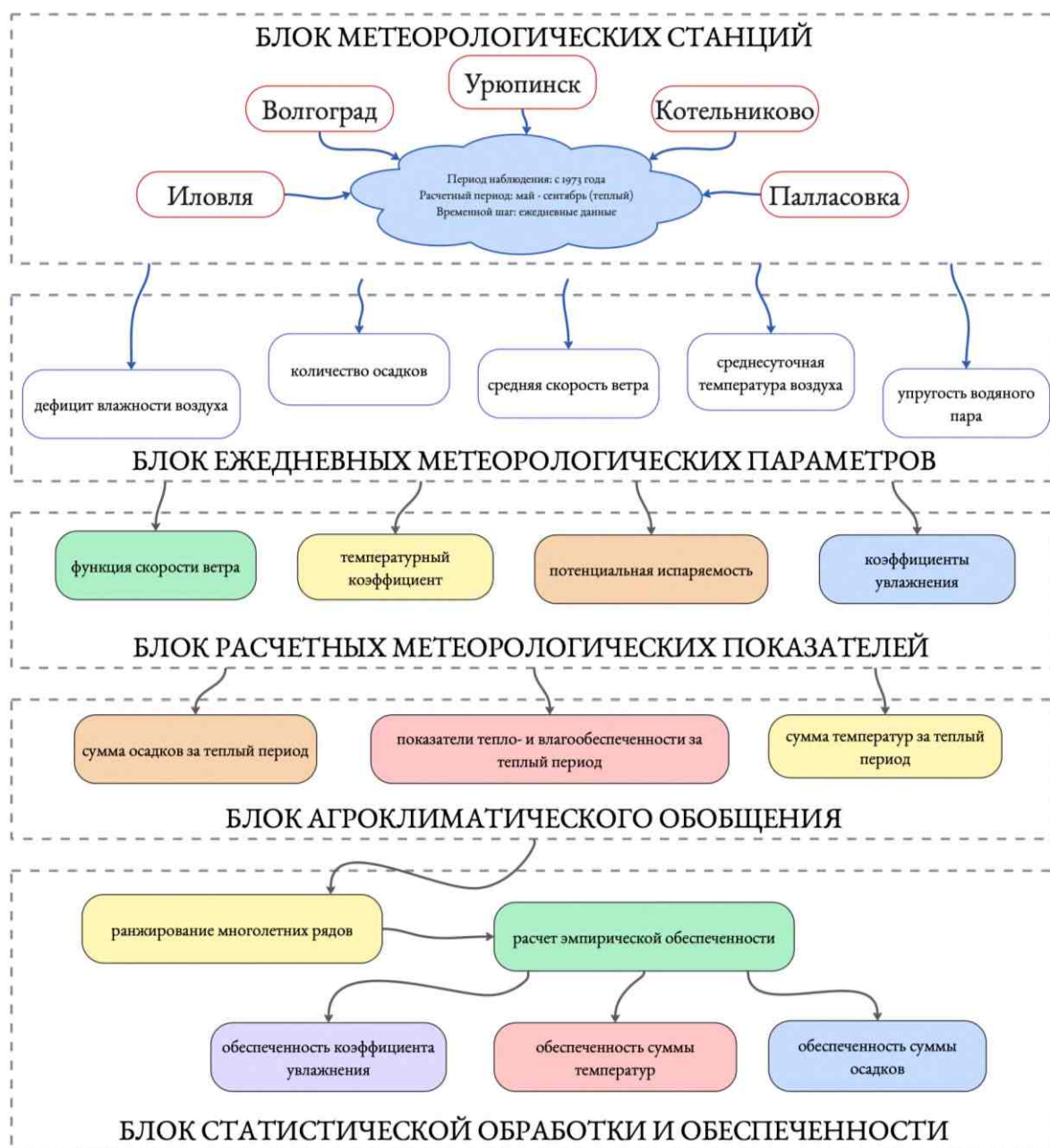


Рисунок 3.5 – Структура региональной базы агроклиматических данных для обоснования норм водопотребности культур

На рисунке 3.6 показан фрагмент зарегистрированной базы данных № 2026622934, которая содержит многолетние ежедневные метеоданные и используется для оценки влагообеспеченности и потребности в объёмах

мелиоративного регулирования при орошении.

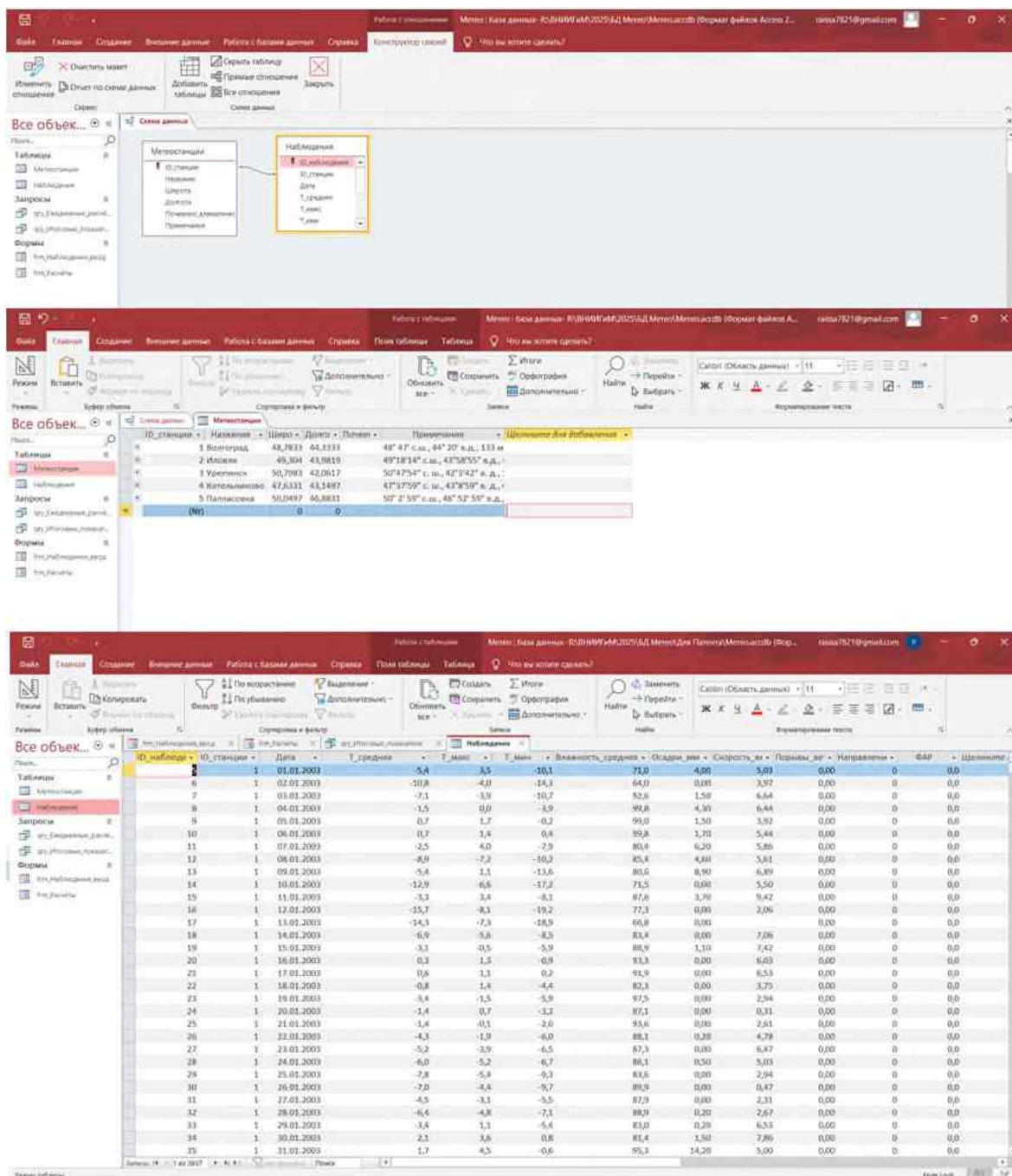


Рисунок 3.6 – База данных «Метеорологическое обеспечение мелиорации» (Access)

3.3 Формирование региональной базы биоклиматических коэффициентов водопотребления основных культур орошаемого земледелия

Разработка региональной базы данных биоклиматических (в т.ч. температурных) коэффициентов водопотребления сельскохозяйственных

культур является важной составляющей научного обеспечения планирования водоподачи на орошаемые земли. Биоклиматический коэффициент k_6 – это расчётный показатель, отражающий степень соответствия между фактическими затратами влаги культурой и климатически обусловленным уровнем испарения за определённый период вегетации, и применяется при расчётах суммарного испарения (см. формулы 3.8 и 3.9, рис. 3.7).

Использование единых нормативных показателей не всегда позволяет достичь необходимой точности расчётов, поскольку внутри таких территорий сохраняются существенные различия в условиях тепло- и влагообеспеченности. Следствием этого становится увеличение неопределённости при расчёте потребности культур в оросительной воде и снижение эффективности принимаемых водохозяйственных решений [168].

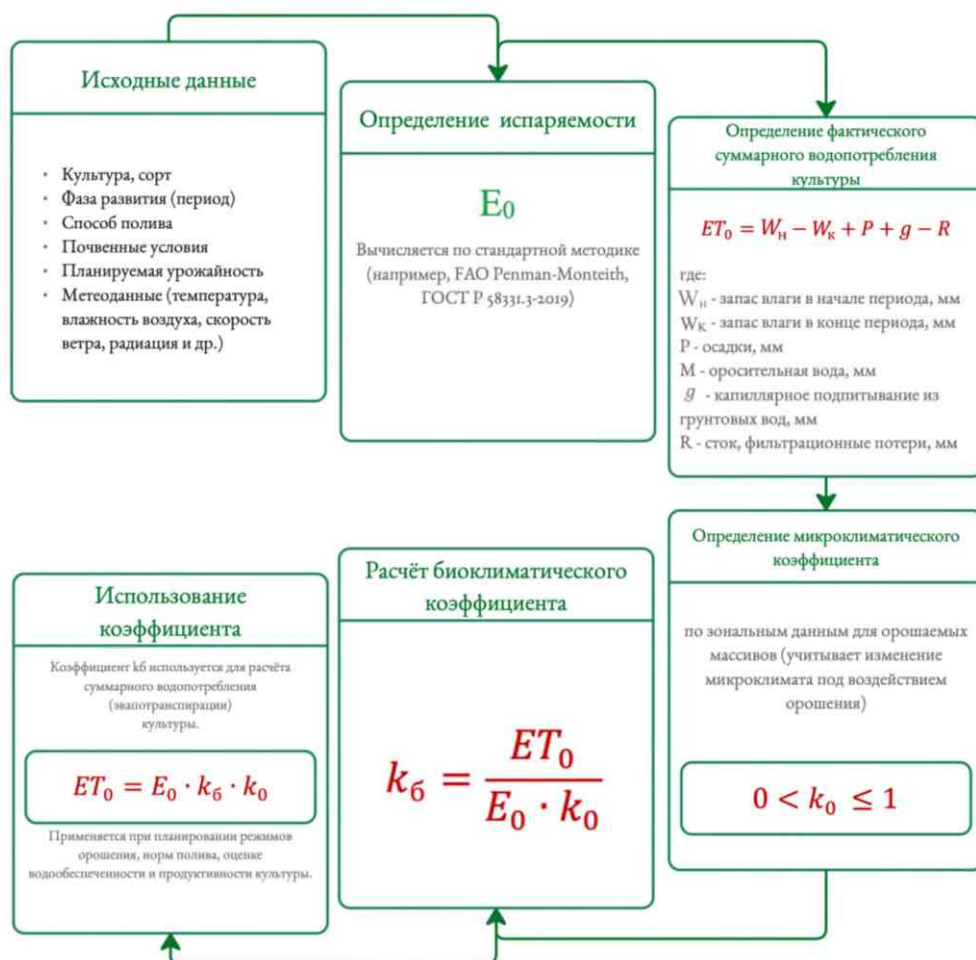


Рисунок 3.7 – Блок-схема определения биоклиматического коэффициента k_6 для планирования режимов орошения сельскохозяйственных культур

Для Волгоградской области эта проблема имеет особую практическую значимость, что обусловлено выраженной неоднородностью природных условий. Изменчивость температурного режима, неравномерность распределения атмосферных осадков, различия в показателях влажности воздуха, ветровой активности и радиационного режима оказывают заметное влияние на интенсивность процессов испарения и транспирации. В результате даже в пределах относительно близко расположенных районов складываются различные условия влагообеспечения культур, определяющие особенности их водного режима и величину суммарного водопотребления.

Существование территориальных различий свидетельствует о необходимости перехода от обобщённых нормативных показателей к более детализированному подходу. Региональная база биоклиматических коэффициентов позволяет установить зависимости между климатическими условиями и водопотребностью культур, обеспечивая более высокий уровень достоверности расчётов. Применение такого подхода создает предпосылки для повышения качества прогнозирования водопотребности, совершенствования схем распределения оросительной воды и повышения эффективности управления водными ресурсами, а регионализация расчётных коэффициентов способствует формированию научно обоснованной системы водопользования, ориентированной на особенности природной среды и требования к устойчивому развитию мелиоративного комплекса [46].

Сбор исходной эмпирической информации проводили по существующим исследованиям на территории Нижнего Поволжья с извлечением значений коэффициентов испарения по межфазным периодам для каждой культуры (табл. 3.6, рис. 3.8). Таким образом сформирована база данных биоклиматических и температурных коэффициентов (приложения А, Б, рис. 3.9) овощных культур (капуста, лук, свекла редька, морковь, томат, картофель баклажан), зернобобовых (соя), зерновых (сорго, рис, кукуруза, гречиха), кормовых (однолетние и многолетние культуры), технических (хлопчатник), бахчевых (арбуз), крупяных (гречиха).

Таблица 3.6 – Источники эмпирических данных биоклиматических и температурных коэффициентов водопотребления культур

Культура	Период исследования	Разработчики
Люцерна	2007-2009	Панкова Т.А., Затицацкий С.В. [100]
Соя на семена	2009-2011	Ушакова Е.В., Мелихов В.В. [115]
Томат	2000-2003	Дементьев А.В., Бородычев В.В. [39]
Кукуруза на зерно	1996-1998	Тихонова М.К., Кружилин И.П. [113]
Рис	1999-2001	Родин К.А., Кружилин И.П. [109]
	2013-2015	Абду Н.М., Дубенок Н.Н. [46]
Баклажан	2006-2008	Давыдов И.А., Ахмедов А.Д. оглы [34]
Кукуруза на зерно	2010-2014	Коновалова Г.В., Дубенок Н.Н. [60]
Картофель	2015-2017	Болотин Д.А., Дубенок Н.Н. [14]
Морковь	2015-2017	Дусарь С.А., Овчинников А.С. [47]
Редька	2015-2017	Милованов С.Г., Ходяков Е.А. [81]
Хлопчатник	2019-2021	Бондаренко К.В., Ходяков Е.А. [15]
Арбуз	1993-1995	Колебошина Т.Г., Литвинов С.С. [58]
Однолетние кормовые культуры	1995-1997	Запорожцев П.В., Гаврилов А.М. [48]
Сорго зерновое	2001-2003	Иванов В.М., Даниленко Ю.П. [50]
Капуста ранняя белокочанная	2002-2004	Болдырь А.И., Кружилин И.П. [64]
Свёкла	2003-2005	Мелихова Е.В., Григоров С.М. [80]
Лук репчатый	2004-2006	Выборнов В.В., Бородычев В.В. [25]
Перец сладкий	2002-2004	Данилко О.В., Овчинников А.С. [35]
Гречиха	2006-2008	Донгузова Ю.В., Григоров С.М. [42]

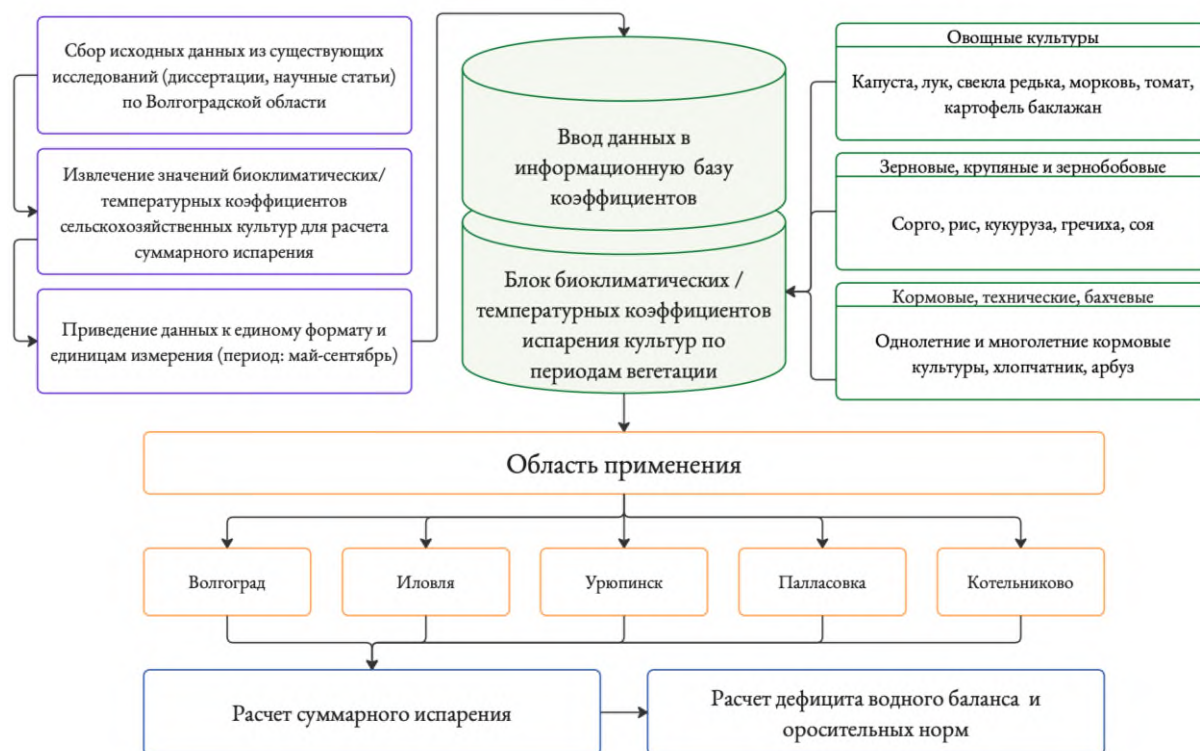


Рисунок 3.8 – Схема формирования базы данных биоклиматических коэффициентов сельскохозяйственных культур

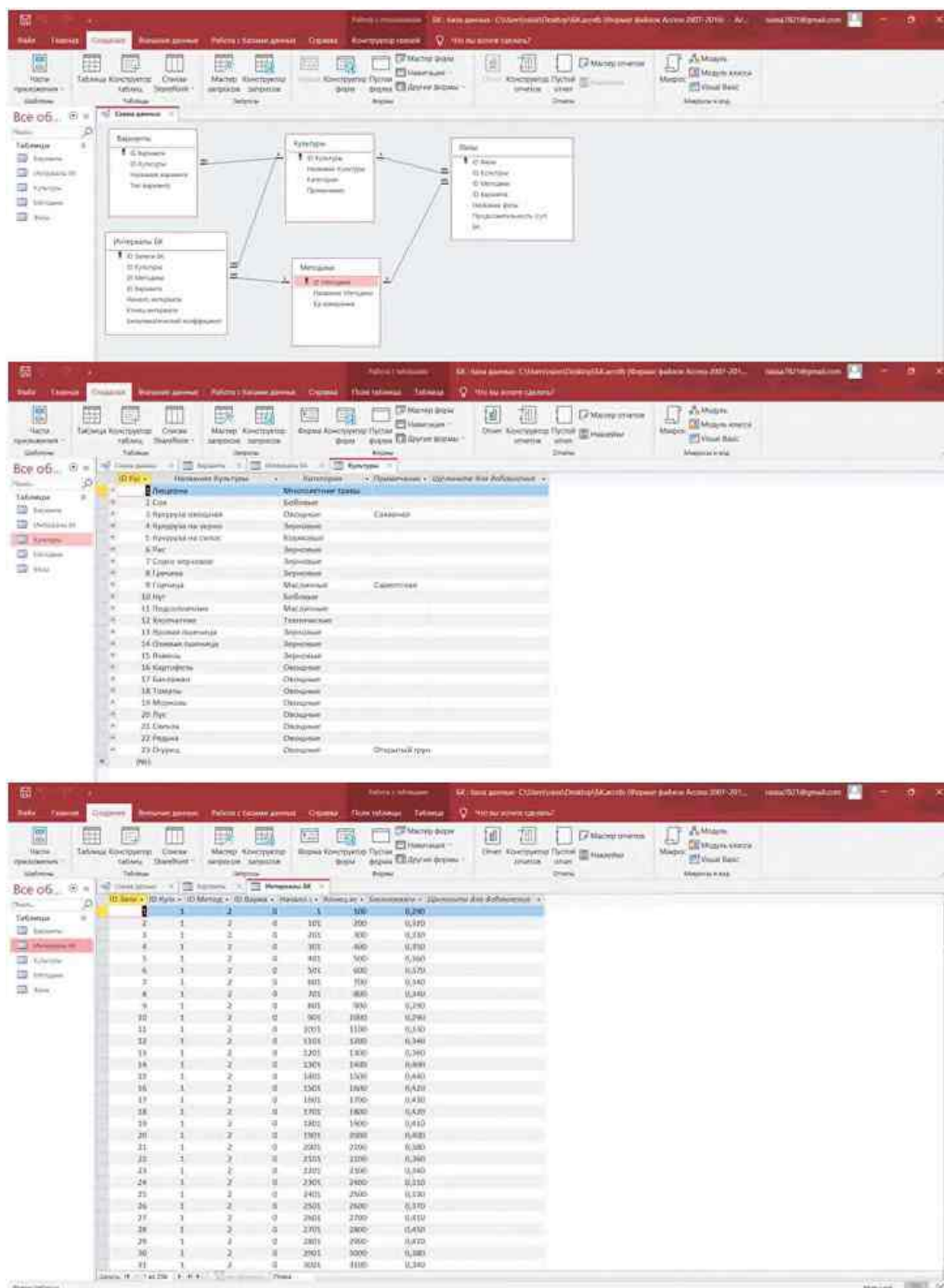


Рисунок 3.9 – База данных «Биоклиматические коэффициенты водопотребления культур» (Access)

3.4 Методы анализа и построения описательных моделей временных рядов агроклиматических ресурсов

Климатическая обусловленность устойчивости аграрных систем проявляется в изменчивости погодных условий, напрямую влияющих на биологические процессы роста и развития растений, а также определяющие

допустимые границы возделывания сельскохозяйственных культур в различных природно-аграрных зонах. Комплексная характеристика агроклиматического потенциала территорий служит основой для разработки гибких и адаптивных систем земледелия, ориентированных на учёт возможных колебаний температурных показателей и уровня атмосферного увлажнения. В данном аспекте особую значимость приобретает изучение закономерностей поступления атмосферных осадков и радиационного тепла, позволяющее оценить степень их обеспеченности в течение вегетационного периода и стабильность производства растениеводческой продукции [20].

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция к увеличению числа научных исследований, посвящённых анализу климатических параметров территорий с использованием временных рядов температуры воздуха и осадков. Данные исследования находят применение не только в области гидрометеорологии и смежных естественнонаучных дисциплинах, но и активно интегрируются в аграрную науку. Особую актуальность приобретает изучение естественного гидротермического режима в условиях учащения экстремальных погодных явлений, что имеет принципиальное значение для земледелия, особенно в зонах с ограниченным или нестабильным водообеспечением.

Значительное внимание вопросам климатической специфики регионов богарного земледелия уделяется в исследованиях африканских стран [156, 198], где отмечаются тенденции к неравномерности распределения осадков и постепенному росту температурного фона. В научных работах азиатских исследователей при формировании стратегий КОСХ широко применяются методы статистического анализа и инструменты прогностического моделирования погодных процессов [169]. Существенный вклад в развитие данного направления вносят и отечественные научные организации, такие как ВНИИ «Радуга» [77], ВНИИОЗ [67, 73], ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова [55, 126], ФНЦ Агроэкологии РАН [68, 22], ВНИИ сельскохозяйственной метеорологии [53] и другие учреждения [49]. В их

работах которых рассматриваются вопросы прогнозирования тепло- и влагообеспеченности, анализа засушливых явлений и моделирования продуктивности культур в условиях интенсивного землепользования.

Следует подчеркнуть, что характер изменчивости погодных условий зависит от региональных климатообразующих факторов, что требует учёта мезоклиматических особенностей при анализе текущих тенденций и динамики соответствующих показателей. Метеопараметры отличаются не стационарностью из-за суточных и сезонно-годовых колебаний, а также выраженной пространственно-временной взаимосвязанностью, что существенно затрудняет их корректное математическое описание. Применение классических методов анализа временных рядов не всегда обеспечивает достаточную точность результатов, в то время как методы пространственного обобщения зачастую основываются на приближённых оценках. В связи с этим более эффективным инструментом выявления закономерностей вероятностного проявления погодных режимов является метод сезонной декомпозиции, основанный на анализе структуры многолетних рядов наблюдений за ретроспективный период [122].

Оценка многолетнего режима погоды сельскохозяйственных районов Волгоградской области проводится методом математического моделирования с применением программных средств по исходным метеоданным с региональных станций. В данном разделе рассматривается методический подход статистического моделирования тепло-и влагообеспеченности территории с оценкой вкладов, образующих эмпирической информации для применения прогнозных симуляций [9, 10].

Объектом изучения являются временные ряды среднесуточных температур воздуха и суммарного количества осадков за тёплый период (май – сентябрь) с 1973 по 2025 год (рис. 3.10-3.11). Первичное преобразование исходных временных интервалов метеопараметров в MS Excel позволяет в упорядоченном формате производить базовые статистические вычисления.

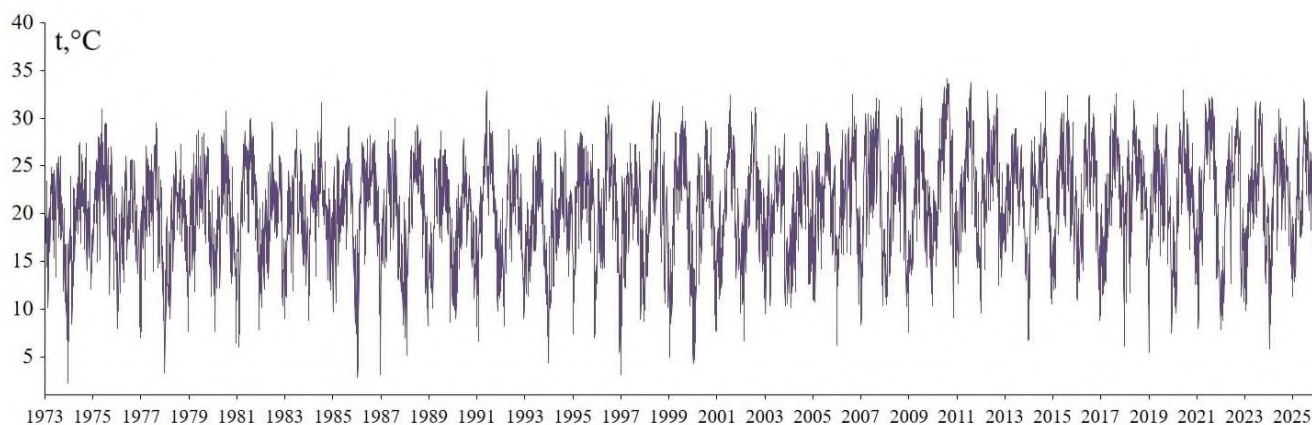


Рисунок 3.10 – Многолетняя динамика среднесуточных температур воздуха

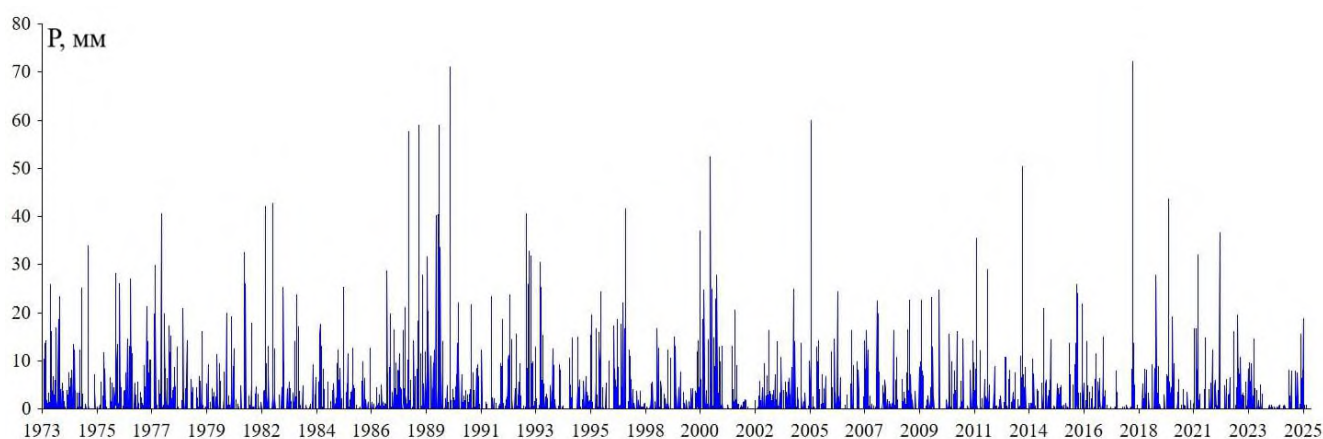


Рисунок 3.11 – Многолетняя динамика суточного количества осадков

Основной этап расчётно-статистической трансформации многолетнего массива метеорологических параметров проводится в программе Statistica 10. Последовательность анализа суммарного суточного количества осадков и среднесуточных температур воздуха, позволяющая выявить временно-периодические закономерности и цикличности внутригодовых вариаций погодного режима, аналогична для двух временных рядов (рис. 3.12)^{20,21}.

Порядок преобразования (рис. 3.12) реализуется по всем рассматриваемым станциям с синоптическими индексами (СИ) 34561 (г. Волгоград), 34461 (г. Иловля), 34655 (г. Котельниково), 34373 (г. Палласовка), 34340 (г. Урюпинск). Ниже приведен пример моделирования

²⁰ Вуколов Э.А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL: учеб. пособие. М., 2008. 464 с.

²¹ Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации: учеб. в 2-х т. Т. 1. Первичный анализ и построение эмпирических зависимостей. СПб., 2020. 256 с.

метеорядов осадков и температур воздуха для станции с СИ 34561.



Рисунок 3.12 – Блок-схема математического моделирования метеорядов

Начальным этапом статистического анализа многолетних метеорядов является определение «нормальности» распределения значений ряда за изучаемый период с использованием функции плотности вероятностного распределения случайных величин (закон Гаусса):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (3.11)$$

где μ – среднее математическое ожидание;

σ^2 дисперсия (стандартное отклонение):

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i; \quad (3.12)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2. \quad (3.13)$$

По вычисленным значениям временной ряд преобразуется в гистограмму, распределяясь $[x_i, x_{i+1}, x_{i+2}, \dots, x_N]$ на количество m интервалов, каждый из которого соответствует размеру $[b_j, b_{j+1}]$: показателю j присуще

значение f_j – количество попаданий в интервал величины x_i , случайно проявившейся в исходном ряду. Высота p_j , отражающая частоту появления случайных величин, и ширина h интервалов определяются по формулам:

$$p_j = \frac{f_j}{N \cdot h}; \quad (3.14)$$

$$h = b_{j+1} - b_j, \quad (3.15)$$

где N – число наблюдений.

По итогу вычислительных операций исходные климатические ряды преобразуются в гистограммы распределений. Гистограммы распределения значений среднесуточных температур воздуха (рис. 3.13) и суммарного количества осадков (рис. 3.14) имеют принципиальные различия. Колоколообразная форма, близкая к симметричной, гистограммы ряда температур воздуха по регулярности проявления величин ряда поддаётся описанию функции нормального распределения:

$$\sum_{i=1}^m (p_j \cdot h) = 1, \quad (3.16)$$

что указывает на его «нормальность». Аналогичные данные получены по станциям в Иловле, Урюпинске, Котельниково и Палласовке.

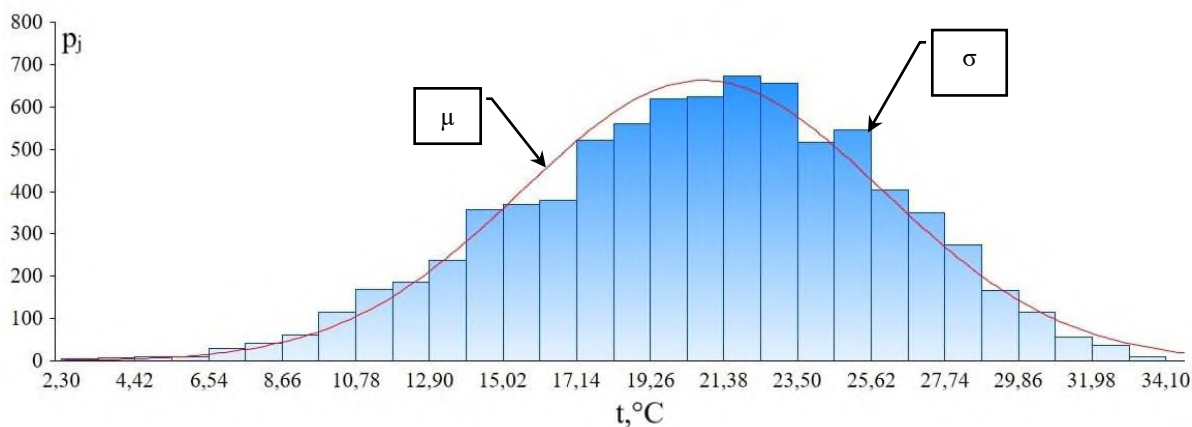


Рисунок 3.13 – Гистограмма распределения значений среднесуточных температур воздуха

Гистограмма распределения значений атмосферных осадков имеет несимметричную форму. Выраженный асимметричный сдвиг функции в

начало климатического ряда (от 0 до 2,89 мм), указывает на то, что наиболее часто проявление метеоявления происходит в данном диапазоне (~ 7300 раз), отсутствие центра симметричности свидетельствует о несоответствии исследуемого ряда закону нормального распределения.

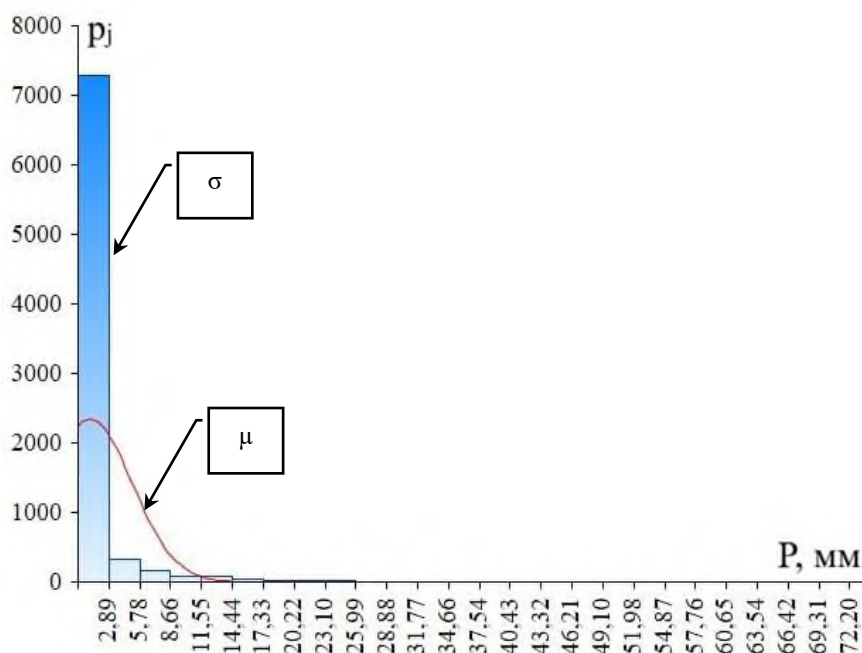


Рисунок 3.14 – Гистограмма распределения значений атмосферных осадков

Климатические ряды данных атмосферных осадков со станций Иловля, Урюпинск, Котельниково, Палласовка, показывают аналогичные результаты.

На следующем этапе методом автокорреляционного анализа проводили проверку значений метеопараметров на случайное проявление без внутренней структуры. Таким образом оценивали природу ряда последовательных значений и определяли, является ли он совокупностью случайных величин, не обладающих внутренней согласованностью, или демонстрирует наличие зависимости между последовательными наблюдениями и временным фактором.

Для оценки ряда данных на «белый шум» вычисляли автокорреляционную функцию (АКФ) по каждому набору метео данных. К временному ряду вида $[x_t, x_{t+1}, x_{t+2}, \dots, x_{t+N}]$ с лагом k применяется функция:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} [(x_t - x_{cp}) \cdot (x_{t+k} - x_{cp})]}{\sum_{t=1}^{N-k} (x_t - x_{cp})^2}, \quad (3.17)$$

где x_{cp} – среднее значение случайной величины x_i :

$$x_{cp} = \frac{\sum_{t=1}^N x_t}{N}. \quad (3.18)$$

АКФ ряда среднесуточных температур воздуха указывает на наличие статистически значимой временной связи, о которой свидетельствуют значения коэффициента автокорреляции, $r_k > \pm 2 \cdot N^{-0,5}$, а волнообразная форма графической зависимости указывает на присутствие сезонной составляющей и повторяющихся циклических изменений в структуре ряда (рис. 3.15), что в совокупности указывает на отсутствие «белого шума».

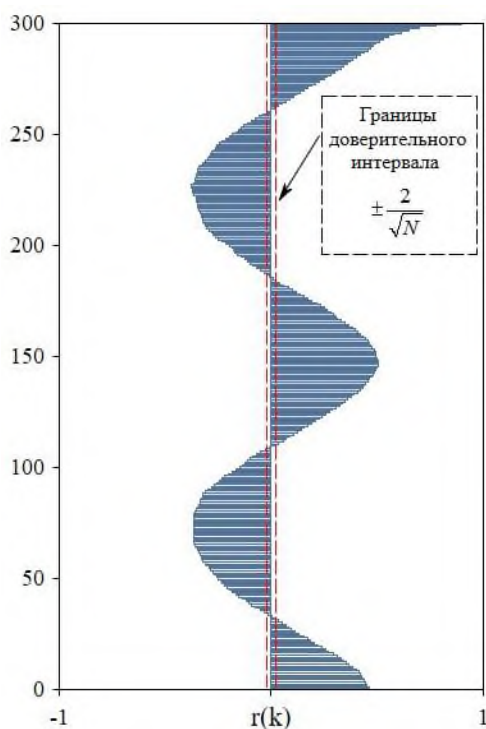


Рисунок 3.15 – АКФ ряда среднесуточных температур воздуха (при $N > 1000$, $k = 300$)

АКФ ряда атмосферных осадков не позволяет выявить зависимость между временным фактором и количественной характеристикой ряда. На графике АКФ (рис. 3.16) основная выборка значений не выходит из границ доверительного интервала ($> 96\%$), что свидетельствует о преобладании «белого шума» в климатическом ряду.

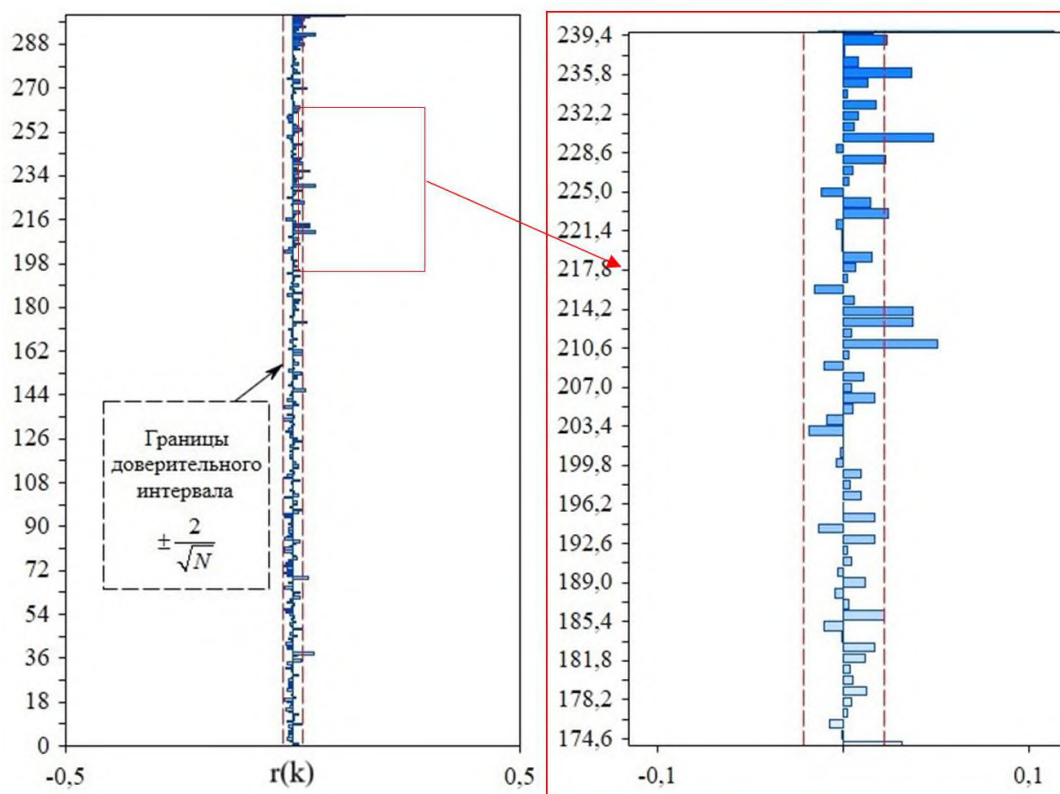


Рисунок 3.16 – АКФ ряда атмосферных осадков

Определение циклических закономерностей в рядах проводили с использованием преобразования Фурье, включавшего построение периодограммы и анализ спектральной плотности мощности временного ряда $x(i)$, $i = 0 \dots N-1$, с нахождением коэффициентов дискретного преобразования Фурье $C(k) = \text{DFT}\{x(i)\}$, где $|C(k)|^2$ – периодограмма преобразования ряда Фурье. Результаты вычислений показали наличие выраженного периода длительностью 152 дня в ряду среднесуточных температур воздуха, что соответствует продолжительности теплого времени года и описывает выборку среднесуточных температур воздуха, охватывающую промежуток с мая по сентябрь (рис. 3.17).

Периодограммы рядов данных суточного количества осадков демонстрируют различные результаты пиковых значений: 585 – Волгоград, Палласовка, Урюпинск (рис. 3.18); 152 – Иловля; 210 и 234 – Котельниково.

Следующий этап обработки метеорядов включал сезонное разложение в сочетании с инструментами множественного регрессионного анализа. Этот

подход позволяет раскрыть их внутреннюю системность, определить особенности динамики, установить наличие устойчивых закономерностей, а также оценить степень влияния сезонных процессов на изменение рассматриваемого показателя.

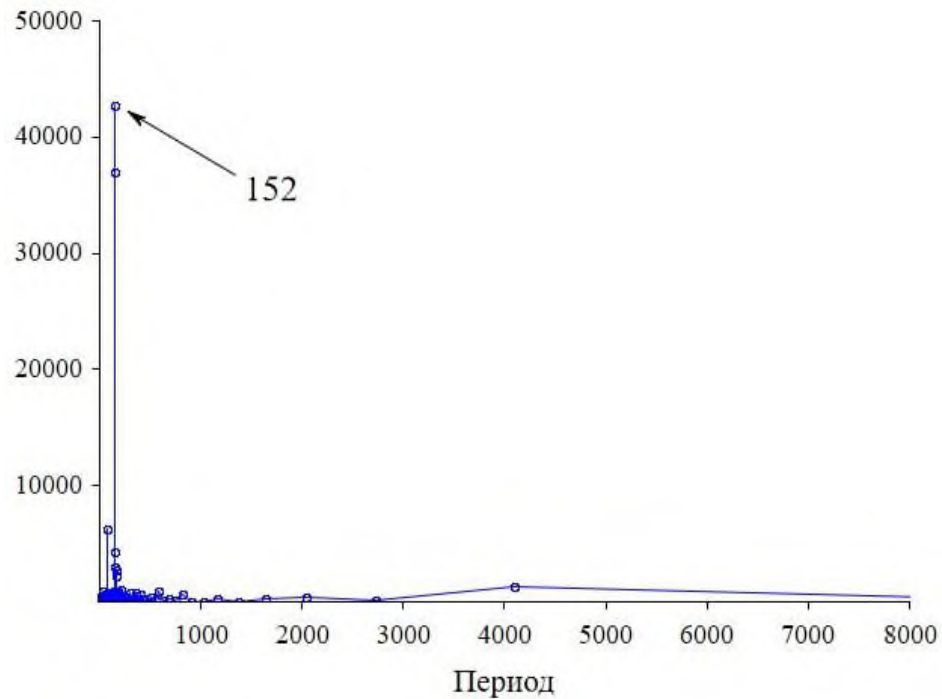


Рисунок 3.17 – Периодограмма ряда среднесуточных температур воздуха

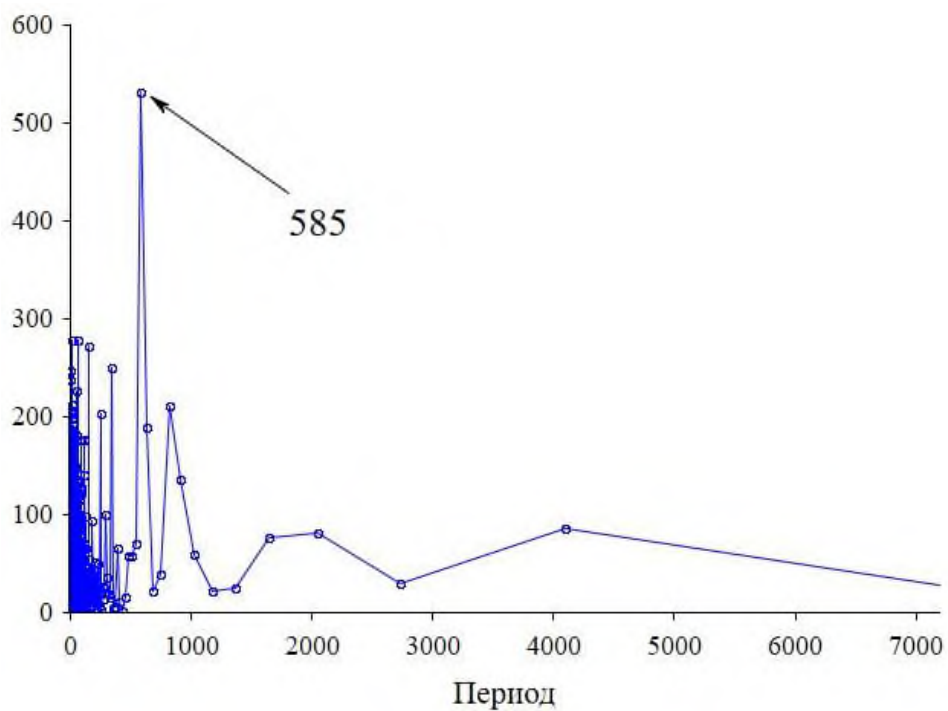


Рисунок 3.18 – Периодограмма ряда суточного количества осадков

В рамках проведённого анализа каждый временной ряд рассматривался как совокупность нескольких взаимосвязанных составляющих:

$$x(t) = f(t) + s(t) + c(t) + \varepsilon(t). \quad (3.19)$$

Здесь долговременные изменения описывали трендовой компонентой $f(t)$, отражающей основное направление развития процесса во времени; повторяющиеся через определённые интервалы колебания характеризовали сезонной составляющей $s(t)$; циклическую компоненту $c(t)$ использовали для выявления отклонений исследуемой величины от её среднего уровня из-за длительных колебательных процессов; воздействие нерегулярных и трудно прогнозируемых факторов учитывали случайной составляющей $\varepsilon(t)$, формирующей остаточную изменчивость ряда.

Структурная составляющая компонент исходного климатического ряда среднесуточных температур воздуха в графическом виде представлена на рисунке 3.19: график скользящего среднего метеорологического ряда (а), сезонность ряда (б), нерегулярные компоненты (в), тренд – цикл ряда (г).

С целью более надёжного выделения долгосрочных закономерностей дополнительно использовали сглаженную тренд-циклическую кривую, объединяющую эффекты трендовой и циклической компонент:

$$\begin{aligned} T_{f-c} = & 19,2182 + 0,0022 \cdot x - 1,8097 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 + \\ & + 5,3188 \cdot 10^{-10} \cdot x^3 - 6,0047 \cdot 10^{-14} \cdot x^4 + 2,2502 \cdot 10^{-18} \cdot x^5. \end{aligned} \quad (3.20)$$

Применение данного инструмента позволило уменьшить влияние кратковременных флуктуаций и случайных помех, сосредоточить внимание на наиболее существенных особенностях развития исследуемого процесса.

Результаты интегральной оценки вклада отдельных компонентов в формирование структуры климатических рядов представлены в таблице 3.7. При формировании модели анализировали расхождения между фактическими наблюдениями и расчётными значениями выделенных компонентов. Подобные отклонения трактовали как часть динамики, не объясняемая структурой модели. Их количественное выражение определяли ошибкой Δ – величина различий между реальными данными и результатами

моделирования отдельных составляющих или их суммарного воздействия.

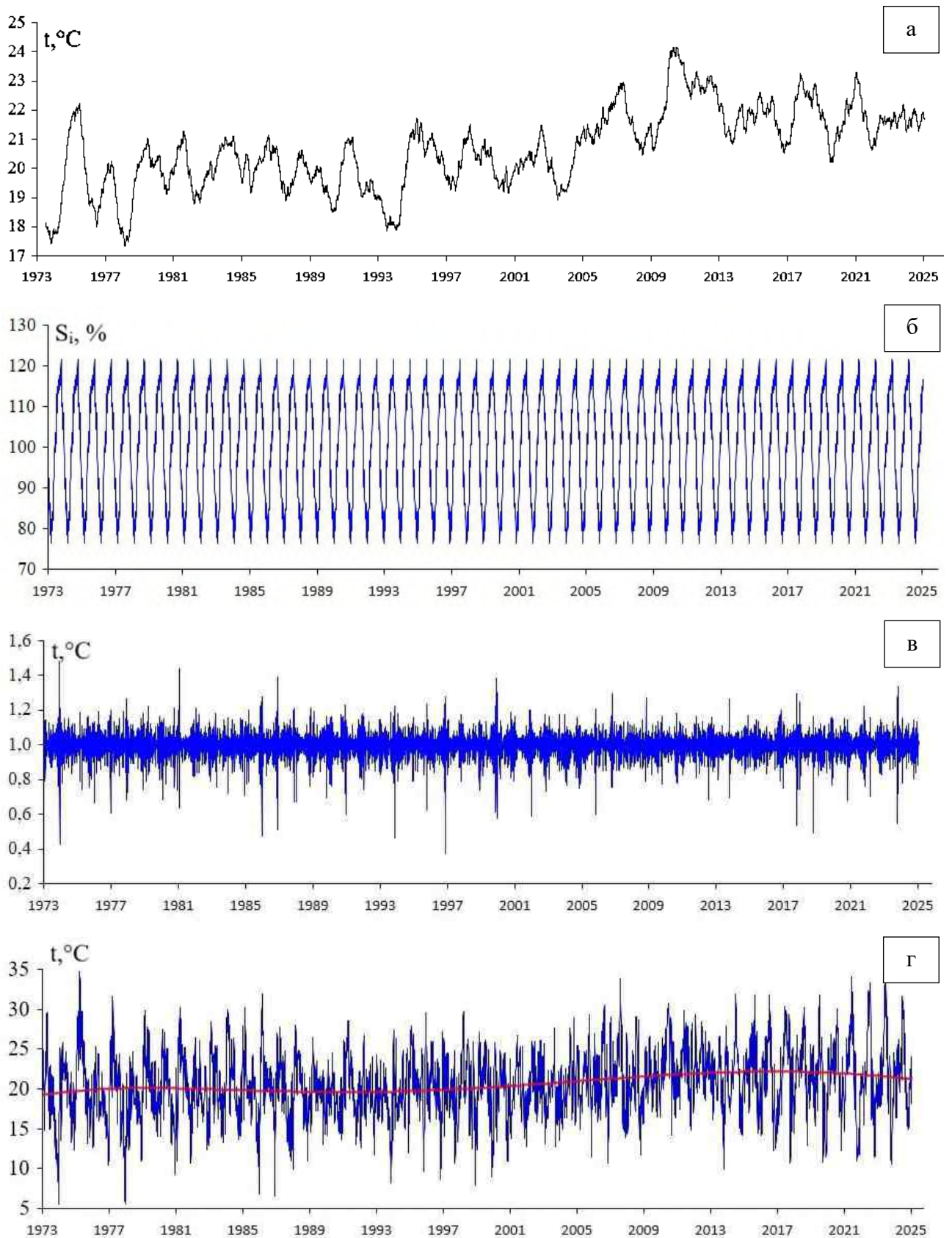


Рисунок 3.19 – Графики взаимосвязанных компонент климатического ряда среднесуточных температур воздуха

Таблица 3.7 – Оценки вклада структурных компонент метеорядов

Компонента	Среднесуточные температуры воздуха		Суммы атмосферных осадков	
	R ²	Δ	R ²	Δ
Волгоград				
Тренд	0,17	0,75	0,05	1,15
Сезонность	0,28	0,36	0,06	1,10
Цикличность	0,86	0,04	0,48	1,49
Случайность	0,17	0,75	0,68	1,58
Тренд – цикл	0,87	0,08	0,45	0,17
Скользящее среднее	0,09	0,87	0,05	0,25
Иловля				
Тренд	0,17	0,10	0,14	0,10
Сезонность	0,11	0,07	0,02	0,007
Цикличность	0,81	0,04	0,35	0,10
Случайность	0,17	0,05	0,71	0,02
Тренд – цикл	0,83	0,07	0,52	0,02
Скользящее среднее	0,06	0,05	0,01	0,005
Урюпинск				
Тренд	0,17	0,75	0,09	0,99
Сезонность	0,25	0,09	0,07	0,014
Цикличность	0,74	0,02	0,44	0,11
Случайность	0,17	0,05	0,66	0,003
Тренд – цикл	0,69	0,09	0,50	0,019
Скользящее среднее	0,08	0,05	0,04	0,003
Палласовка				
Тренд	0,17	0,07	0,11	0,13
Сезонность	0,29	0,11	0,07	0,01
Цикличность	0,77	0,02	0,47	0,88
Случайность	0,15	0,05	0,70	0,014
Тренд – цикл	0,65	0,11	0,50	0,013
Скользящее среднее	0,07	0,05	0,01	0,003
Котельниково				
Тренд	0,11	0,06	0,15	0,09
Сезонность	0,08	0,061	0,02	0,006
Цикличность	0,88	0,001	0,48	0,90
Случайность	0,09	0,039	0,71	0,018
Тренд – цикл	0,90	0,07	0,51	0,017
Скользящее среднее	0,06	0,083	0,01	0,005

Анализ временных рядов среднесуточных температур воздуха показал, что влияние долгосрочной тенденции и случайных компонент на изменчивость исследуемого показателя незначительно, поскольку на их долю приходится от 11 до 17% объясняемой дисперсии ($R^2 = 0,11-0,17$). При этом величина ошибки $\Delta = 0,75$ в рядах со станций Волгограда и Урюпинска, свидетельствует о невысокой эффективности моделей, в то же время ошибки

$\Delta = 0,06-0,01$ в рядах на станциях Котельниково, Палласовка и Иловля дают более надёжный результат.

Сезонные изменения по данным станций Котельниково и Иловля играют второстепенную роль в структуре ряда, что подтверждается низким коэффициентом детерминации ($R^2 = 0,08-0,11$), однако характеризуются высокой точностью воспроизведения наблюдаемых значений, о чём говорит минимальная ошибка модели ($\Delta = 0,061-0,07$), но более высокую значимость сезонность играет в структурах рядов, полученных с метеостанций Волгограда, Урюпинска и Палласовки ($R^2 = 0,25-0,29$).

Основная часть вариации температурного режима обусловлена циклической составляющей, для которой значение R^2 составляет $0,74-0,86$ с невысоким показателем ошибки модели ($\Delta = 0,001-0,04$). Сходные результаты получены и для сглаженной тренд-циклической компоненты с дисперсиями ряда ($R^2 = 0,65-0,90$), что подтверждается небольшими значениями ошибок в диапазоне $\Delta = 0,07-0,11$, отражающие высокую степень соответствия данных моделей фактическому ходу климатических изменений и их ключевую роль в описании динамики температуры воздуха.

Исследование временных рядов атмосферных осадков выявило преобладание случайных процессов в их внутренней организации. Результаты показывают, что эмпирическое распределение наблюдаемых значений не согласуется с нормальным законом распределения. Дополнительным подтверждением данного факта служат результаты автокорреляционного анализа: подавляющее большинство коэффициентов (более 96%) не выходит за границы доверительного интервала, что позволяет рассматривать ряды атмосферных осадков как «белый шум».

Оценки структурных составляющих рядов естественных осадков показали ограниченное участие трендов и сезонностей в формировании их общей изменчивости. Как трендовая, так и сезонная компоненты характеризуются крайне низкой объясняющей способностью ($R^2 = 0,05-0,15$). На этом фоне циклические составляющие демонстрируют более заметный

вклад, подтверждающийся дисперсиями рядов ($R^2 = 0,35-0,48$).

Удаление аномальных выбросов из исходных данных и последующее выделение сглаженной тренд-циклической компоненты позволили получить более устойчивую модель. Но данный компонент отражает от 45 до 52% общей дисперсии, его описание сопровождается существенно меньшей ошибкой, что указывает на более высокую степень достоверности результатов. В целом ключевой характеристикой исследуемого ряда выступает доминирование случайной составляющей, на которую приходится наибольшая доля изменчивости ($R^2 = 0,52-0,71$), что подчёркивает сложный стохастический характер динамики атмосферных осадков и определяющую роль нерегулярных факторов в её формировании.

Сопоставимые результаты спектрального анализа среднесуточной температуры свидетельствуют о наличии чётко выраженной цикличности с периодом около 152 суток и связанной с тёплым временем года. Сезонная декомпозиция временных рядов выявила не только регулярно повторяющиеся колебания, но и устойчивое трендовое изменение показателя. Подобная организация температурного ряда указывает на закономерный характер его динамики и позволяет использовать полученные зависимости при построении прогнозов с достаточно высокой степенью надёжности.

Исследования рядов атмосферных осадков выявило существенно иные особенности их временного распределения. Сезонные компоненты выражены слабо, тогда как преобладающее влияние на изменчивость оказывают случайные элементы, формирующие значительную долю общей дисперсии ряда. Высокая неустойчивость показателей осадков и отсутствие отчётливо повторяющихся закономерностей во времени свидетельствуют о сложности их прогнозирования. Вследствие этого возможности создания точных моделей, описывающих будущие изменения гидрометеорологических условий, оказываются существенно ограниченными.

Полученные результаты демонстрируют различия в механизмах формирования рассматриваемых метеорологических характеристик, что

требует применения специализированных подходов к их анализу. Использование методов спектрального анализа совместно с сезонной декомпозицией предоставляет возможность всесторонне исследовать структуру климатических временных рядов, определять наличие трендов, выявлять циклические процессы и оценивать характер колебаний изучаемых параметров. Практическая значимость подобных исследований заключается в создании более обоснованных прогнозных инструментов и разработке эффективных мер, направленных на повышение устойчивости сельского хозяйства к неблагоприятным погодным и климатическим воздействиям.

Выводы:

1. Применение водно-балансового метода для определения актуальных норм водопотребности сельскохозяйственных культур в целях перспективного планирования водоподачи является приоритетным, что обусловлено возможностью комплексно учитывать почвенно-климатическую характеристику территории, биологические особенности культур, запасы почвенной влаги, агроклиматические особенности объекта исследования, включая атмосферные осадки, испаряемость, температуру воздуха. Ключевым расчётным показателем методики является коэффициент увлажнения Н.В. Данильченко, который позволяет комплексно учитывать приходную и расходную часть водного баланса, перейти к расчётам достоверной оценки фактической потребности растений в оросительной воде.

2. На основе многолетних гидрометеорологических наблюдений сформирована и зарегистрирована региональная база агроклиматических ресурсов, объединяющая ежедневные данные об атмосферных осадках, среднесуточных температурах воздуха, влажности и скорости ветра. База данных обеспечивает оценку водопотребности сельскохозяйственных культур и допускает постоянную актуализацию информации.

3. На основе архивных научных источников сформирована и зарегистрирована региональная база биоклиматических коэффициентов

водопотребления зонально значимых сельскохозяйственных культур. База предназначена для расчётов оросительных норм с учётом территориальной неоднородности природно-климатических условий Волгоградской области.

4. Анализ временных метеорядов среднесуточных температур воздуха и суммарного количества осадков методом сезонной декомпозиции показал, что основная часть изменчивости температурного режима обусловлена циклической и тренд-циклической компонентами, а динамика атмосферных осадков определяется преимущественно случайными факторами, доля которых достигает до 70% дисперсии. Поэтому температурные показатели обладают более высокой прогнозируемостью, а осадки характеризуются неопределённостью, что требует вероятностных подходов при оценке будущих условий влагообеспечения сельскохозяйственных районов.

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ НОРМ ВОДОПОТРЕБНОСТИ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ВОДОПОДАЧИ

4.1 Исследование актуальных трендов изменения природной тепло- и влагообеспеченности оросительного периода

Последние годы в Нижнем Поволжье наблюдается устойчивое повышение среднегодовой температуры воздуха, сопровождающееся увеличением продолжительности теплого периода и ростом суммы активных температур. Изменения температурного режима, неравномерность распределения атмосферной влаги, увеличение числа засушливых периодов и повышение интенсивности испарительных процессов оказывают заметное влияние на условия водообеспечения сельскохозяйственных культур. В результате трансформации указанных факторов возрастает потребность растений в искусственном восполнении влаги, что приводит к корректировке режимов орошения и увеличению объёмов водных ресурсов для поддержания устойчивой продуктивности посевов [31].

Недостаточное естественное увлажнение определяет искусственное орошение как ключевой фактор поддержания стабильной урожайности [173, 176]. Современные тенденции изменения климата обусловили возрастание интереса научного сообщества к вопросам адаптации гидромелиоративных систем к новым природным реалиям. В отечественной научной литературе неоднократно отмечается, что действующие нормативы водопотребления формировались на основе климатических данных прошлых лет, вследствие чего их применение в современных условиях требует дополнительного уточнения и корректировки. Данный факт связан с изменением характеристик тепло- и влагообеспеченности территорий, оказывающих непосредственное влияние на водный режим сельскохозяйственных угодий и эффективность оросительных мелиораций [16, 70]. В связи с этим в современных работах подчеркивается необходимость перехода к перспективному планированию водоподдачи, основанному на учёте динамики

в режиме погоды, особенностей гидротермического режима и прогнозируемых изменений водоресурсного потенциала [16, 82].

Волгоградская область характеризуется значительной пространственной неоднородностью агроклиматических условий. Для объективной оценки природной обеспеченности оросительного периода особое значение приобретает анализ комплекса агроклиматических показателей. К числу наиболее информативных характеристик относятся средняя температура воздуха, сумма активных температур, количество атмосферных осадков, дефицит влажности воздуха, а также показатели эвапотранспирации. Рассмотрение этих параметров в совокупности позволяет выявить происходящие изменения агроклиматической обстановки, определить степень трансформации природных условий территории и установить закономерности изменения водопотребления культур [70, 129].

Изучение актуальной обеспеченности вегетационного периода теплом и влагой выступает важнейшей научной предпосылкой для обоснования перспективных норм водопотребности и совершенствования подходов к планированию водоподачи на орошаемые земли. Полученные результаты повышают эффективность управления водными ресурсами и создают условия для их рационального использования [16, 148].

Исследование условий влагообеспеченности территорий является важной составляющей агроклиматической оценки и основывается на анализе соотношения основных природных ресурсов, необходимых для роста растений – тепла, влаги и солнечной энергии [20]. Для количественной характеристики данных условий в отечественной агроклиматической практике используется ряд показателей, среди которых наибольшее распространение получили гидротермический коэффициент Селянинова Г.Т. (ГТК)²², коэффициенты природного увлажнения, предложенные Шашко Д.И. (КУ), Ивановым Н.Н. ($K_{ув}$)²³ и Данильченко Н.В. (K_y)²⁴, а также

²² Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата / Труды по сельскохозяйственной метеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1928. 158 с.

²³ Иванов Н.Н. Ландшафтно-климатические зоны земного шара. М.: Изд-во АН СССР, 1948. 223 с.

радиационный индекс сухости Будыко М.И. (РИС)²⁵ (рис. 4.1).

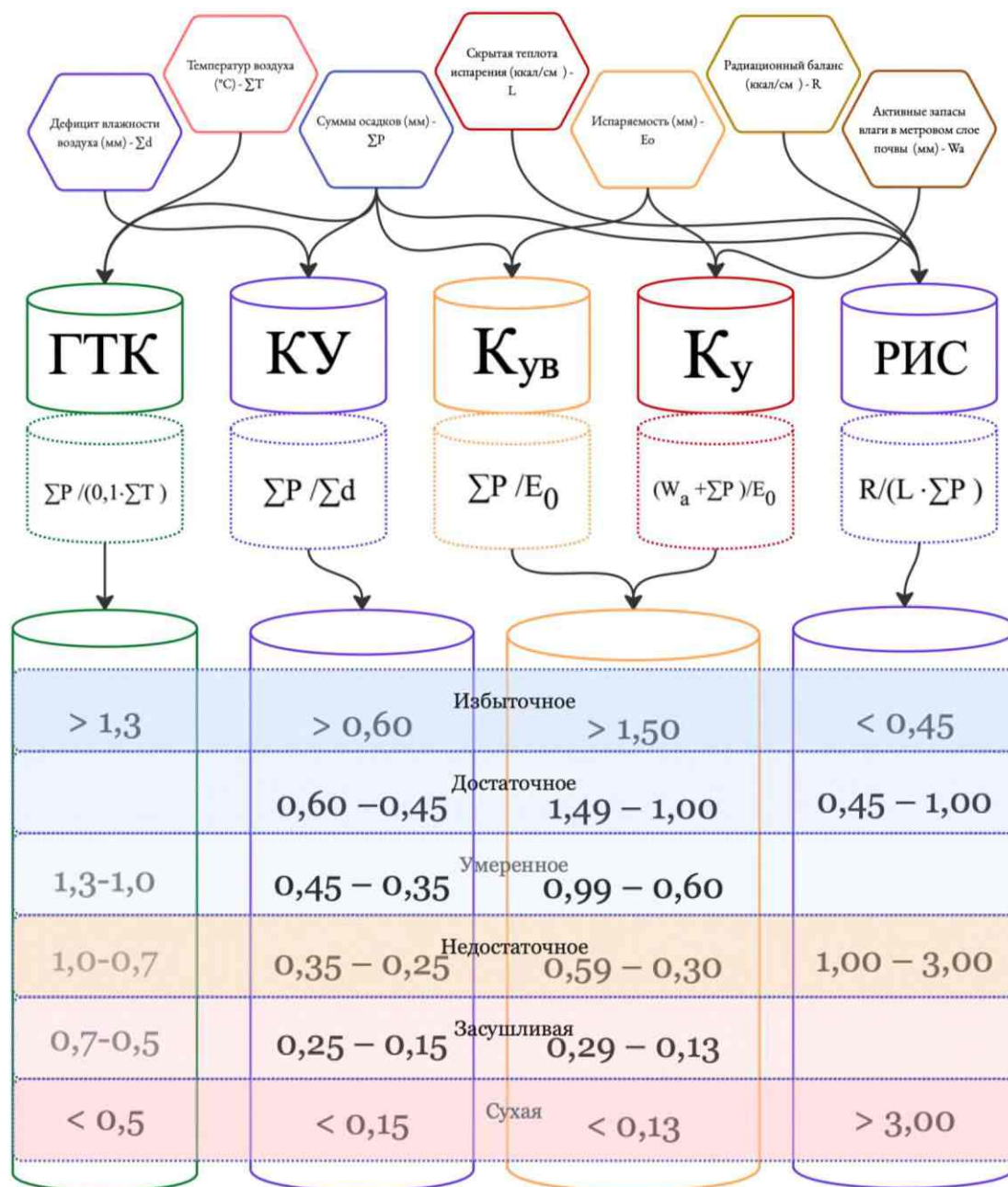


Рисунок 4.1 – Показатели оценки зон увлажнения земель

Наиболее распространёнными в научной и прикладной практике являются коэффициенты КУ, КУв и КУ, основанные на учёте интенсивности испарительных процессов и степени атмосферной влагообеспеченности.

²⁴ Данильченко Н.В. Водосберегающие оросительные нормы и природоохранные режимы орошения зерновых и кормовых культур в Нижнем Поволжье. М.: ФГОУ ВПО «Московский государственный университет природообустройства», 2006. 151 с.

²⁵ Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности. Л.: Гидрометеиздат, 1956. 256 с.

Несмотря на широкое применение всех трёх показателей, их аналитические возможности различаются. Так, коэффициент КУ преимущественно используется для обобщённого сопоставления крупных территориальных образований, тогда как показатели $K_{ув}$ и K_y обеспечивают более глубокую характеристику условий функционирования зональных агроландшафтов и позволяют оценивать устойчивость сельскохозяйственного производства в конкретных природно-климатических условиях [75, 83].

Расчёт обеспеченностей метеорологических показателей осуществляли по формуле Чегодаева Н.Н.²⁶:

$$p = \frac{m-0,3}{n+0,4} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

где m – номер ранга показателя в ранжированном по убыванию ряду многолетних данных;

n – общее число наблюдений в многолетнем ряду данных.

Изменчивость и асимметричность функции обеспеченности метеорологического показателя оценивали по расчётным коэффициентам вариации и асимметрии:

$$C_V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K-1)^2}{n}}; \quad (4.2)$$

$$C_S = 2 \cdot C_V, \quad (4.3)$$

где K – безразмерный модульный коэффициент, характеризующий отношение изменяющейся во времени величины к её среднему значению.

Для районов Волгоградского региона были получены эмпирические кривые обеспеченности сумм среднесуточных температур воздуха (рис. 4.2) и выпадения атмосферных осадков (рис. 4.3). Анализ кривых показывает, что среднемноголетние $\sum T$ в пригороде Волгограда изменяются от 3160 до 3190 °С, в Палласовском районе варьируют в пределах 3270 °С, в районе Котельниково – 3015 °С, в Иловлинском – 2960 °С, а в Урюпинском – 2800

²⁶ Чегодаев Н.Н. Расчет поверхностного стока с малых водосборов / М.: Трансжелдориздат, 1953. 76 с.

°С, что характеризует территории как обеспеченные теплом (табл. 4.1).

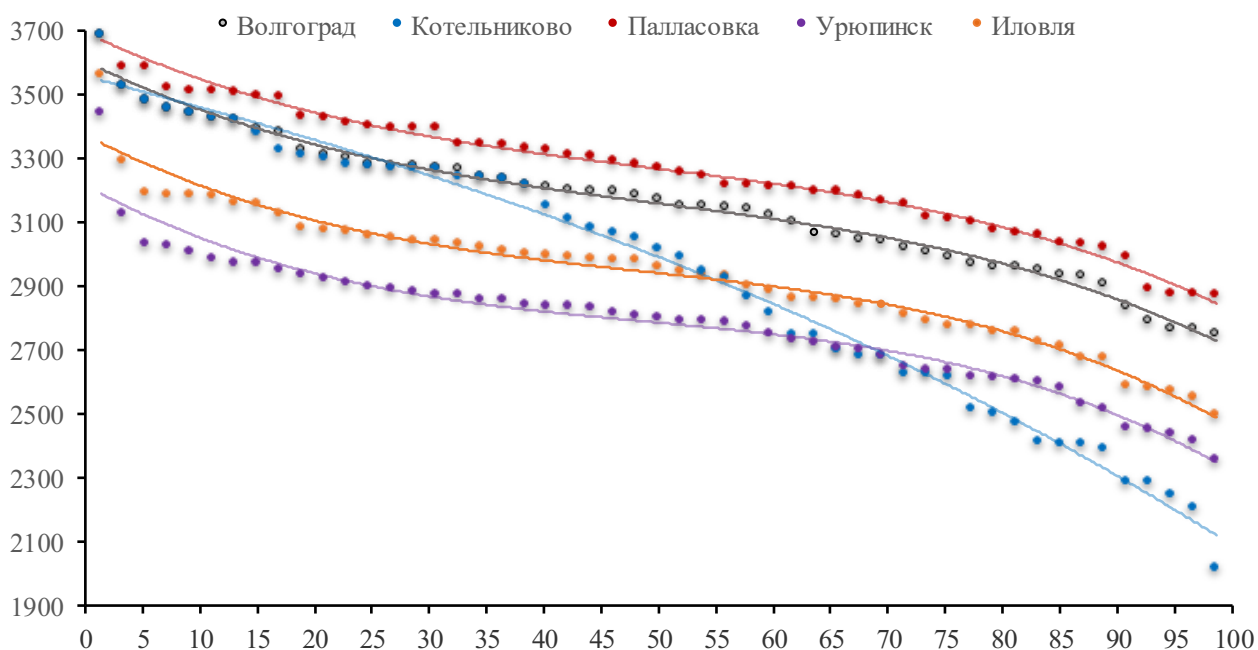


Рисунок 4.2 – Обеспеченности суммой среднесуточных температур воздуха по районам Волгоградской области за теплый период

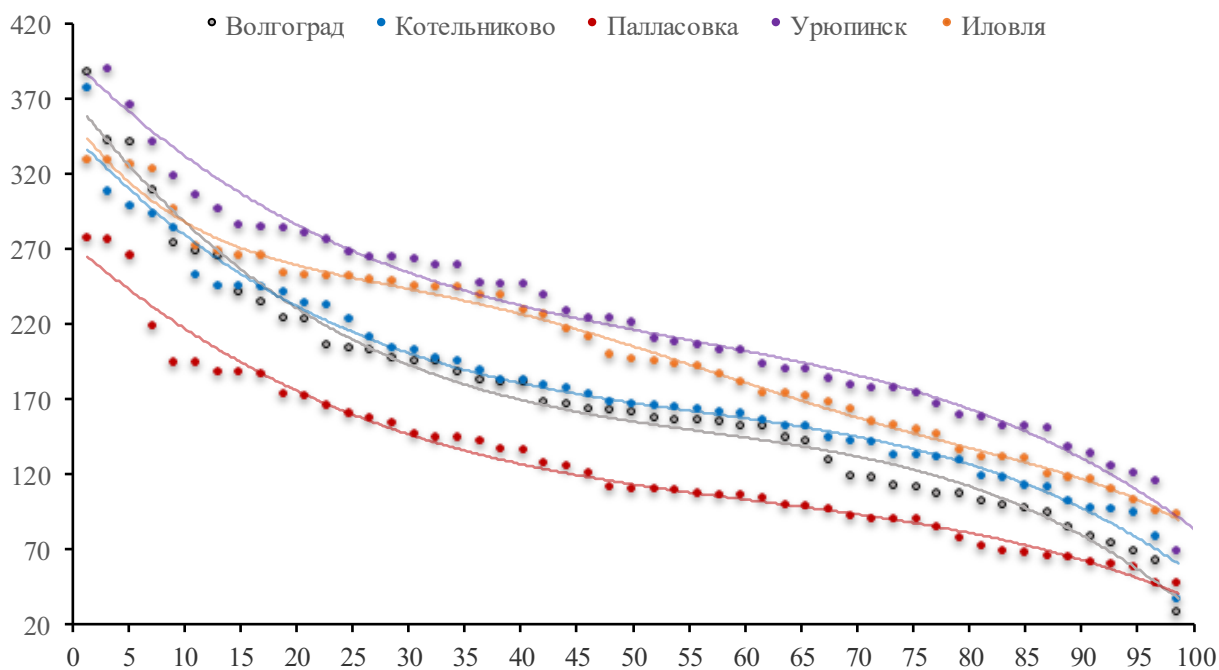


Рисунок 4.3 – Обеспеченности суммарного количества осадков по районам Волгоградской области за тёплый период

Согласно агроклиматическому справочнику условия благоприятны для

возделывания культур при обеспеченности теплом 80% и выше²⁷.

В пригороде Волгограда с 75% вероятностью сумма среднесуточных температур за теплый период будет превышать 2990 °С, в Палласовском более 3100 °С. Сформировавшийся тепловой режим создаёт необходимые условия для успешного выращивания в рассматриваемых районах овощных культур, картофеля, зерновых колосовых, кукурузы и подсолнечника. Вместе с тем отдельные культуры, отличающиеся повышенными требованиями к накоплению тепла, в частности позднеспелые сорта винограда, риса и сои, для полноценного завершения вегетации нуждаются в суммах температур от 3000 до 3550 °С. В отдельные годы недостаточное поступление тепловой энергии может приводить к замедлению их развития и снижению ожидаемой продуктивности. В районах Котельниково и Урюпинске 8 из 10 лет сумма активных температур за вегетационный период будет достигать 2600 °С, в Иловлинском – 2770 °С, что также характеризуется достаточной обеспеченностью теплом для выращивания нута, яровой и озимой пшеницы, горчицы, подсолнечника, люцерны, сорго, кукурузы на силос и на зерно.

Таблица 4.1 – Теплообеспеченность вегетационного периода по метеостанциям Волгоградской области (осреднённые данные)

Метеостанции	Вероятностные значения сумм среднесуточных температур ΣT , °С				
	5%	25%	50%	75%	95%
Палласовка	3584	3399	3270	3111	2877
Волгоград	3481	3280	3171	2991	2769
Котельниково	3480	3279	3015	2617	2246
Иловля	3180	3056	2963	2779	2574
Урюпинск	3030	2899	2804	2638	2438

Результаты анализа кривых обеспеченности атмосферных осадков показывают, что в условиях среднего (50%) по увлажнению года количество естественной влаги за исследуемый период в Палласовском районе составляет в пределах 110-120 мм, Котельниковском районе и пригороде Волгограда – от 156 до 167 мм, Иловлинском районе – ~ 196 мм. Наиболее

²⁷ Агроклиматический справочник по Волгоградской области. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 143 с.

увлажнённой из исследуемых вариаций является территория Урюпинского района с суммарным количеством осадков в средний год в 220 мм. В годы с крайне недостаточным увлажнением (95%) их величина снижается до 62-74 мм, тогда как при вероятности 5%, отражающей наиболее влажные условия, объём осадков возрастает до 309-342 мм в пригородной зоне Волгограда (табл. 4.2). Диапазон значений выпадения осадков по пяти районам Волгоградской области свидетельствует о том, что естественное поступление влаги в течение вегетационного периода в большинстве случаев не способно полностью удовлетворить потребности сельскохозяйственных культур. Наиболее существенное влияние недостаток влаги оказывает в критические периоды органогенеза растений, связанные с цветением и формированием урожая. Вследствие этого отсутствие дополнительного водообеспечения приводит к усилению водного стресса и становится одним из ключевых факторов снижения продукционного потенциала агроценозов.

Таблица 4.2 – Влагообеспеченность вегетационного периода по метеостанциям Волгоградской области (осреднённые данные)

Метеостанции	Вероятностные значения атмосферных осадков $\sum P$, мм				
	5%	25%	50%	75%	95%
Урюпинск	366	267	221	174	121
Иловля	326	251	196	150	103
Волгоград	341	204	162	111	69
Котельниково	299	223	167	133	94
Палласовка	265	161	110	90	58

Гидротермические ресурсы определяют биологическую активность в земледелии, но не исчерпывают полноценного комплекса природных компонентов, влияющих на урожайность растений. По отдельности компоненты недостаточно точно отражают истинную потребность культур в орошении или иных мелиоративных мероприятиях, что не позволяет корректно проводить районирование. Агроклиматическое зонирование земель с аналогичными требованиями к режимам и технологиям полива рекомендуется проводить по коэффициентам природного увлажнения.

Для определения уровня тепло- и влагообеспеченности исследуемой

территории выполнен расчёт коэффициента естественного увлажнения K_y по всем сельскохозяйственным районам области (рис. 4.4).

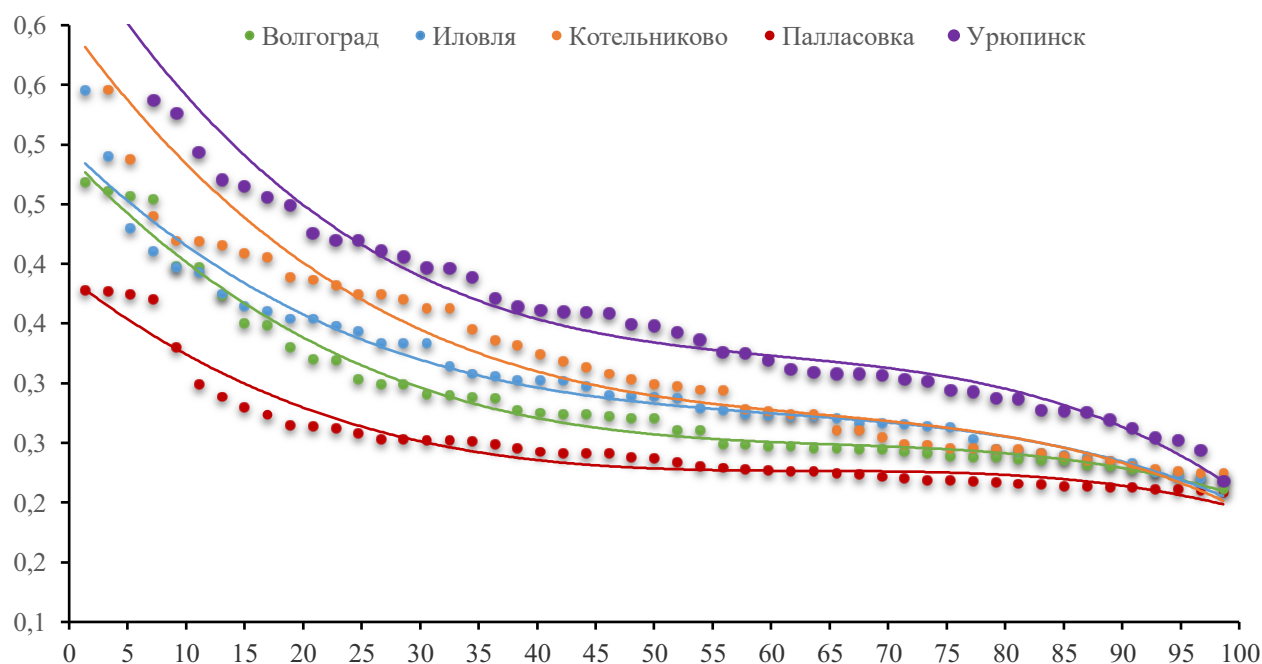


Рисунок 4.4 – Обеспеченности K_y по сельскохозяйственным районам Волгоградской области за вегетационный период

Результаты показывают, что для среднего года величина K_y для Палласовского района составляет 0,23-0,24, пригорода Волгограда – 0,26-0,27, Иловлинского района – $\sim 0,29$, Котельниковского и Урюпинского районов – 0,30 и 0,35 соответственно. Для 75-80%-ной вероятности значения K_y сохраняются на уровне 0,29 и выше в Урюпинском районе, 0,26 в Иловле, $\sim 0,24$ -0,25 в Котельниково и Волгограде. Наиболее низкий – 0,20-0,21 – в Палласовском районе. Полученные значения K_y характеризуют условия районов как аридные, относящиеся к категориям недостаточного, засушливого и крайне засушливого увлажнения. В этих природных условиях устойчивое производство растениеводческой продукции невозможно без активного применения мелиоративных мероприятий, поэтому особую значимость приобретают модернизация действующих оросительных систем и восстановление постирригационных земель, строительство нового орошения.

Вычисленные коэффициенты C_v и C_s (табл. 4.3) эмпирических кривых

обеспеченностей $\sum T$, $\sum P$ и K_y (рис. 4.2-4.4) отражают положительную асимметрию (> 0). Для графиков $\sum P = f(p)$ и $K_y = f(p)$ $C_s \geq 0,5$, что характеризуют асимметрию как значительную. Для графика $\sum T = f(p)$ $C_s < 0,25$ – близка к нормальной (≈ 0), для всех районов, кроме Котельниково ($C_s = 0,28$). Моделью кривые обеспеченности соответствуют полиномиальной регрессии вида с коэффициентами детерминации $R^2 \geq 0,98$:

$$\sum P; \sum T; K_y = b_0 + b_1 \cdot p + b_2 \cdot p^2 + b_3 \cdot p^3, \quad (4.4)$$

где b_0, b_1, b_2, b_3 – коэффициенты регрессии.

Таблица 4.3 – Значения коэффициентов вариации C_v и асимметрии C_s кривых обеспеченностей $\sum T$, $\sum P$ и K_y

Метеостанция	$\sum T, ^\circ C$			$\sum P, мм$			K_y		
	среднее	C_v	C_s	среднее	C_v	C_s	среднее	C_v	C_s
Волгоград	3157	0,06	0,13	170	0,44	0,88	0,29	0,23	0,46
Палласовка	3264	0,06	0,12	127	0,44	0,88	0,25	0,17	0,35
Котельниково	2936	0,14	0,28	178	0,36	0,73	0,32	0,31	0,62
Иловля	2932	0,07	0,14	203	0,31	0,63	0,30	0,22	0,44
Урюпинск	2779	0,07	0,14	224	0,32	0,64	0,37	0,28	0,56

Оценка статистических параметров исследуемых метеорологических показателей свидетельствует о различной степени однородности рассматриваемых совокупностей. Для рядов $\sum T$ характерна высокая устойчивость значений, так как коэффициент вариации не превышает критического уровня однородности ($C_v < 33\%$) и составляет от 6,7% до 14%, что указывает на слабую изменчивость климатического признака, а при низком уровне вариации данных ($C_v < 10\%$) среднее значение представляется возможным использовать как достоверный показатель, адекватно отражающий особенности всей выборочной совокупности.

Иная закономерность выявлена при анализе $\sum P$. Значения C_v в Волгограде, Палласовке и Котельниково составляют от 44% до 36% ($> 33\%$), что свидетельствует о существенной неоднородности данных и высокой изменчивости признака во времени. При этом средняя величина не может выступать в качестве точной характеристики совокупности, поскольку отдельные наблюдения сильно отклоняются от усреднённого значения.

Выраженная нестабильность влагообеспеченности указывает на высокую вероятность возникновения неблагоприятных условий для развития культур.

Исследование интегрального показателя K_y показало, что его распределение занимает промежуточное положение между рассмотренными климатическими характеристиками. Значения коэффициента вариации, равные 17-31%, позволяют отнести совокупность к категории однородных, однако, в районах, где величина рассеивания превышает 20% (Волгоград, Котельниково, Иловля, Урюпинск) заметна амплитуда колебаний показателя относительно среднего. Следовательно, здесь отдельные годы могут отличаться по условиям увлажнения от многолетней нормы.

Для оценки направленности и интенсивности изменений метеорологических величин сформирована серия перекрывающихся выборок методом скользящего окна с шагом $\tau = 10$ лет. Это позволило сопоставить климатические характеристики разных этапов многолетних наблюдений (табл. 4.4). Для каждой выборки по величинам суммарных атмосферных осадков и сумм среднесуточных температур воздуха выполнено построение линейных регрессионных зависимостей (рис. 4.5):

$$\sum T = 46,3x + 3114,5; \quad (4.5)$$

$$\sum P = -3,2x + 164,5. \quad (4.6)$$

Надёжность этих моделей подтверждается высокими значениями коэффициента детерминации ($R^2 = 0,97-0,98$), свидетельствующими о тесной связи расчётных и фактических данных.

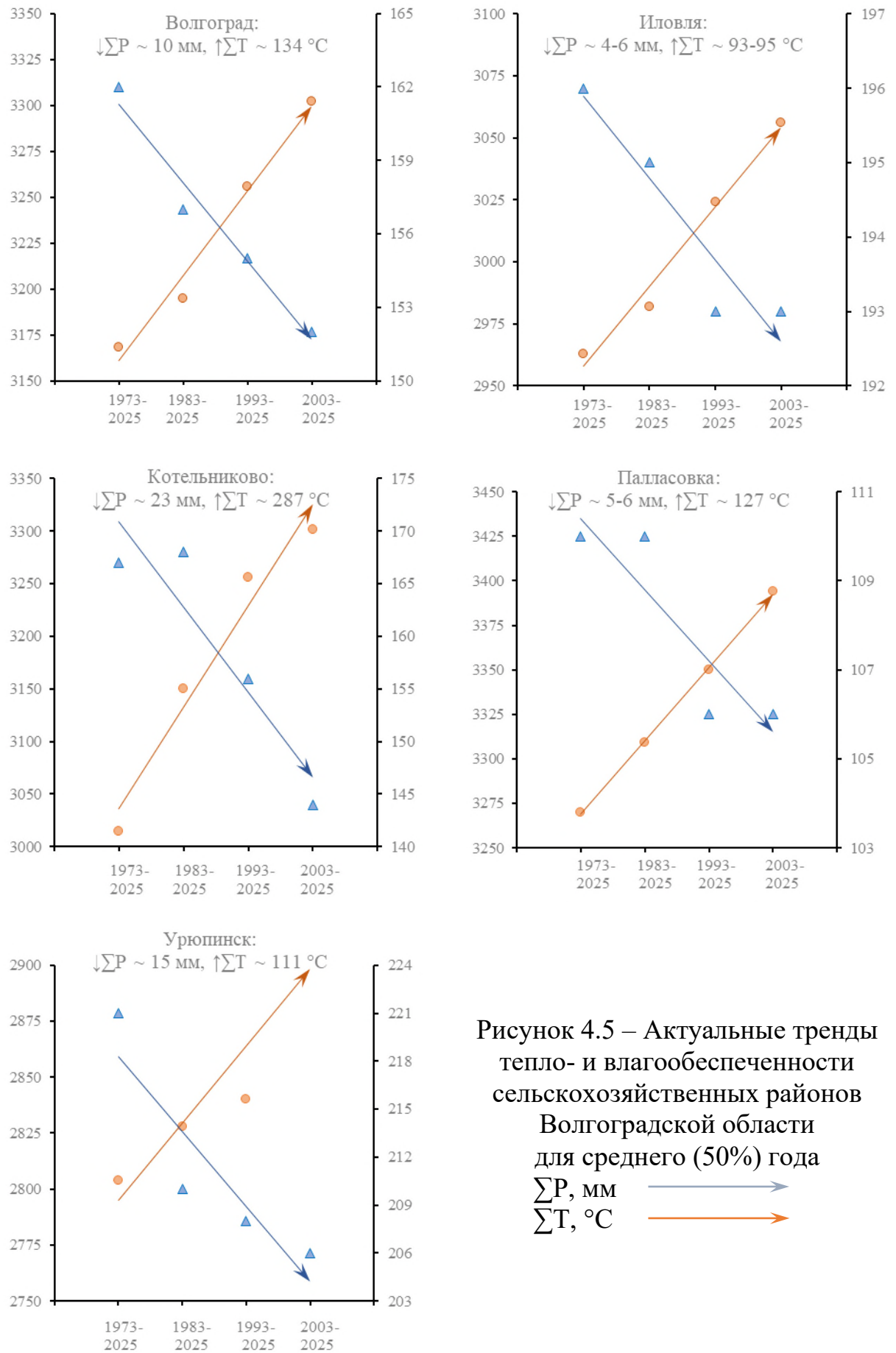
Результаты анализа показывают, что в год 50%-ой обеспеченности современный режим погоды характеризуется сокращением $\sum P$ приблизительно на 10 мм и одновременным увеличением $\sum T$ на 134 °С в пригородной зоне Волгограда, что отражает тенденцию к усилению засушливости климата. Аналогичная ситуация прослеживается во всех районах: Иловлинский район характеризуется снижением $\sum P$ на 4-6 мм и увеличением $\sum T$ на 93-95 °С; выраженное снижение суммарного количества осадков на 23 мм наблюдается в районе Котельниково с возрастающей

разницей в тепловой режиме в 287 °С.

Таблица 4.4 – Вероятности обеспечения агроклиматических ресурсов

Выборка временного ряда, гг.	Обеспеченность расчетного периода				
	5 (влажный)	25 (средне- влажный)	50 (средний)	75 (средне- сухой)	95 (сухой)
Волгоград					
1973 – 2025	<u>3475</u> 341	<u>3278</u> 204	<u>3168</u> 162	<u>3034</u> 111	<u>2762</u> 69
1983 – 2025	<u>3498</u> 341	<u>3302</u> 197	<u>3195</u> 157	<u>3102</u> 109	<u>2830</u> 62
1993 – 2025	<u>3522</u> 309	<u>3380</u> 195	<u>3256</u> 155	<u>3145</u> 102	<u>2927</u> 74
2003 – 2025	<u>3604</u> 219	<u>3443</u> 167	<u>3302</u> 152	<u>3242</u> 115	<u>3031</u> 79
Иловля					
1973 – 2025	<u>3180</u> 326	<u>3056</u> 251	<u>2963</u> 196	<u>2779</u> 150	<u>2574</u> 103
1983 – 2025	<u>3254</u> 325	<u>3073</u> 246	<u>2982</u> 195	<u>2853</u> 148	<u>2633</u> 101
1993 – 2025	<u>3291</u> 323	<u>3126</u> 245	<u>3024</u> 193	<u>2888</u> 150	<u>2711</u> 117
2003 – 2025	<u>3461</u> 317	<u>3168</u> 241	<u>3056</u> 193	<u>2981</u> 154	<u>2800</u> 102
Котельниково					
1973 – 2025	<u>3480</u> 299	<u>3279</u> 223	<u>3015</u> 167	<u>2617</u> 133	<u>2246</u> 94
1983 – 2025	<u>3500</u> 290	<u>3300</u> 202	<u>3150</u> 168	<u>2690</u> 129	<u>2250</u> 78
1993 – 2025	<u>3520</u> 284	<u>3380</u> 197	<u>3256</u> 156	<u>2827</u> 117	<u>2390</u> 94
2003 – 2025	<u>3500</u> 210	<u>3440</u> 166	<u>3302</u> 144	<u>3230</u> 115	<u>2800</u> 90
Палласовка					
1973 – 2025	<u>3584</u> 265	<u>3399</u> 161	<u>3270</u> 110	<u>3111</u> 90	<u>2877</u> 58
1983 – 2025	<u>3920</u> 270	<u>3430</u> 156	<u>3309</u> 110	<u>3180</u> 85	<u>2880</u> 48
1993 – 2025	<u>3520</u> 193	<u>3495</u> 142	<u>3350</u> 106	<u>3210</u> 84	<u>3021</u> 60
2003 – 2025	<u>3700</u> 180	<u>3516</u> 140	<u>3394</u> 106	<u>3310</u> 85	<u>3100</u> 60
Урюпинск					
1973 – 2025	<u>3030</u> 366	<u>2899</u> 267	<u>2804</u> 221	<u>2638</u> 174	<u>2438</u> 121
1983 – 2025	<u>3092</u> 381	<u>2916</u> 278	<u>2828</u> 210	<u>2709</u> 173	<u>2499</u> 118
1993 – 2025	<u>3120</u> 366	<u>2966</u> 265	<u>2840</u> 208	<u>2747</u> 177	<u>2586</u> 115
2003 – 2025	<u>3323</u> 344	<u>3000</u> 265	<u>2915</u> 206	<u>2807</u> 173	<u>2674</u> 86

Примечание: над чертой – $\sum T$, °С; под чертой – $\sum P$, мм.



В Палласовском районе также наблюдается снижение осадков на 5-6 мм и изменение температурного режима с возрастающей динамикой на 127 °С; в Урюпинске (северо-западный район), прослеживается похожая динамика изменений – уменьшение на 15 мм $\sum P$ и увеличение на 111 °С $\sum T$.

4.2 Расчёты испаряемости и агроклиматическое районирование для перспективного планирования водоподачи

При обосновании норм водопотребности сельскохозяйственных культур определение испаряемости является одним из ключевых этапов, так как данный показатель показывает количество потерянной влаги с поверхности почвы и растительного покрова. Территории Нижнего Поволжья характеризуются повышенной теплообеспеченностью в период вегетации культур с дефицитом атмосферных осадков и высокой вероятностью проявления засух и суховеев. В сложившихся условиях величина испаряемости особо влияет на дефицит водного баланса.

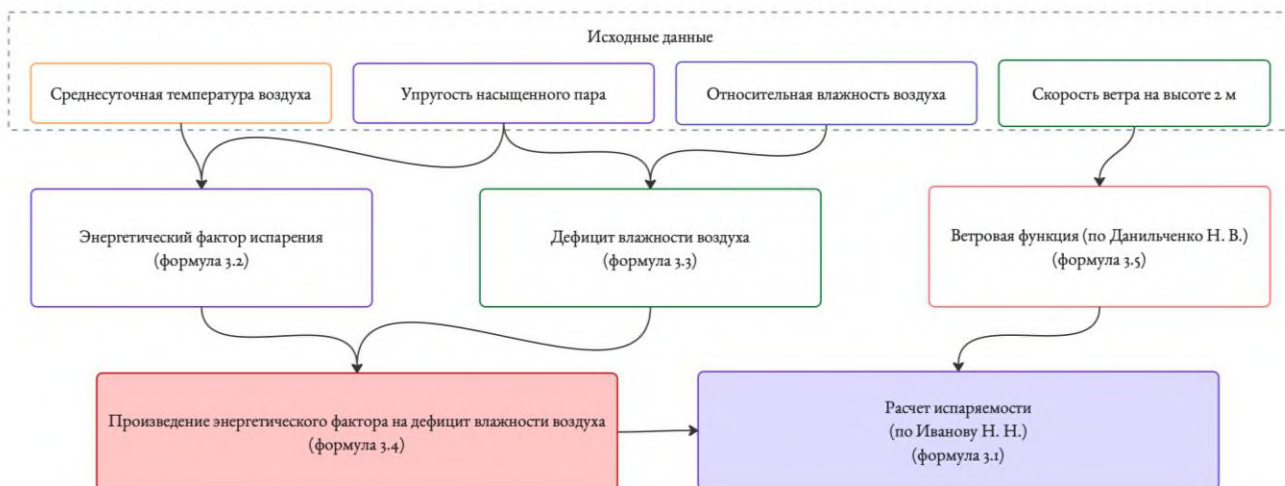


Рисунок 4.6 – Схема определения испаряемости

Испаряемость рассматривается как интегральная оценка агроклиматических условий сельскохозяйственных районов, связывающая температурный режим и влагообеспеченность, позволяющая перейти к показателям потребности растений в дополнительном увлажнении с учётом

природной неоднородности. В расчётах испаряемости применяются многолетние данные гидрометеорологических наблюдений (рис. 4.6).

Расчёт испаряемости по формуле Иванова Н.Н. в модификации Данильченко Н.В. позволяет провести территориальное районирование региона. Интегральный показатель испаряемости по многолетней динамики климата возрастает с севера-запада на юго-восток от 1400 (Урюпинская агломерация) до 2800 (Палласовская) мм за период вегетации (рис. 4.7).

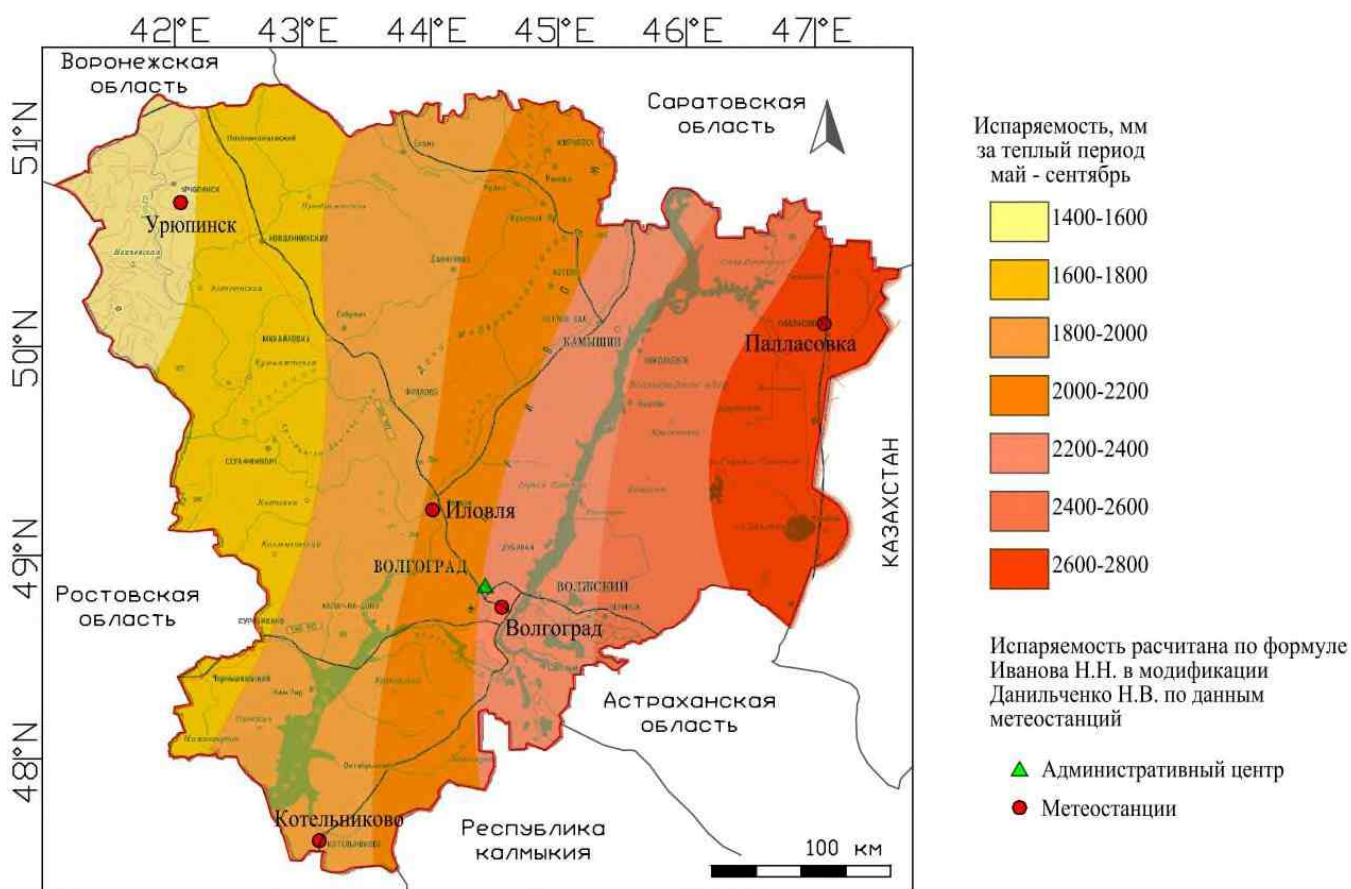


Рисунок 4.7 – Территориальное районирование Волгоградской области по среднемноголетнему значению испаряемости в период вегетации

В соответствии с методическим подходом Данильченко Н.В. агроклиматическое районирование территории проводили по пространственному распределению коэффициента природного увлажнения (формула 3.6). Районирование территории региона по показателю K_y для среднего (50%-ого) года представлено на рисунке 4.8.

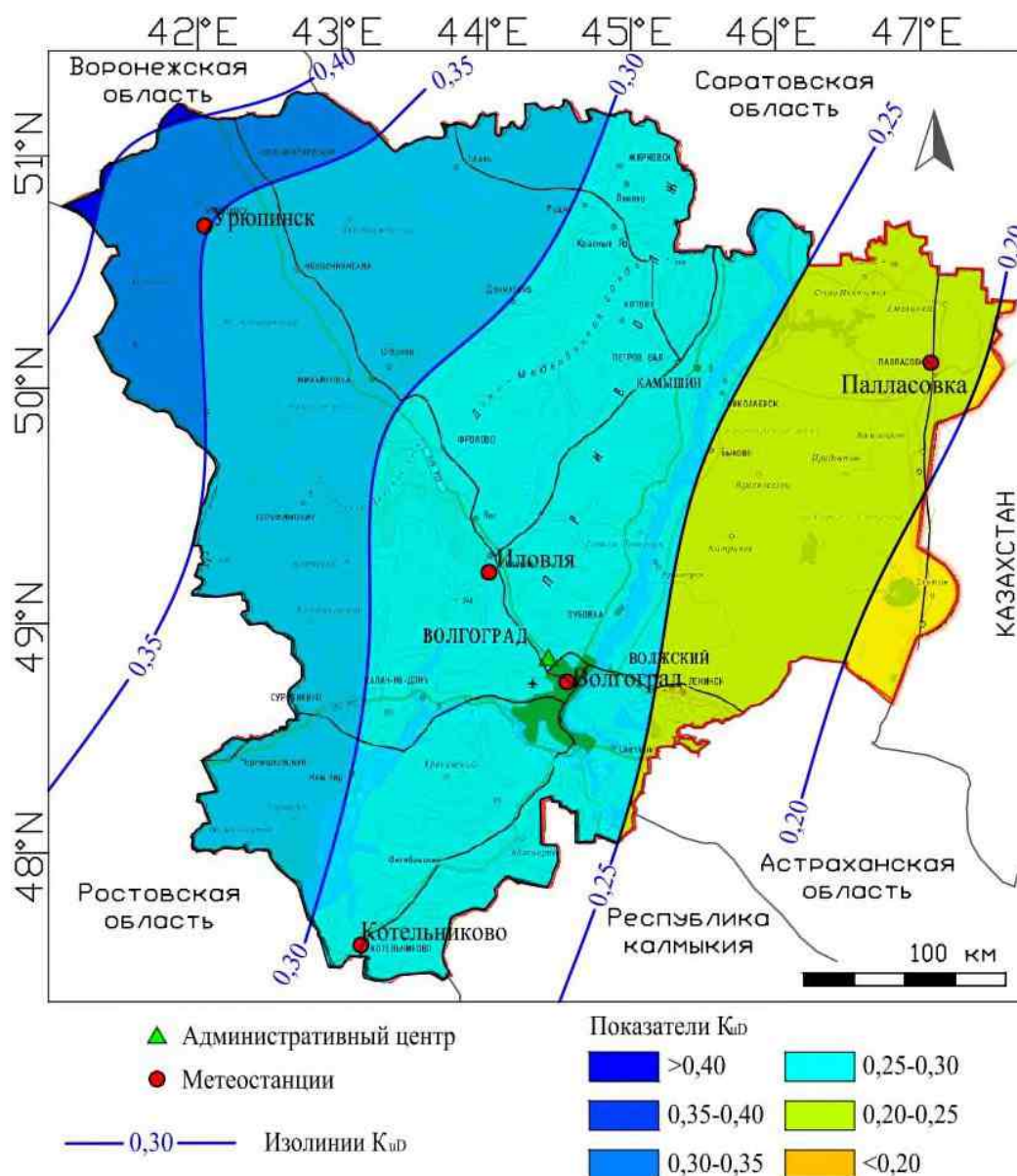


Рисунок 4.8 – Районирование территории Волгоградской области по среднемноголетнему значению K_y в период вегетации (для среднего года)

4.3 Исследование дефицитов водного баланса и суммарного водопотребления основных культур орошаемого земледелия

Основным показателем при обосновании суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур служит дефицит водного баланса, учитывающий их биоклиматические особенности. Мелиоративная практика предусматривает установление расчётных параметров режимов орошения с учётом обеспеченных дефицитов водного баланса. Это вероятность

превышения или не достижения заданного значения показателя, относящегося к числу проектных или эксплуатационных характеристик в пределах принятого временного интервала за оросительный сезон (рис. 4.9).

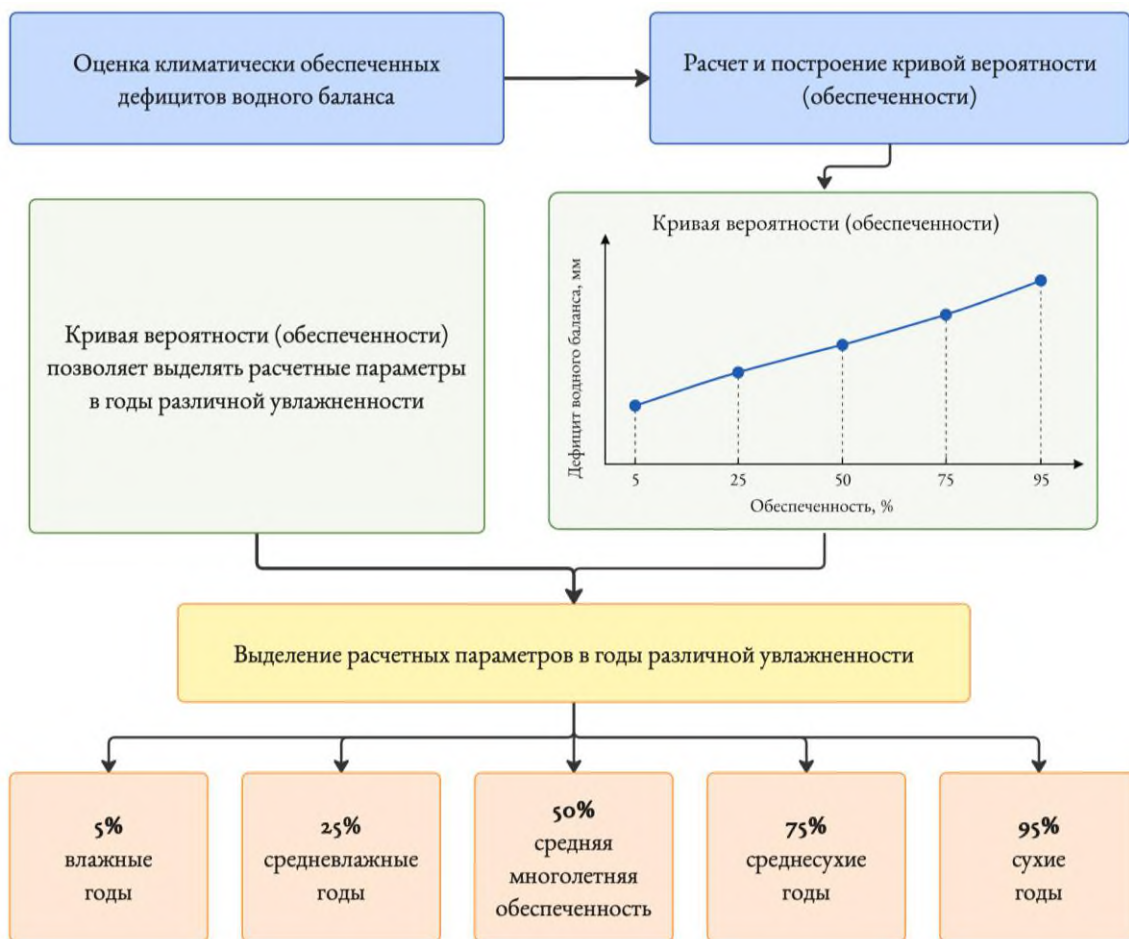


Рисунок 4.9 – Схема оценки обеспеченных дефицитов водного баланса

Стандартное выражение эмпирической кривой обеспеченности по данным ранжированного ряда имеет вид:

$$p_m = P\{X \leq x_m\} \approx \frac{m}{n} \cdot 100\%, \quad (4.7)$$

где p_m – уровень обеспеченности для m члена ранжированного ряда, %;

x_m – значение m члена ранжированного ряда;

$P\{X \leq x_m\}$ – вероятность не превышения x_m , %;

m – порядковый номер члена x_m ранжированного ряда;

n – общее количество выборки.

При определении эмпирической обеспеченности рассматриваемого

возникает логическое несоответствие: максимальному элементу упорядоченной выборки присваивается вероятность неперевышения, равная 100%. Данный фактор связан с тем, что выборочная совокупность принимается в качестве замены генеральной совокупности, хотя её объём не отражает всего множества возможных реализаций исследуемого процесса. Вследствие этого эмпирическая обеспеченность должна рассматриваться как статистически оцениваемая величина, требующая применения специальных методов расчёта, а не как фиксированная. Для получения более корректных вероятностных характеристик разработаны различные зависимости, среди них распространение получили формула Крицкого С.Н. и Менкеля М.Ф. (Вейбулла), основой расчёта которой служит математическое ожидание:

$$p_m = \frac{m}{n+1} \cdot 100\%, \quad (4.8)$$

и формула Чегодаева Н.Н., использующая медианную оценку обеспеченности (формула 4.1).

В настоящей работе расчёт климатически обеспеченных дефицитов водного баланса выполнен по Чегодаеву Н.Н., так как этот метод позволяет уменьшить влияние случайных отклонений за счёт медианного сглаживания ранжированного ряда. По формулам 4.2-4.3 произведена оценка изменчивости и асимметричности функций вероятностей значений оросительных норм.

Исследование дефицита водного баланса проводили по основным группам зонально значимых сельскохозяйственных культур – овощным, кормовым, бахчевым, зерновым, техническим, крупяным.

В таблицах 4.5-4.10 приведены вероятностные значения дефицита водного баланса и статистические оценки (C_v , C_s , средние) основных групп сельскохозяйственных культур, а на рисунках 4.10-4.17 представлены вероятностные кривые d_{wb} применительно к пригородной зоне Волгограда, для других сельскохозяйственных районов области результаты исследования сведены в приложение В.

Таблица 4.5 – Дефицит водного баланса d_{wb} овощных культур

Район	d_{wb} , м ³ /га					Статистические оценки		
	5%	25%	50%	75 %	95%	среднее	C_v	C_s
Капуста белокочанная								
Волгоград	2140	2900	3350	4000	4560	3350	0,23	0,46
Иловля	1800	2700	3350	3800	4400	3300	0,27	0,45
Урюпинск	1030	1600	2800	3060	3500	2440	0,39	0,79
Котельниково	1170	1900	3450	3600	4250	2750	0,31	0,61
Палласовка	2300	3350	3820	4200	4700	3730	0,18	0,36
Лук репчатый								
Волгоград	2150	3000	3700	4200	4950	3560	0,26	0,52
Иловля	1800	2800	3700	4200	4720	3540	0,25	0,49
Урюпинск	780	1860	2550	3140	3600	2430	0,36	0,72
Котельниково	1170	2000	3200	3860	4600	2940	0,41	0,82
Палласовка	2500	3800	4230	4760	5050	4150	0,19	0,37
Свекла								
Волгоград	1260	2100	2700	3300	3900	2630	0,31	0,62
Иловля	1000	1900	2750	3300	3700	2600	0,34	0,67
Урюпинск	290	1130	1700	2300	2740	1630	0,48	0,96
Котельниково	400	1300	2400	2850	3660	2120	0,49	0,97
Палласовка	1560	2900	3230	3800	4000	3200	0,23	0,45
Редька								
Волгоград	1260	2100	2700	3300	3900	2630	0,31	0,62
Иловля	1000	1900	2750	3300	3700	2600	0,34	0,67
Урюпинск	290	1130	1700	2300	2740	1630	0,48	0,96
Котельниково	400	1300	2400	2850	3660	2120	0,49	0,97
Палласовка	1560	2900	3230	3800	4000	3200	0,23	0,45
Морковь								
Волгоград	2500	3500	4100	4650	5400	4000	0,23	0,47
Иловля	2250	3300	4100	4640	5200	4000	0,22	0,44
Урюпинск	1400	2260	2900	3530	4000	2800	0,32	0,64
Котельниково	1600	2480	3660	4400	5070	3430	0,34	0,68
Палласовка	2940	4250	4660	5200	5500	4600	0,617	0,34
Баклажан								
Волгоград	2230	3000	3600	4050	4500	3450	0,23	0,46
Иловля	1800	2800	3400	4000	4400	3400	0,21	0,42
Урюпинск	550	1800	2400	2900	3540	2300	0,34	0,68
Котельниково	950	1750	3000	3830	4300	2800	0,43	0,85
Палласовка	2730	3500	4000	4370	4630	3900	0,16	0,33
Картофель								
Волгоград	1080	1900	2400	2800	3350	2300	0,32	0,64
Иловля	650	1740	2300	2800	3200	2300	0,29	0,58
Урюпинск	-	950	1500	1800	2300	1400	0,48	0,96
Котельниково	390	1340	2130	2700	3300	2000	0,44	0,88
Палласовка	1550	2230	2740	3040	3530	2640	0,23	0,45
Томат								
Волгоград	3200	3900	4700	5200	5700	4500	0,20	0,40
Иловля	2700	3760	4500	5100	5700	4500	0,18	0,36
Урюпинск	1170	2560	3370	3800	4500	3230	0,28	0,57
Котельниково	1970	2700	4130	4930	5600	3800	0,36	0,71
Палласовка	3600	4560	5160	5620	5900	5040	0,14	0,29
Перец сладкий								
Волгоград	2500	3260	3900	4420	4980	3760	0,23	0,50
Иловля	1930	3100	3920	4400	4800	3750	0,21	0,42
Урюпинск	1040	2150	2870	3300	4000	2670	0,31	0,64
Котельниково	1160	2200	3500	4220	4700	3200	0,37	0,75
Палласовка	2700	3980	4360	4900	5200	4300	0,17	0,33

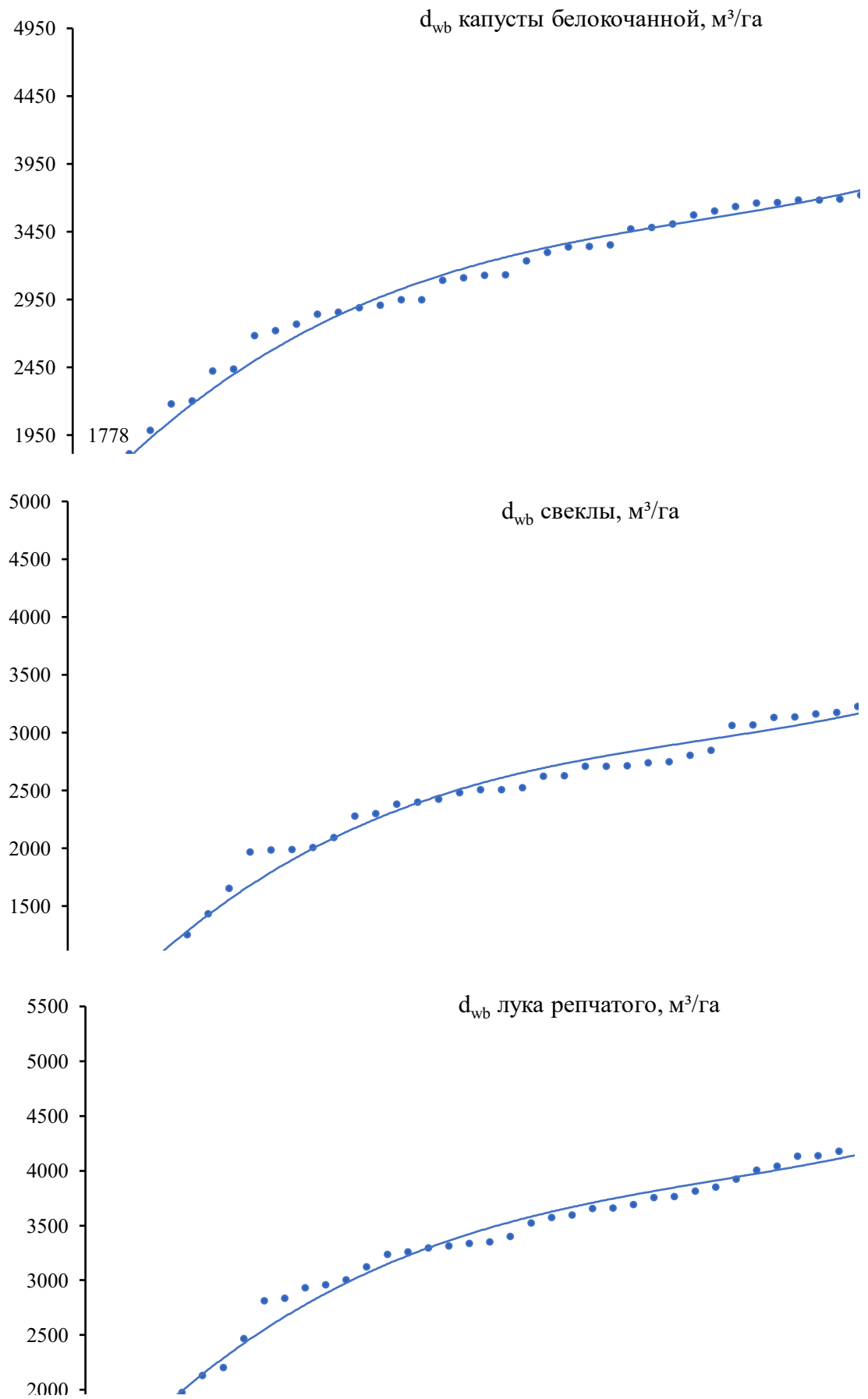


Рисунок 4.10 – Вероятностные значения d_{wb} капусты белокочанной, свеклы и лука репчатого

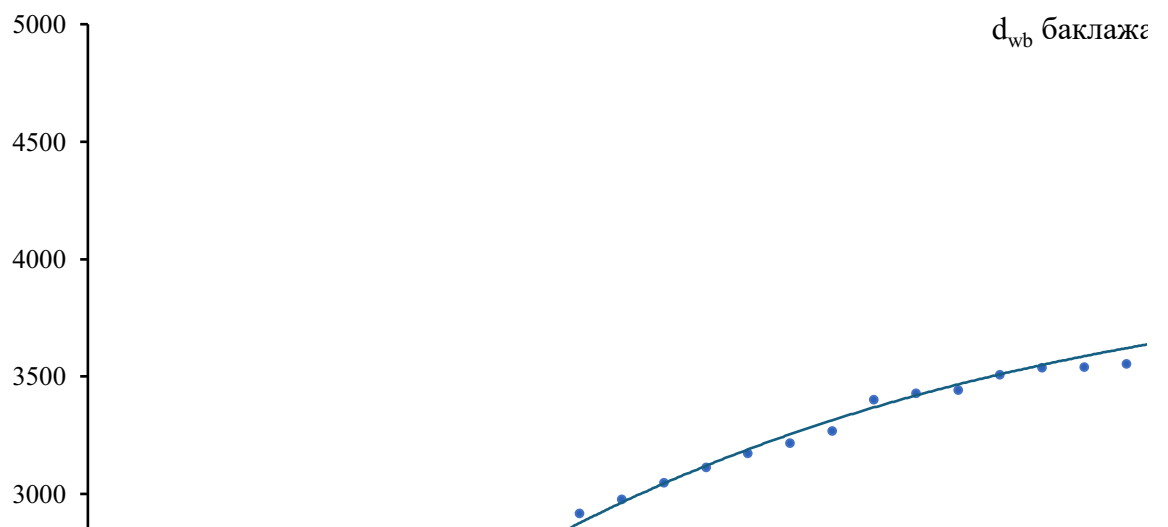
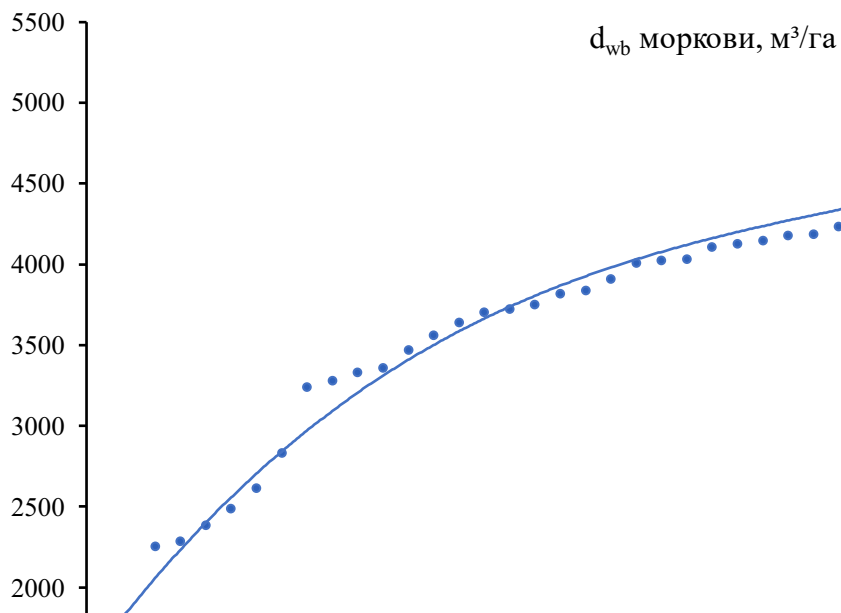
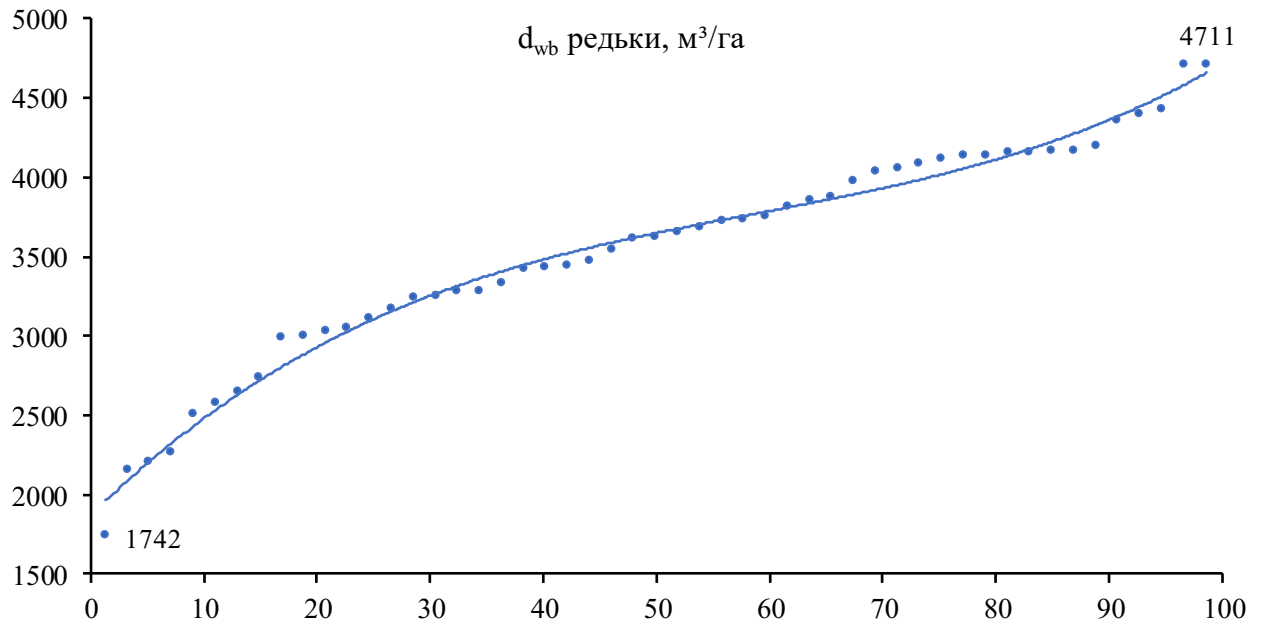


Рисунок 4.11 – Вероятностные значения d_{wb} редьки, моркови и баклажана

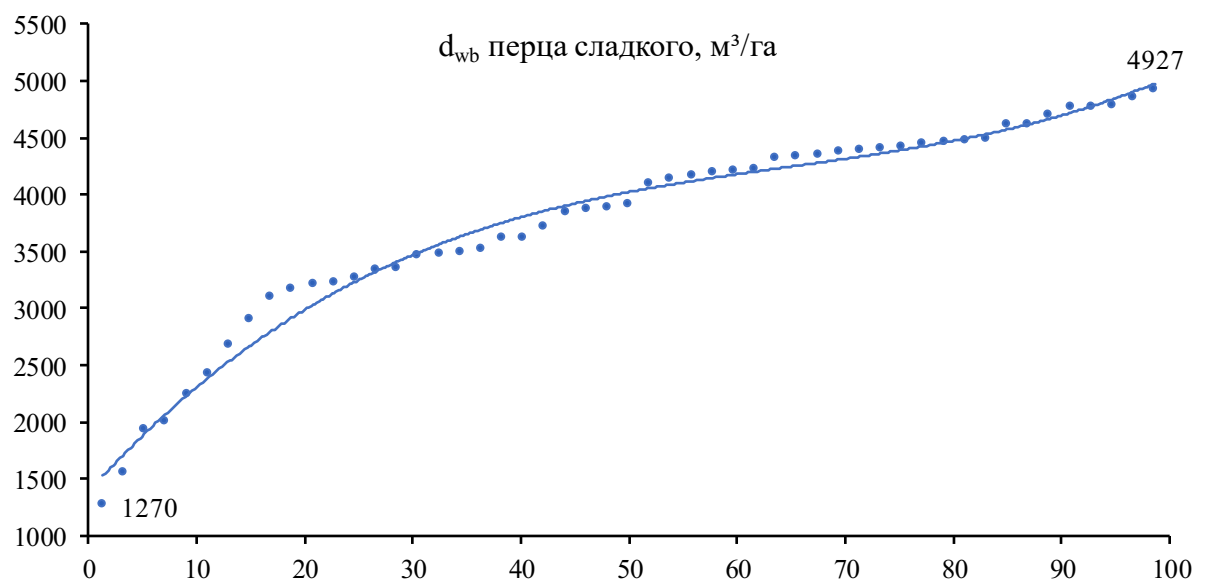
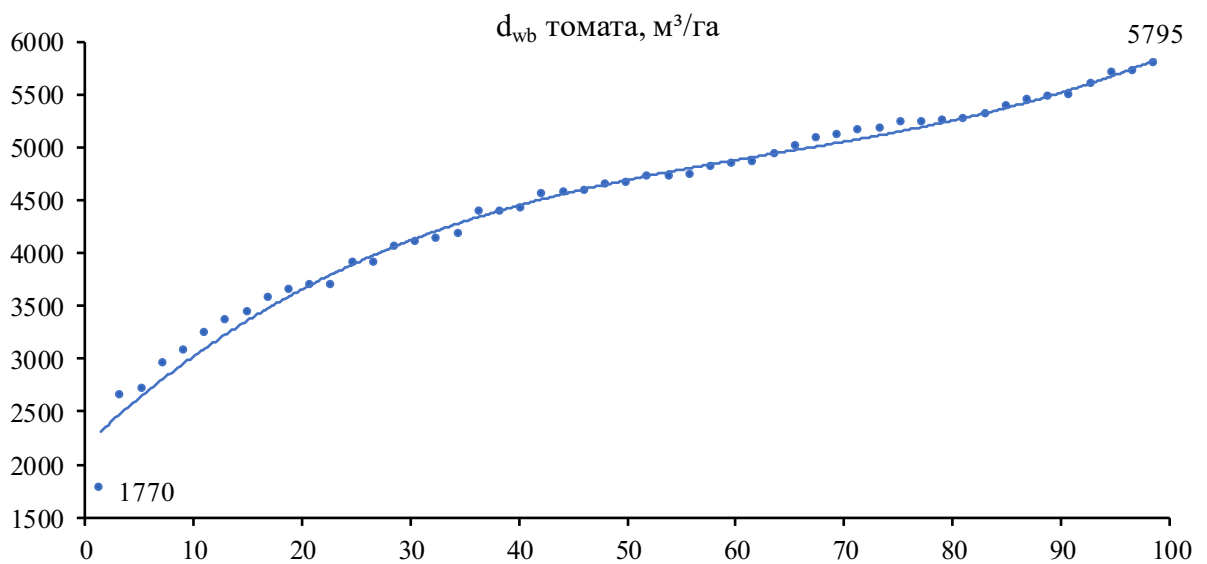
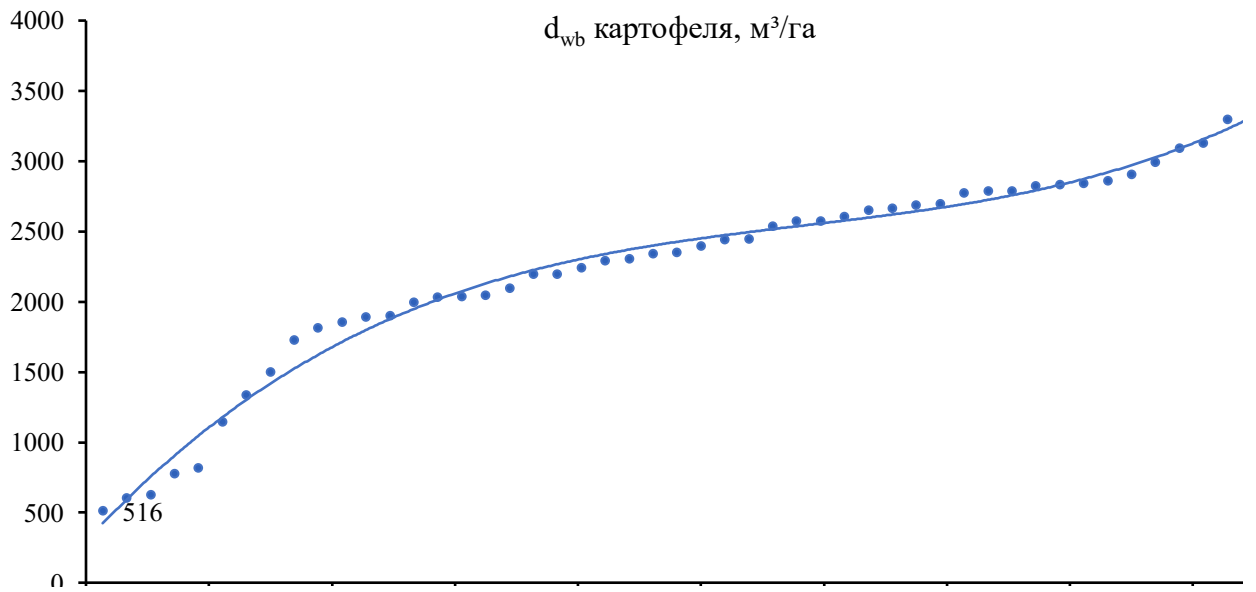


Рисунок 4.12 – Вероятностные значения d_{wb} картофеля, томата и перца сладкого

Вероятностные значения дефицита водного баланса овощных культур (см. табл. 4.5) распределены по основным сельскохозяйственным районам региона с учётом годовой территориальной влагообеспеченности. Графики эмпирических кривых обеспеченностей d_{wb} демонстрируют правостороннюю асимметрию, коэффициенты асимметрии $C_s > 0$. Коэффициенты вариации C_v , не достигающие 20%, показывают умеренную изменчивость значений d_{wb} , что дает надёжный результат, преимущественно данные значения встречаются в расчётах потребностей оросительных норм в пригороде Волгограда и Палласовском районе. Значительная изменчивость показателей водного баланса относительно средних значений объёмов воды для орошения возделываемых культур ($C_v > 33\%$) отмечается в Урюпинском и Котельниковском районах.

Таблица 4.6 – Дефицит водного баланса d_{wb} сои

Район	d_{wb} , м ³ /га					Статистические оценки		
	5%	25%	50%	75 %	95%	среднее	C_v	C_s
Волгоград	-	1200	2200	3800	5650	2500	0,67	1,40
Иловля	-	420	1450	2250	4300	1600	0,89	1,80
Урюпинск	-	-	360	1380	3000	850	1,3	2,60
Котельниково	-	-	1160	3770	5660	1870	1,03	2,10
Палласовка	120	2700	4560	7100	9000	4000	0,61	1,20

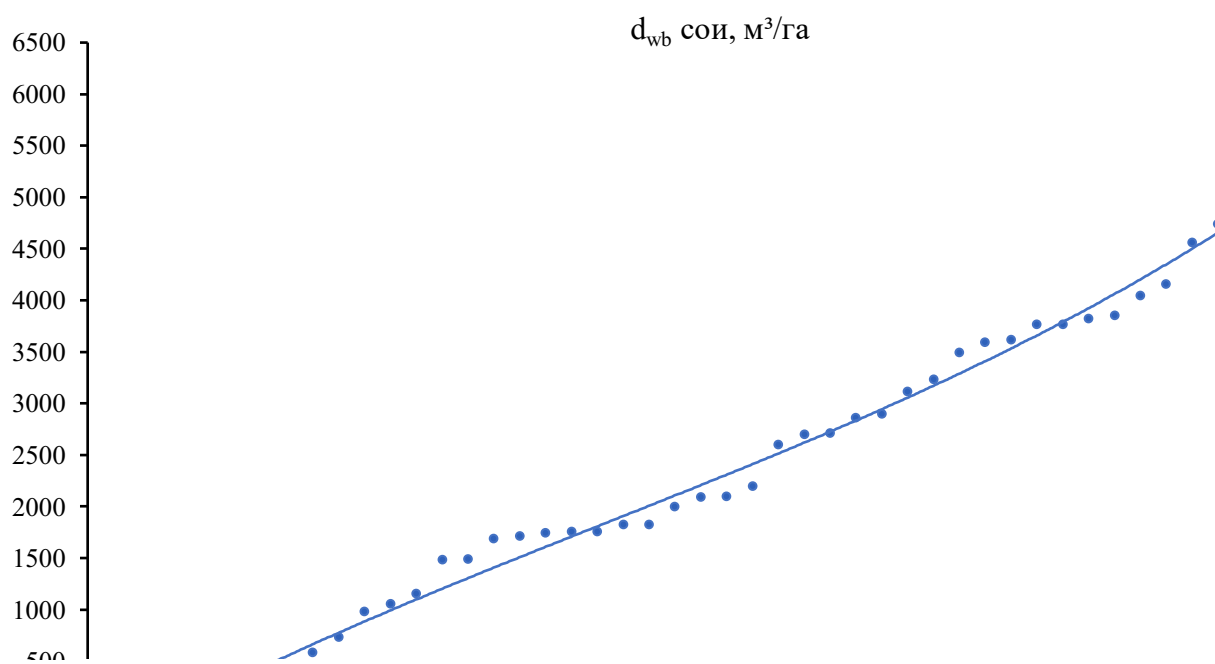


Рисунок 4.13 – Вероятностные значения d_{wb} сои

Соя относится к зернобобовым и масличным культурам, возделывается преимущественно в северной и северо-восточной части региона. По результатам исследования водного баланса сои (табл. 4.6, рис. 4.13) кривые обеспеченности демонстрируют положительную асимметрию ($C_s > 0$), а коэффициенты вариации ($C_v > 33\%$) отражают неоднородную совокупность многолетних показателей d_{wb} культуры.

Исследования дефицита водного баланса зерновых культур и кривых обеспеченностей, имеющих положительную асимметрию и коэффициенты вариации C_v менее 33%, отражают умеренную неоднородность показателей d_{wb} , но значительных разброс значений относительно среднего имеет место в Урюпинском и Котельниковском районах при расчёте оросительных норм кукурузы на зерно (табл. 4.7, рис. 4.14).

Таблица 4.7 – Дефицит водного баланса d_{wb} зерновых культур

Район	d_{wb} , м ³ /га					Статистические оценки		
	5%	25%	50%	75 %	95%	среднее	C_v	C_s
Рис								
Волгоград	4480	5500	6400	7100	7700	6200	0,17	0,35
Иловля	4000	5350	6200	6870	7700	6200	0,16	0,32
Урюпинск	2450	2670	4560	5470	5800	4700	0,22	0,46
Котельниково	3040	3700	5710	6750	7610	5400	0,30	0,60
Палласовка	5160	6340	6950	7700	7950	6880	0,14	0,27
Кукуруза на зерно								
Волгоград	2300	3200	4000	4500	5270	3800	0,25	0,51
Иловля	2050	3200	3900	4400	5100	3750	0,24	0,47
Урюпинск	1050	1970	2600	3400	3740	2600	0,36	0,72
Котельниково	1120	2260	3450	4150	5070	3230	0,38	0,75
Палласовка	2900	3990	4500	5100	5390	4430	0,18	0,36
Сорго на зерно								
Волгоград	1370	2200	2760	3400	3900	2700	0,33	0,66
Иловля	960	2130	2700	3350	3700	2670	0,29	0,58
Урюпинск	340	1180	1700	2300	2930	1700	0,46	0,93
Котельниково	370	1400	2430	2980	3650	2200	0,47	0,95
Палласовка	1770	2870	3330	3770	4060	3200	0,21	0,43

Статистическая оценка расчётных многолетних показателей дефицита водного баланса кормовых культур также отражает высокую изменчивость полученных значений в пригороде Волгограда, Иловлинском и Котельниковском районах $C_v > 33\%$ (табл. 4.8, рис. 4.15).

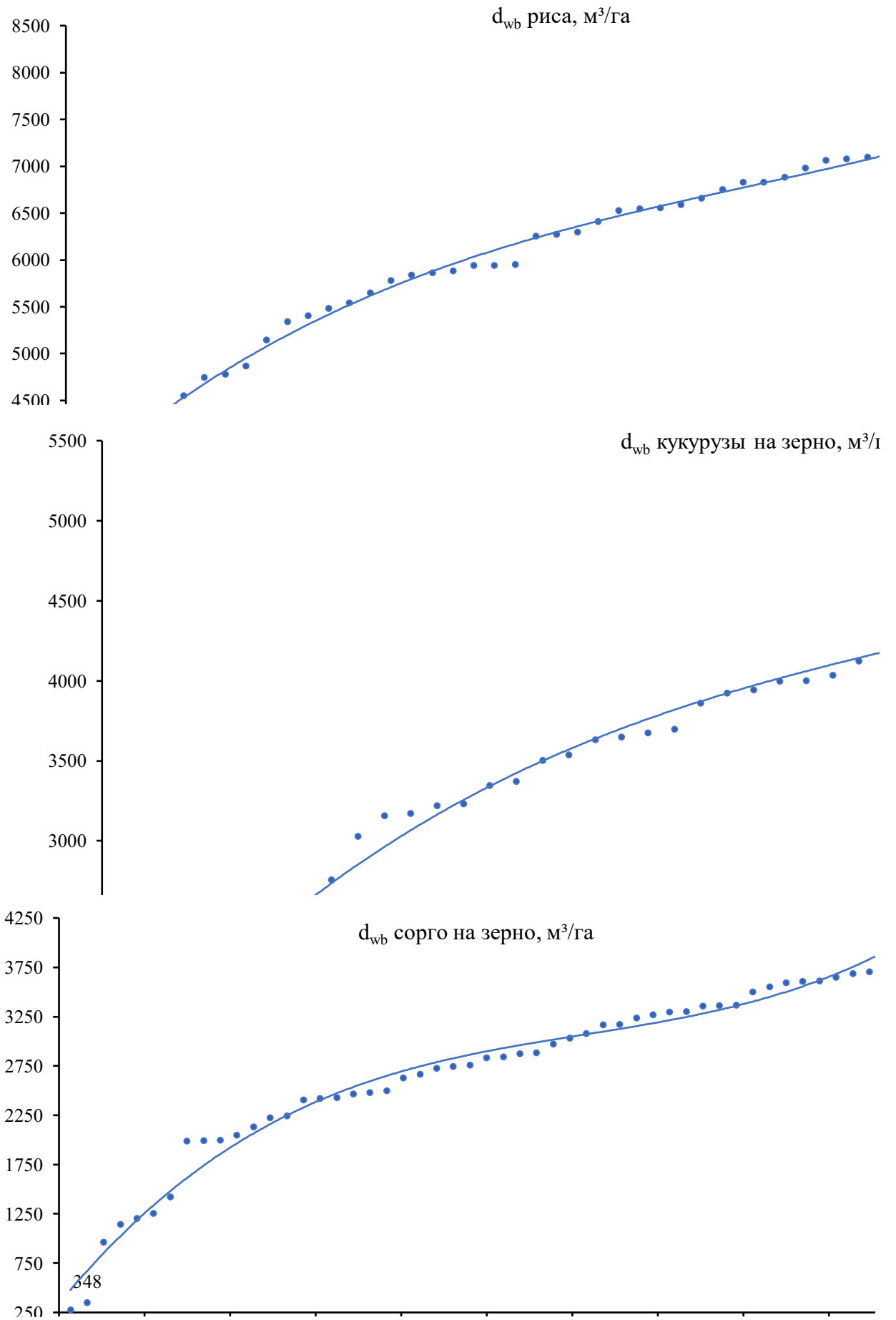
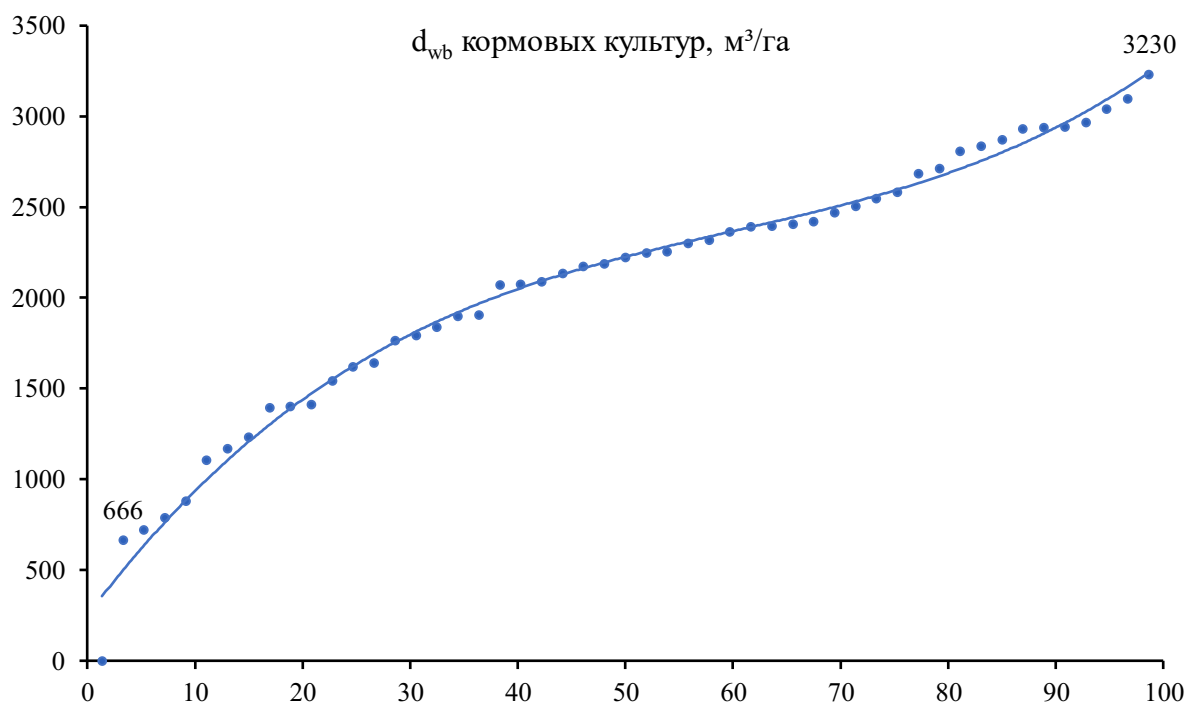


Рисунок 4.14 – Вероятностные значения d_{wb} риса, кукурузы и сорго на зерно

Таблица 4.8 – Дефицит водного баланса d_{wb} кормовых культур

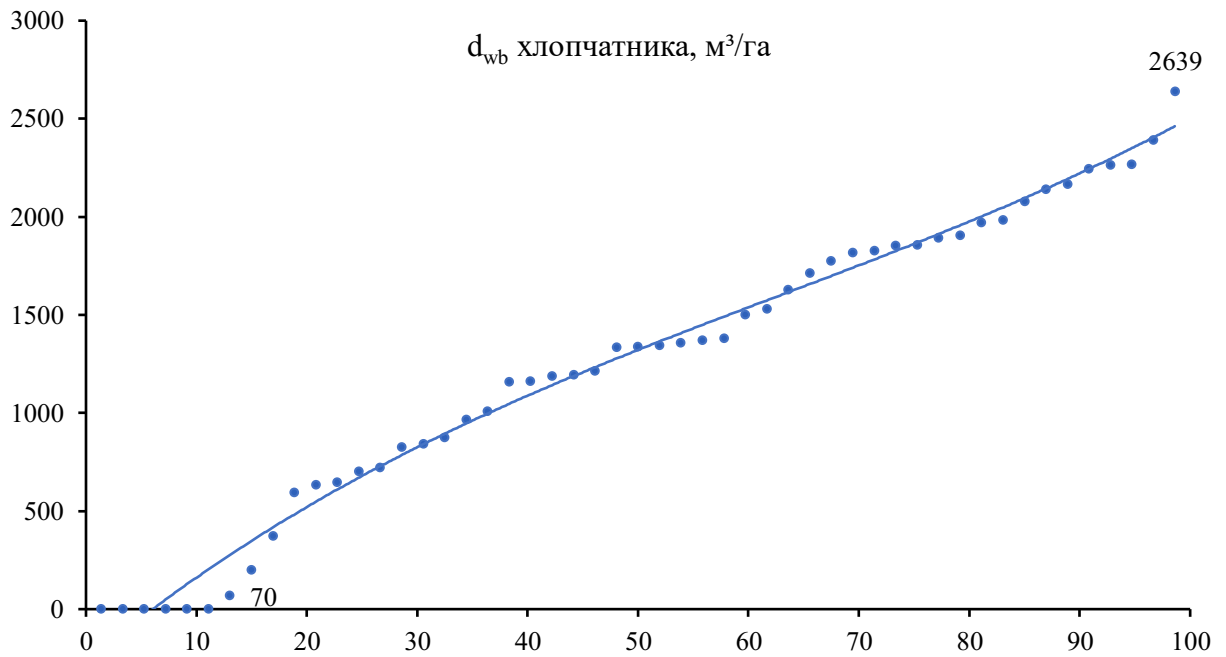
Район	d_{wb} , м ³ /га					Статистические оценки		
	5%	25%	50%	75 %	95%	среднее	C_v	C_s
Волгоград	900	1600	2200	2600	3600	2100	0,35	0,69
Иловля	700	1500	2100	2500	3000	2100	0,34	0,68
Урюпинск	-	500	1400	1800	2500	1800	0,28	0,56
Котельниково	150	1200	1900	2400	3100	2850	0,35	0,70
Палласовка	1100	2150	2600	3050	3300	2500	0,17	0,34

Рисунок 4.15 – Вероятностные значения d_{wb} кормовых культур

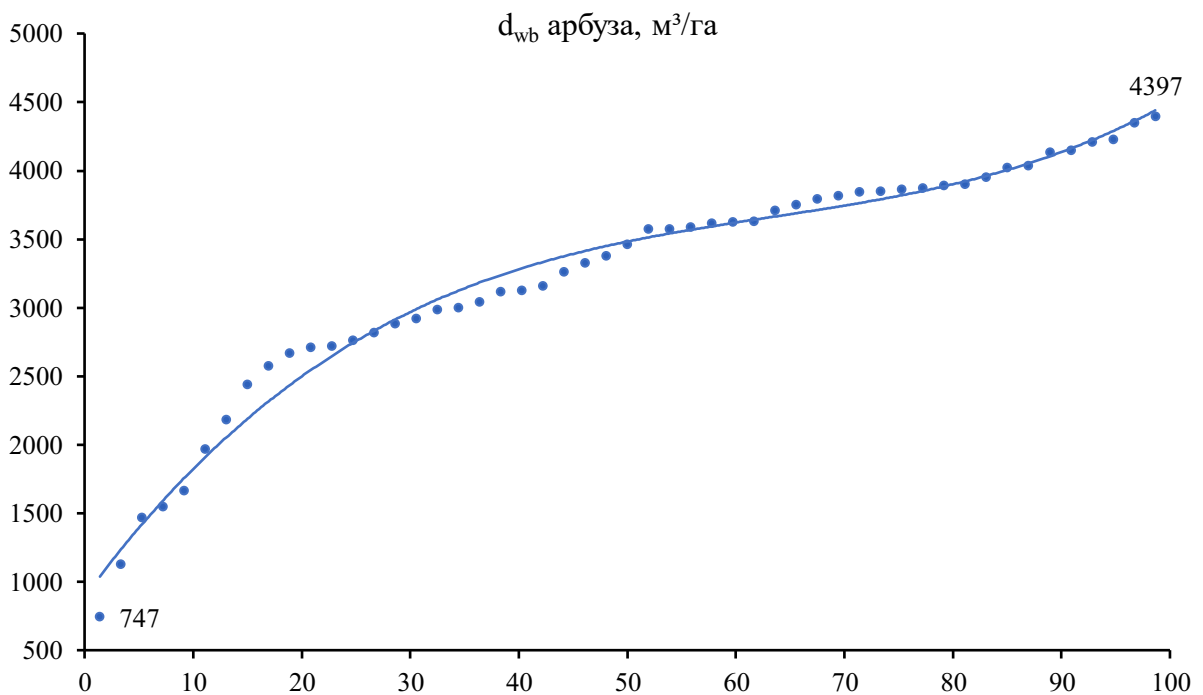
Исследование дефицита водного баланса хлопчатника и статистическая оценка расчётных многолетних показателей оросительных норм культуры также отражает высокую изменчивость полученных значений $C_v > 33\%$ (табл. 4.9, рис. 4.16).

Таблица 4.9 – Дефицит водного баланса d_{wb} хлопчатника

Район	d_{wb} , м ³ /га					Статистические оценки		
	5%	25%	50%	75 %	95%	среднее	C_v	C_s
Волгоград	-	670	1300	1900	2500	1260	0,59	1,18
Иловля	-	700	1260	1800	2270	1200	0,61	1,24
Урюпинск	-	0	330	950	1400	500	1,14	2,28
Котельниково	-	220	1050	1520	2200	970	0,75	1,49
Палласовка	240	1340	1780	2270	2530	1720	0,39	0,78

Рисунок 4.16 – Вероятностные значения d_{wb} хлопчатникаТаблица 4.10 – Дефицит водного баланса d_{wb} арбуза

Район	d_{wb} , м³/га					Статистические оценки		
	5%	25%	50%	75 %	95%	среднее	C_v	C_s
Волгоград	1940	2770	3500	3870	4430	3330	0,26	0,53
Иловля	1470	2600	3400	3850	4200	3230	0,24	0,47
Урюпинск	700	1700	2380	2840	3500	2210	0,37	0,74
Котельниково	720	1830	2870	3630	4150	2700	0,40	0,80
Палласовка	2300	3450	3840	4280	4570	3750	0,18	0,36

Рисунок 4.17 – Вероятностные значения d_{wb} арбуза

Исследование дефицита водного баланса бахчевых культур и статистическая оценка расчётных многолетних показателей норм орошения арбуза также отражает высокую изменчивость полученных значений $C_v > 33\%$ в Урюпинском и Котельниковском районах с положительной асимметрией кривых обеспеченностей (табл. 4.10, рис. 4.17).

Полученные вероятностные кривые d_{wb} зонально значимых сельскохозяйственных культур (рис 4.10-4.17, приложение Б) описываются полиномиальной кубической функцией с коэффициентами детерминации R^2 от 0,97 до 0,99 следующего вида:

$$d_{wb} = a \cdot p^3 + c \cdot p^2 + c \cdot p + d, \quad (4.9)$$

где a, b, c, d – коэффициенты регрессии (табл. 4.11-4.13);

p – вероятностные значения d_{wb} культуры.

Картограммы территориальной изменчивости многолетнего показателя d_{wb} для изучаемых культур в средний (50%) по влажности год обеспеченности представлены ниже на рисунках 4.18-4.20.

Таблица 4.11 – Коэффициенты регрессий уравнения 4.9 для зонально значимых сельскохозяйственных культур по районам области

Культура	Волгоград				Иловля			
	a	b	c	d	a	b	c	d
Капуста белокочанная	0,01	-1,26	85,91	1369,6	0,001	-0,09	29,78	1963,8
Лук репчатый		-1,50	106,6	1135,5	0,002	-0,33	45,77	1901,1
Свекла		-1,54	105,8	289,81	0,002	-0,33	43,89	1044,3
Редька		-0,96	70,07	1869,4	0,003	-0,46	42,24	2306,7
Морковь		-1,53	108,8	1526,3	0,003	-0,46	50,64	2282,5
Баклажан		-1,33	96,01	1295,9	0,001	-0,21	34,35	2066,5
Картофель		-1,43	94,36	297,7	0,003	-0,50	47,87	841,67
Томат		-1,24	95,81	2183,2	0,002	-0,4	43,40	2929,4
Перец сладкий		-1,42	105,6	1384,5	0,002	-0,37	44,15	2224,1
Соя		-0,55	72,46	-428,7	0,014	-1,53	78,01	-555,0
Рис		-1,19	101,3	3546,4	0,005	-0,66	59,41	4273,3
Кукуруза на зерно		-1,23	98,40	1397,4	0,004	-0,64	58,27	2005,2
Сорго зерновая		-1,5	105,9	338,24	0,002	-0,30	41,13	1192,6
Однолетние кормовые		-1,09	7,70	251,8	0,003	-0,38	40,67	721,35
Хлопчатник		-0,41	46,7	-267,8	0,002	-0,3	40,4	-217,3
Арбуз		-1,50	107,0	896,1	0,002	-0,33	41,21	1767,7

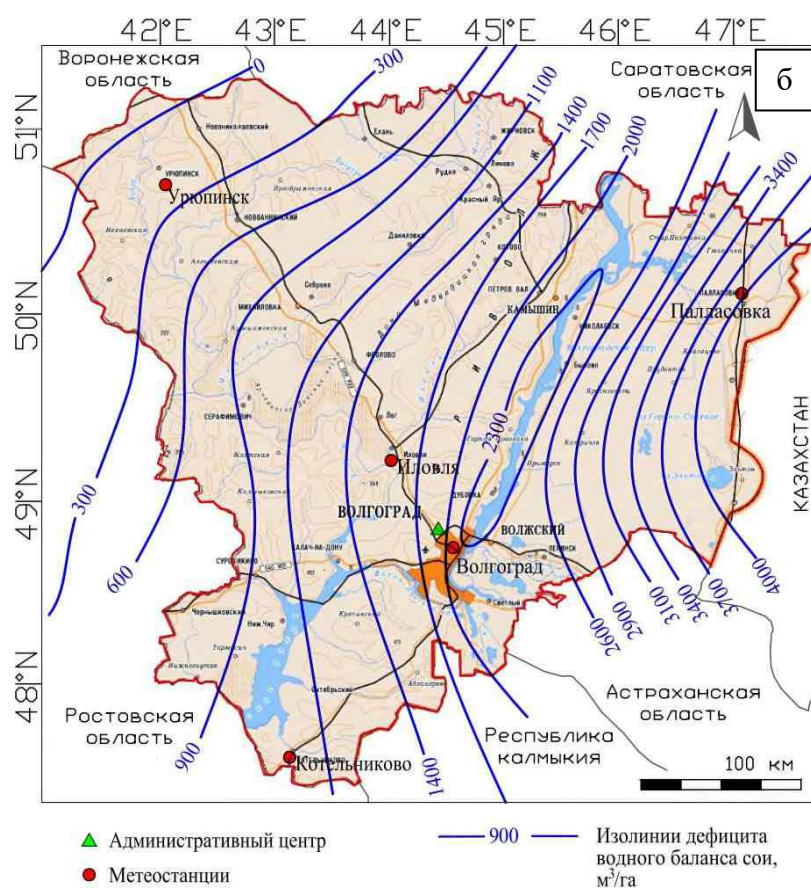
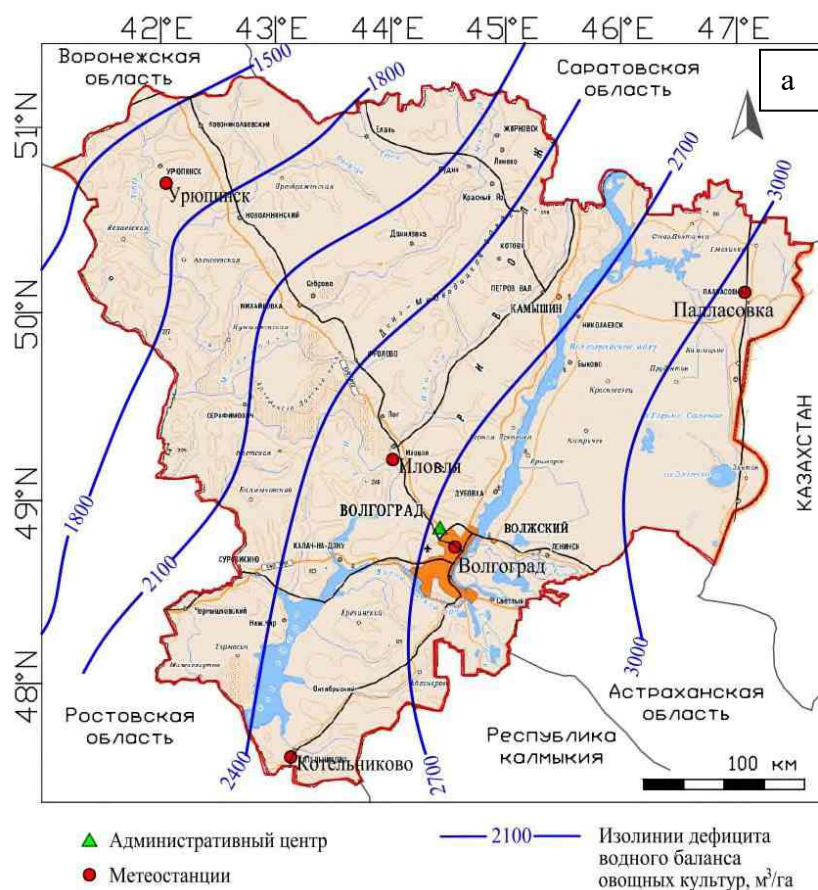


Рисунок 4.18 – Территориальная изменчивость среднего многолетнего значения d_{wb} овощных культур (а) и сои (б), м³/га

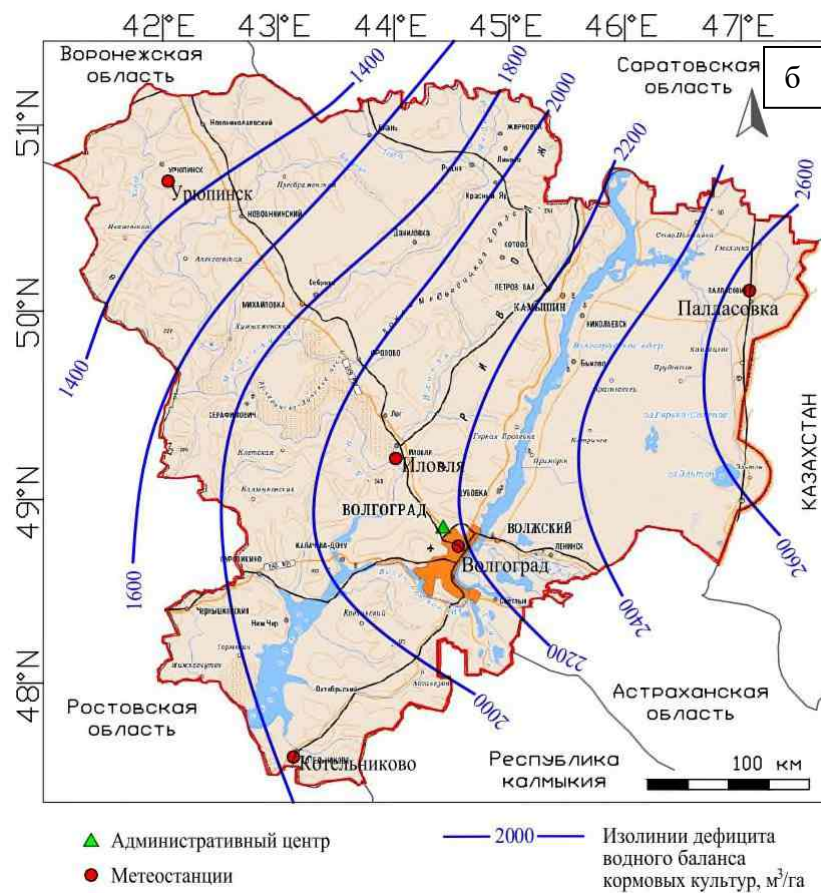
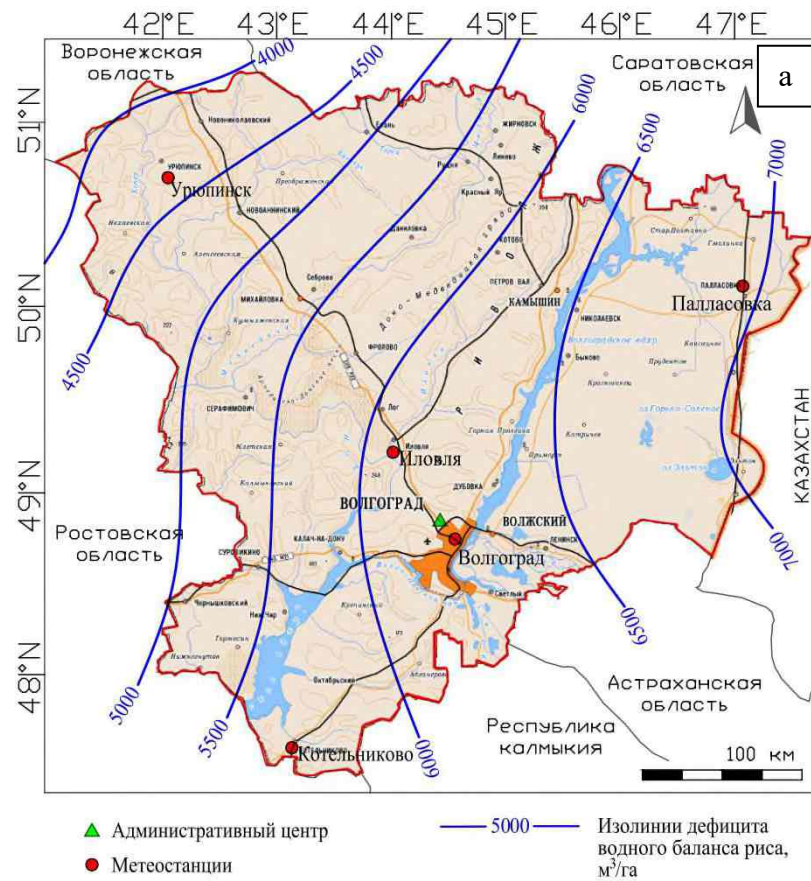


Рисунок 4.19 – Территориальная изменчивость среднего многолетнего значения d_{wb} риса (а) и кормовых культур (б), m^3/ha

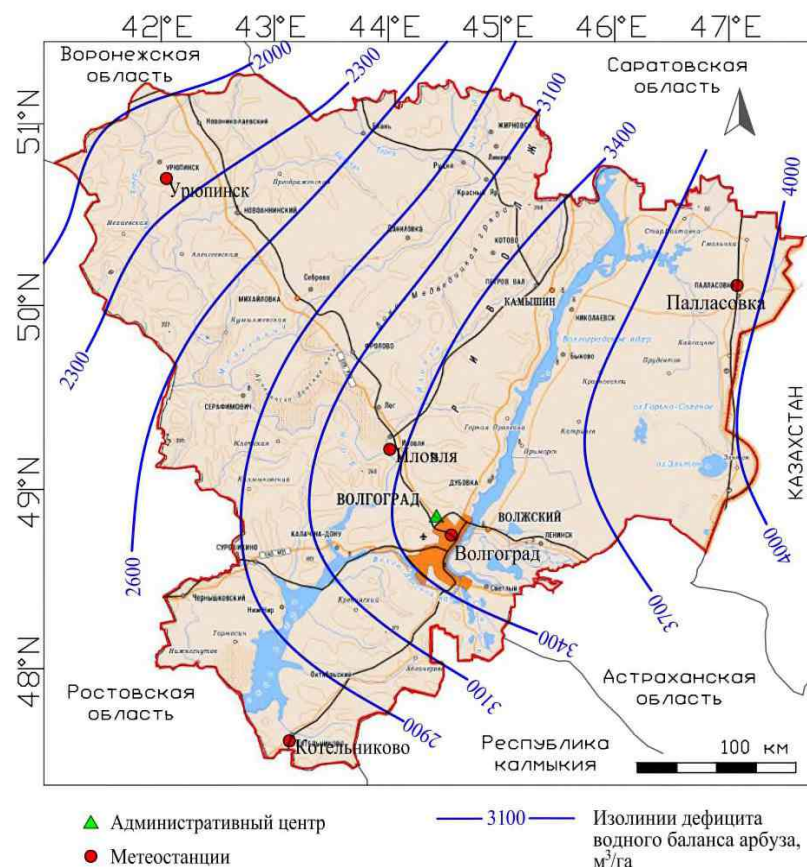


Рисунок 4.20 – Территориальная изменчивость среднего многолетнего показателя d_{wb} арбуза, м³/га

Таблица 4.12 – Продолжение таблицы 4.11

Культура	Котельниково				Урюпинск			
	a	b	c	d	a	b	c	d
Капуста белокочанная	0,002	0,13	39,70	757,1	0,002	-0,4	43,5	974,9
Лук репчатый	0,002	-0,48	72,02	448,3	0,009	-1,5	90,5	400,9
Свекла	0,003	-0,55	66,32	-43,5	0,007	-1,0	67,4	-37,3
Редька	0,003	-0,79	86,68	592,4	0,01	-1,6	92,3	863,6
Морковь	0,002	-0,50	69,34	1037,0	0,01	-1,5	95,2	726,6
Баклажан	0,001	-0,48	77,17	208,5	0,01	-1,7	99,2	338,0
Картофель	0,005	-0,97	78,68	-62,11	0,01	-1,5	87,0	-315
Томат	0,002	-0,58	86,28	899,43	0,01	-1,7	104,4	1026
Перец сладкий	0	-0,12	58,64	785,71	0,01	-1,6	99,8	536,1
Соя	0	1,0	-24,1	99,45	0,01	-0,8	24,4	-182
Рис	0,006	-1,28	128,5	1709,1	0,01	-1,6	102,6	2297
Кукуруза на зерно	0,005	-0,93	91,57	538,2	0,01	-1,4	92,3	473,2
Сорго зерновая	0,003	-0,58	70,8	-54,93	0,01	-1,03	69,9	-38,0
Однолетние кормовые	0,01	-1,10	74,96	-162,0	0,003	-0,52	47,2	-96,6
Хлопчатник	0	0,27	11,50	-135,2	0	0,29	-9,1	41,0
Арбуз	0	-0,19	56,45	501,26	0,01	-1,5	96,5	162,4

Таблица 4.13 – Продолжение таблицы 4.11

Культура	Палласовка			
	a	b	c	d
Капуста белокочанная	0,01	-1,2	82,0	1956,7
Лук репчатый		-1,4	95,3	2097,3
Свекла		-1,3	89,2	1249,4
Редька		-1,0	59,7	2663
Морковь		-1,5	98,3	2492
Баклажан		-1,1	75,2	2226,8
Картофель		-1,1	69,8	1116,5
Томат		-1,3	85,3	3148
Перец сладкий		-1,3	85,6	2429,8
Соя		-2,6	180	-504,5
Рис		-1,4	99,1	4544,8
Кукуруза на зерно		-1,2	87,8	2396,6
Сорго зерновая		-1,1	77,0	1957,8
Однолетние кормовые		-1,1	76,2	811,4
Хлопчатник		-1,0	72,6	24,3
Арбуз		-1,2	81,5	1962

4.4 Статистические оценки ожидаемых затрат оросительной воды для перспективного планирования водоподачи в орошаемом земледелии

К параметрам режима орошения относятся сроки и количество поливов, объёмы подаваемой воды, совместное регулирование которых обеспечивает поддержание требуемой влажности корнеобитаемого слоя почвы на протяжении всего периода вегетации культур.

Расчёт оросительной нормы базируется на определении общего объёма оросительной воды, необходимого для компенсации дефицита естественного увлажнения в течение всего периода вегетации. Её величина должна обеспечивать восполнение недостатка атмосферных осадков и почвенной влаги, одновременно создавая условия для формирования оптимального суммарного водопотребления, соответствующего физиологическим потребностям культуры и обеспечивающего реализацию её продукционного

потенциала. Оросительная норма определяется по формуле:

$$M_{nt} = \sum m_{nt}, \quad (4.10)$$

где M_{nt} – оросительная норма нетто, м³/га;

m_{nt} – расчётная поливная норма (нетто) культуры, м³/га.

Поливная норма зависит от водно-физических свойств почвы, вида культуры, рельефа, способа и технологии полива. Формула определения поливной нормы имеет вид:

$$M_{nt} = 10\gamma h(B_{HB} - B_{cr}), \quad (4.11)$$

где γ – плотность расчётного слоя почвы, т/м;

h – расчётная глубина промачивания, м;

B_{HB} – влажность почвы при наименьшей влагоёмкости (НВ), % массы сухой почвы (МСП);

B_{cr} – предполивная влажность почвы, % МСП.

Если сведения о НВ почвы отсутствуют, то поливную норму приближенно можно рассчитать по данным гранулометрического состава [27]:

$$m_{nt} = (100 - \beta_{\min})(0,27X_{<0,05} + 13)h, \quad (4.12)$$

где $\beta_{\min}$ – нижний предел оптимального увлажнения, % от НВ;

$X_{<0,05}$ – количество почвенных фракций менее 0,05 мм, %.

При различных агротехнических и природных условиях режим орошения должен обеспечивать оптимальный для культуры водных режим корнеобитаемого слоя. Современные исследования водно-балансового подхода позволяют определять оросительную норму нетто как сумму дефицита влаги во время вегетации растений.²⁸

$$M_{nt} = d_{wb} = \sum m_{nt}. \quad (4.13)$$

²⁸ Укрупненные нормы водопотребности для орошения по природно-климатическим зонам СССР. Утверждены приказом Минводхоза СССР от 12 декабря 1983 г. № 335. М.: Минводхоз СССР, 1984. 346 с.

При необходимости добавления вневегетационных поливов и соблюдении промывного режима оросительная норма может быть определена по формуле:

$$M_{nt} = d_{wb} + m_{пром} + \sum m_0, \quad (4.14)$$

где d_{wb} – дефицит водного баланса, мм;

$m_{пром}$ – количество поливной воды для промывного режима, мм;

$\sum m_0$ – сумма вневегетационных поливов (освежительные, влагозарядковые, предпосевные, противозаморозковые, удобрительные), мм.

Оросительная норма брутто (M_{br}), учитывающая технические потери воды на инфильтрацию ниже расчётного слоя почвы, сбросы за пределы почвы и испарение при поливе, определяется по формуле:

$$M_{br} = M_{nt} \cdot \eta, \quad (4.14)$$

Значение оросительной нормы (M_{nt}) является ключевым звеном при формировании мелиоративного режима орошаемого участка, определяющим эффективность использования водных ресурсов и направленность почвенных процессов. При правильном определении её величины обеспечиваются оптимальные условия водоснабжения растений с формированием стабильного урожая и сохранением плодородия почв. Превышение или недостаточность объёма поливной воды способствуют нарушению экологического равновесия агроландшафта, вызывая процессы вторичного засоления и осолонцевания, минерализации органического вещества, снижения запасов гумуса и другие деградационные изменения, ухудшающие мелиоративное и агроэкологическое состояние орошаемых территорий.

Расчётная оросительная норма принимается равной объёму воды, необходимому для полного восполнения выявленного дефицита влаги (формула 4.10) в корнеобитаемом слое почвы (табл. 4.14-4.18).

Таблица 4.14 – Обеспеченные оросительные нормы зонально значимых культур для условий пригорода Волгограда

Культура	Обеспеченные оросительных норм M_{nt} , м ³ /га				
	5%	25%	50%	75 %	95%
Сухостепная зона каштановых почв, $K_y > 0,25$					
Капуста белокочанная	2140	2900	3350	4000	4560
Лук репчатый	2150	3000	3700	4200	4950
Свекла	1260	2100	2700	3300	3900
Редька	2560	3100	3600	4100	4400
Морковь	2500	3500	4100	4650	5400
Баклажан	2230	3000	3600	4050	4500
Картофель	1080	1900	2400	2800	3350
Томат	3200	3900	4700	5200	5700
Перец сладкий	2500	3260	3900	4420	4980
Соя	-	1200	2200	3800	5650
Рис	4480	5500	6400	7100	7700
Кукуруза на зерно	2300	3200	4000	4500	5270
Сорго зерновое	1370	2200	2760	3400	3900
Однолетние кормовые	900	1600	2200	2500	3000
Хлопчатник	-	700	1300	1900	2500
Арбуз	1940	2770	3500	3870	4430

Таблица 4.15 – Обеспеченные оросительные нормы зонально значимых культур для условий Иловлинского района

Культура	Обеспеченные оросительных норм M_{nt} , м ³ /га				
	5%	25%	50%	75 %	95%
Сухостепная зона каштановых и темно-каштановых почв, $K_y > 0,30$					
Капуста белокочанная	1800	2700	3350	3800	4400
Лук репчатый	1800	2800	3700	4200	4720
Свекла	1000	1900	2750	3300	3700
Редька	2500	3100	3600	4000	4400
Морковь	2250	3300	4100	4640	5200
Баклажан	1800	2800	3400	4000	4400
Картофель	650	1740	2300	2800	3200
Томат	2700	3760	4500	5100	5700
Перец сладкий	1930	3100	3920	4400	4800
Соя	-	420	1450	2250	4300
Рис	4000	5350	6200	6870	7700
Кукуруза на зерно	2050	3200	3900	4400	5100
Сорго зерновое	960	2130	2700	3350	3700
Однолетние кормовые	700	1500	2100	2500	3000
Хлопчатник	0	700	1260	1800	2270
Арбуз	1470	2600	3400	3850	4200

Таблица 4.16 – Обеспеченные оросительные нормы зонально значимых культур для условий Урюпинского района

Культура	Обеспеченные оросительных норм $M_{нт}$, м ³ /га				
	5%	25%	50%	75 %	95%
Степная зона черноземных почв, $K_y > 0,35$					
Капуста белокочанная	1030	1600	2800	3060	3500
Лук репчатый	780	1860	2550	3140	3600
Свекла	290	1130	1700	2300	2740
Редька	890	1860	2450	3060	3500
Морковь	1400	2260	2900	3530	4000
Баклажан	550	1800	2400	2900	3540
Картофель	-	950	1500	1800	2300
Томат	1170	2560	3370	3800	4500
Перец сладкий	1040	2150	2870	3300	4000
Соя	-	-	360	1380	3000
Рис	2450	2670	4560	5470	5800
Кукуруза на зерно	1050	1970	2600	3400	3740
Сорго зерновое	340	1180	1700	2300	2930
Однолетние кормовые	-	500	1400	1800	2500
Хлопчатник	-	-	330	950	1400
Арбуз	700	1700	2380	2840	3500

Таблица 4.17 – Обеспеченные оросительные нормы зонально значимых культур для условий Котельниковского района

Культура	Обеспеченные оросительных норм $M_{нт}$, м ³ /га				
	5%	25%	50%	75 %	95%
Сухостепная зона каштановых почв, $K_y > 0,25$					
Капуста белокочанная	1170	1900	3450	3600	4250
Лук репчатый	1170	2000	3200	3860	4600
Свекла	400	1300	2400	2850	3660
Редька	1170	2200	3420	4030	4400
Морковь	1600	2480	3660	4400	5070
Баклажан	950	1750	3000	3830	4300
Картофель	390	1340	2130	2700	3300
Томат	1970	2700	4130	4930	5600
Перец сладкий	1160	2200	3500	4220	4700
Соя	-	-	1160	3770	5660
Рис	3040	3700	5710	6750	7610
Кукуруза на зерно	1120	2260	3450	4150	5070
Сорго зерновое	370	1400	2430	2980	3650
Однолетние кормовые	150	1200	1900	2400	3100
Хлопчатник	0	220	1050	1520	2200
Арбуз	720	1830	2870	3630	4150

Таблица 4.18 – Обеспеченные оросительные нормы зонально значимых культур для условий Палласовского района

Культура	Обеспеченные оросительных норм $M_{нт}$, м ³ /га				
	5%	25%	50%	75 %	95%
Сухостепная зона каштановых почв, $K_y < 0,25$					
Капуста белокочанная	2300	3350	3820	4200	4700
Лук репчатый	2500	3800	4230	4760	5050
Свекла	1560	2900	3230	3800	4000
Редька	2900	3530	4000	4300	4700
Морковь	2940	4250	4660	5200	5500
Баклажан	2730	3500	4000	4370	4630
Картофель	1550	2230	2740	3040	3530
Томат	3600	4560	5160	5620	5900
Перец сладкий	2700	3980	4360	4900	5200
Соя	120	2700	4560	7100	9000
Рис	5160	6340	6950	7700	7950
Кукуруза на зерно	2900	3990	4500	5100	5390
Сорго зерновое	1770	2870	3330	3770	4060
Однолетние кормовые	1100	2150	2600	3050	3300
Хлопчатник	240	1340	1780	2270	2530
Арбуз	2300	3450	3840	4280	4570

Выводы:

1. Исследование кривых тепло- и влагообеспеченности сельскохозяйственных районов Волгоградской области выявило территориальную неоднородность формирования гидротермических ресурсов и территориальный дефицит природного увлажнения, который в критические фазы органогенеза растений становится одним из ключевых ограничительных факторов реализации продукционного потенциала культур.

2. По многолетним метеорологическим данным выполнены расчётные эксперименты испаряемости за вегетационный период и проведено современное агроклиматическое районирование области: суммарная испаряемость за тёплый период варьирует от 1400-1600 до 2600-2800 мм с возрастающей изменчивостью с северо-запада на юго-восток. Районирование по показателю природного увлажнения за средний год (50% обеспеченности K_y) позволило уточнить границы территорий с недостаточным увлажнением, засушливым и сухим климатом.

3. Для расчётных уровней обеспеченности установлены нормы

водопотребности: для овощных культур в средний год – от 1500-2740 м³/га (картофель) до 3370-5160 м³/га (томат), в сухой год – от 2300-3530 м³/га (картофель) до 4500-5900 м³/га (томат) в зависимости от почвенно-климатической зоны. Полученные результаты демонстрируют территориальную неоднородность и закономерность возрастания дефицита водного баланса при переходе от влажных лет к сухим (от 5% к 95% обеспеченности). Установленные нормы применимы для перспективного планирования водоподачи, разработки цифровых систем нормирования орошения и проектирования типовых модулей капельного орошения.

4. Установлено, что единые среднемноголетние оросительные нормы не отражают фактическую потребность растений в дополнительном увлажнении. Определена территориальная дифференциация расчётных оросительных норм: для Волгоградского и Палласовского сельскохозяйственных районов коэффициенты вариации составляют менее 20%, для Иловлинского, Урюпинского и Котельниковского – не более 33%. Это позволяет использовать ожидаемые объёмы водоподачи при различных сценариях природного увлажнения для перспективного планирования водоподачи на орошаемые земли Волгоградской области в целях рационального использования водных ресурсов, в том числе за счёт уменьшения случаев несоответствия планируемых объёмов водоподачи фактической потребности культур в орошении.

5 ОЦЕНКА РАЗРАБОТОК И ИССЛЕДОВАНИЙ В ПРАКТИКЕ ВОДОПОДАЮЩИХ ОРГАНИЗАЦИЙ И ВОДОПОТРЕБИТЕЛЕЙ

5.1 Опыт применения системы нормирования водопользования

Перед современным сельским хозяйством стоит задача увеличения объёмов производства продуктов питания, что обусловлено как продовольственной безопасностью страны с учётом актуальных вызовов и угроз, так и экспортом на международные рынки. В этих условиях орошение выступает не только эффективным агромелиоративным приёмом, но и важнейшей составляющей устойчивого функционирования АПК России.

Современный этап развития орошаемого земледелия в Волгоградской области основывается на необходимости разработки адаптивных инструментов к планированию и распределению водных ресурсов для удовлетворения потребностей сельскохозяйственного производства, что связано с неравномерностью распределения водных ресурсов, возрастающей межгодовой изменчивостью метеорологических условий и территориальной неоднородностью почвенно-климатических факторов. Ввиду этого особую значимость приобретает актуализация научно обоснованных методов определения водопотребности сельскохозяйственных культур. Реализация таких подходов позволяет не только обеспечить достаточное увлажнение растений в период вегетации, но и повысить эффективность эксплуатации оросительных и оросительно-обводнительных систем в регионе. Рентабельность применяемых разработок по актуализации оросительных норм позволяет снизить произвольные потери воды и рационально распределять водные ресурсы между водопользователями.

Основными потребителями услуг по подаче воды для орошения являются сельхозтоваропроизводители различных организационно-правовых форм – крестьянские фермерские хозяйства (КФХ), агропромышленные комплексы, индивидуальные предприниматели, направление деятельности которых заключается в производстве продукции растениеводства, а также

иные потребители, имеющие правовые основания для получения воды через государственную организацию. В Волгоградской области таким учреждением является ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз», обеспечивающий эксплуатацию закреплённых за ним объектов мелиоративной инфраструктуры и предоставление услуг по подаче воды для сельскохозяйственного производства. К его деятельности относится обслуживание объектов магистральных и межхозяйственных каналов, насосных станций, гидротехнических сооружений, водораспределительных узлов и иных элементов, посредством которых проводятся работы по распределению и транспортированию оросительной воды. Управление территориальных объектов организуется через филиалы учреждения, которые также занимаются эксплуатацией, регулированием режимов водоподачи и взаимодействием с водопотребителями.

Объёмы водоподачи определяются с учётом специализации хозяйств, структуры посевных площадей, видов возделываемых культур, способов орошения и природно-климатической зоны региона. Высокая потребность в оросительной воде отмечается у товаропроизводителей, выращивающие овощные, кормовые, зерновые и технические культуры, урожайность которых в условиях засушливого климата существенно зависит от своевременного восполнения дефицита влаги.

Существующая система взаимодействия водоподающей организации с товаропроизводителями предусматривает следующие этапы:

- определение потребности в оросительной воде исходя из структуры посева, сроков полива и принятых норм орошения;
- получение технических условий и разработку проектных решений для подключения к государственной оросительной сети (при необходимости);
- установление условий предоставления услуг, планируемых объёмов подачи воды, порядка её учёта и взаимных обязательств сторон.

При этом практика планирования и реализации водоподачи имеет ряд ограничивающих факторов – это использование укрупнённых нормативных

показателей для различных групп сельскохозяйственных культур и недостаточный учёт пространственной неоднородности природно-климатических условий в пределах отдельных районов. Это приводит к расхождению между планируемыми и фактическими объёмами водоподачи, особенно в годы с выраженным отклонением метеорологических параметров от среднемноголетних значений.

Для засушливых территорий Волгоградской области действующий ГОСТ Р 58331.3-2019 [30] регламентирует значения коэффициента увлажнения в диапазоне от 0,3 до 0,4, что характеризует природные условия на укрупнённом территориальном уровне однородными, однако это не соответствует актуальному гидротермическому режиму, подробно рассмотренному в предыдущих главах настоящей диссертации.

Анализ климатически обеспеченных оросительных норм сельскохозяйственных культур показывает выраженную территориальной изменчивость потребности в оросительной воде. В средний по увлажнению год расчётные значения кукурузы на зерно (рис. 5.1, а) изменяются от 4700 м³/га в районе Урюпинска до 6600 м³/га в районе Палласовки, тогда как в сухой год возрастают до 5900-7500 м³/га. Наибольшая потребность в орошении отмечается в Палласовском районе и пригороде Волгограда, а наименьшая – в Урюпинском. В соответствии с нормативными значениями ГОСТ Р 58331.3-2019 кукурузе соответствуют показатели 5810 и 7350 м³/га (в средний и сухой годы).

Аналогичный результат сравнительных показателей характеризует график климатически обеспеченных оросительных норм картофеля (рис. 5.1, б). Усреднённые по территориальным условиям нормативные значения ГОСТа и актуализированные нормы водопотребности культуры свидетельствуют о существенных расчётных различиях: в средний по увлажнению год оросительные нормы колеблется в диапазоне от 1500 до 2700 м³/га, а нормативное значение 4440 м³/га без отражения территориальной изменчивости, в сухой год – от 2300 до 3500 м³/га при

нормативном усреднённом показателе 5540 м³/га.

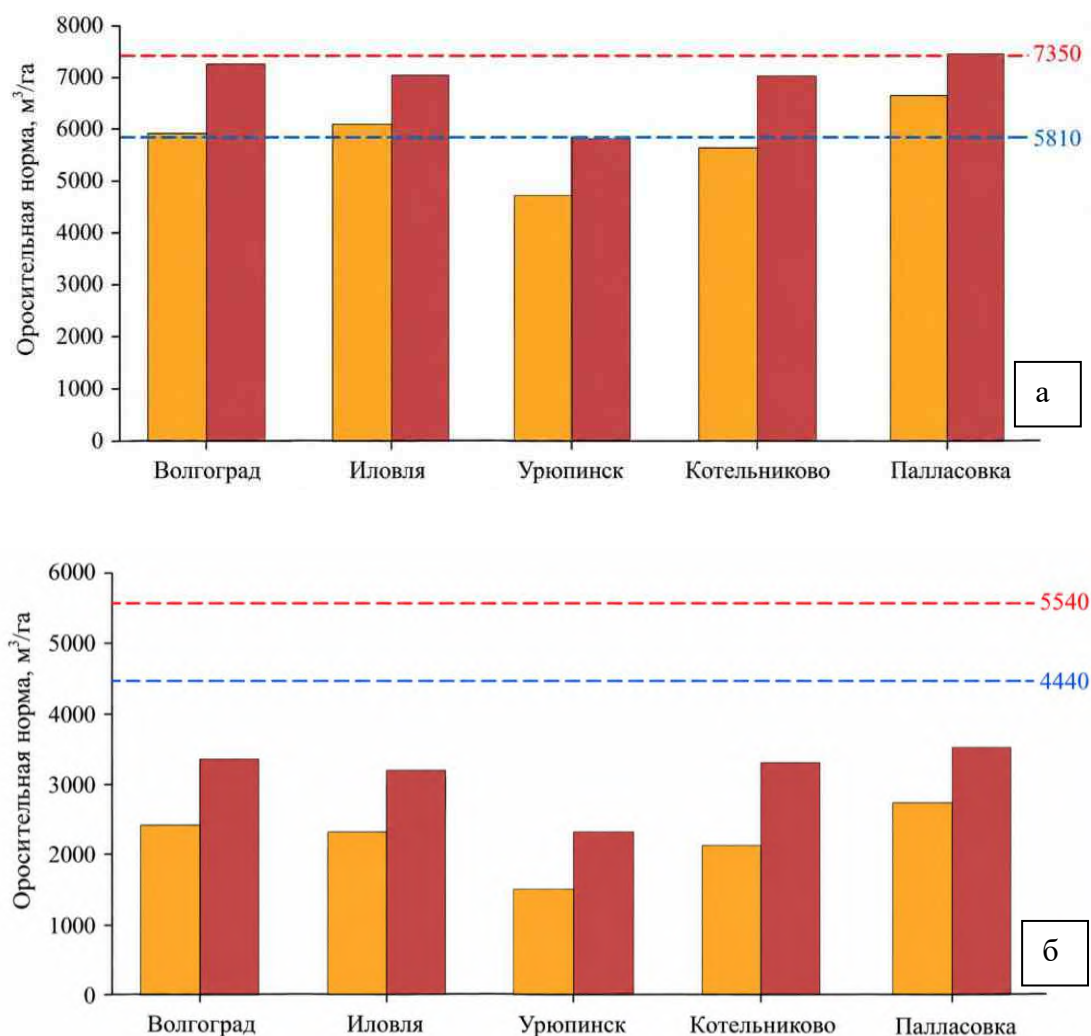


Рисунок 5.1 – Климатически обеспеченные оросительные нормы кукурузы на зерно (а) и картофеля (б)

Применение укрупнённых нормативных показателей в соответствии с ГОСТом предусматривает использование усреднённых значений оросительных норм и для всех видов овощных культур (рис. 5.2), которые не отражают различий в водопотребности отдельных культур данной группы. Разработанная нами методика позволяет дифференцировать оросительные нормы с учётом биологических особенностей конкретной культуры, почвенно-климатических условий территории и климатической обеспеченности года. Это позволяет более точно определять потребности в оросительной воде и повышает обоснованность планируемых объёмов

водоподачи. Полученные результаты подтверждают целесообразность актуализации оросительных норм с учётом природной-климатической неоднородности условий региона.

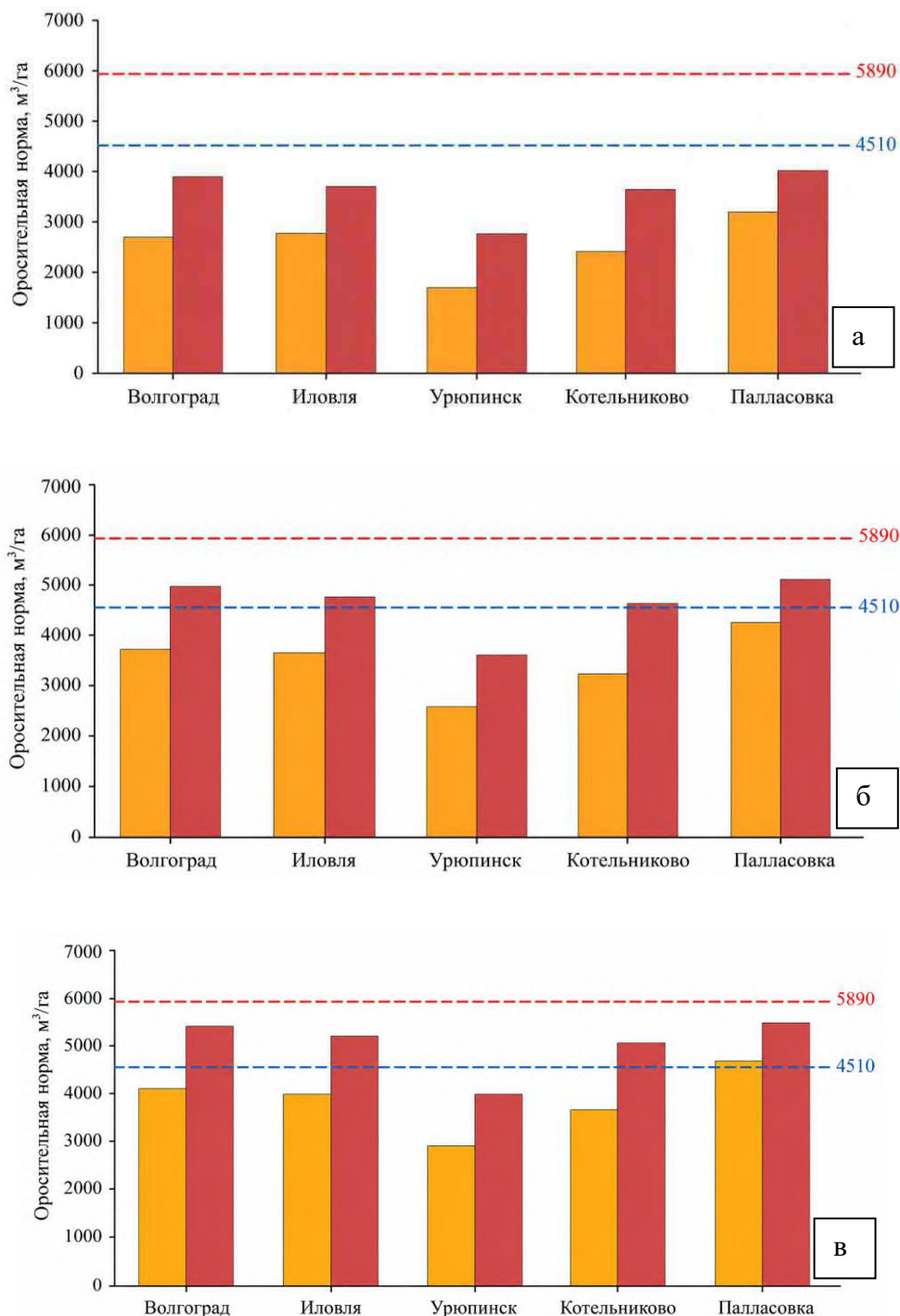


Рисунок 5.2 – Климатически обеспеченные оросительные нормы свеклы (а), лука репчатого (б) и моркови (в)

Практическая апробация результатов исследования осуществлена на базе ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз», ООО «АПК Урожайный»

и КФХ «Выборнов В.Д.», что подтверждается соответствующими актами внедрения (приложение Д). Разработанные рекомендации по определению климатически обеспеченных оросительных норм с учётом почвенно-климатического районирования Волгоградской области использованы при перспективном планировании водоподачи на площади 38,2 тыс. га орошаемых земель, с расчётным экономическим эффектом 4870 руб./га.

В производственных условиях ООО «АПК Урожайный» проведена апробация научно обоснованных оросительных норм кукурузы на зерно при дождевании на площади 194 га, обеспечившая экономию оросительной воды в размере 502 м³/га и экономический эффект 944,6 тыс. руб.

В рамках исследования были разработаны рекомендации по нормированию водопотребности овощных культур и переданы КФХ «Выборнов В.Д.» для использования в производстве лука репчатого, моркови и столовой свёклы с применением капельного орошения на площади 65 га. Ожидаемый годовой экономический эффект составляет около 1,1 млн руб.

5.2 Экономическая эффективность использования актуализированных норм водопотребности для орошения

Задачей мелиорации является достижение стабильных условий сельскохозяйственного производства путём коренного улучшения земель и повышения их плодородия при рациональном использовании природных ресурсов. Проведённое исследование по нормированию водопотребности культур с учётом их агро- и биоклиматических особенностей позволяет снизить непродуктивное использование пресных вод и экологические последствия при избыточных поливах. При этом на экономическую рентабельность применения актуализированных норм орошения указывает минимизация финансовых затрат на подачу воды.

На данном этапе были рассчитаны затраты в соответствии с разработанными оросительными нормами для зонально значимых

сельскохозяйственных культур и текущей стоимостью услуг, оказываемых ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз» для товаропроизводителей: 6,91 руб./м³ – водоподача, 2,01 руб./м³ – водозабор из Волго-Донского судоходного канала им. В.И. Ленина (ВДСК). Расчёт финансовых затрат на орошение одного гектара производили по обеспеченным оросительным нормам с учётом проведённого почвенно-климатического зонирования Волгоградской области (табл. 5.1, рис. 5.3-5.4).

Урюпинский сельскохозяйственный район представлен локальными орошаемыми участками, располагается на северо-западе области и относится к степной зоне чернозёмных почв с $K_y > 0,35$, характеризующий наиболее благоприятные условия естественного увлажнения. В пределах района затраты на подачу оросительной воды составляют: при возделывании кукурузы на зерно 9,4-33,4 тыс. руб./га, сорго – 3,3-26,1 тыс. руб./га, картофеля – до 20,5 тыс. руб./га. Для сои во влажный и средне-влажный годы потребность в дополнительных затратах на водоподачу отсутствует, а в средний и сухой годы составляет 3,2 и 26,8 тыс. руб./га соответственно. Для картофеля во влажный год необходимость в орошении не выявлена.

Иловлинский сельскохозяйственный район также представлен локальными участками орошения, располагается в сухостепной зоне каштановых и тёмно-каштановых почв с $K_y = 0,30-0,35$. Район характеризуется умеренной вариацией затрат на подачу оросительной воды при возделывании зернового сорго и картофеля, более существенными различиями – при возделывании кукурузы и сои на зерно. Возрастающая изменчивость в финансовых затратах характеризуется от влажного года к сухому: с 18,3 до 47,0 тыс. руб./га – для кукурузы, с 8,6 до 34,8 тыс. руб./га – для сорго, с 5,8 до 28,5 тыс. руб./га – для картофеля. Во влажный год затраты на водоподачу при возделывании сои отсутствуют, но в сухой год достигают 38,4 тыс. руб./га. В средний год максимальные затраты отмечаются для кукурузы и составляют 34,8 тыс. руб./га.

Таблица 5.1 – Финансовые затраты на подачу оросительной воды

Орошаемые культуры	Затраты на подачу оросительной воды, дифференцированные по обеспеченным оросительным нормам (годам) на 1 гектар, тыс. руб.					Оросительные и оросительно-обводнительные системы
	5 (влажный)	25 (средне-влажный)	50 (средний)	75 (средне-сухой)	95 (сухой)	
Пригород Волгограда, $K_y = 0,25-0,30$, сухостепная зона каштановых почв						
Кукуруза на зерно	20,5	28,5	35,7	40,1	45,5	Городищенская, Варваровская, Райгородская
Соя	0,0	10,7	19,6	33,9	50,4	
Сорго на зерно	12,5	19,6	24,6	30,0	34,8	
Картофель	9,6	16,9	21,4	25,0	29,9	
Иловлинский район, $K_y = 0,30-0,35$, сухостепная зона каштановых и тёмно-каштановых почв						
Кукуруза на зерно	18,3	28,5	34,8	39,2	47,0	Локальные участки орошения
Соя	0,0	3,7	12,9	20,1	38,4	
Сорго на зерно	8,6	19,0	24,1	29,9	34,8	
Картофель	5,8	15,5	20,5	25,0	28,5	
Урюпинский район, $K_y > 0,35$, степная зона чернозёмных почв						
Кукуруза на зерно	9,4	17,6	23,2	30,3	33,4	Локальные участки орошения
Соя	0,0	0,0	3,2	12,3	26,8	
Сорго на зерно	3,3	10,5	15,2	20,5	26,1	
Картофель	0,0	8,5	13,4	16,1	20,5	
Котельниковский район, $K_y = 0,25-0,30$, сухостепная зона каштановых почв						
Кукуруза на зерно	10,0	20,2	30,8	37,0	45,2	Генераловская, Котельниковская, Ильмень-Суворовская
Соя	0,0	0,0	10,3	33,6	50,5	
Сорго на зерно	3,0	12,5	21,7	26,6	32,6	
Картофель	3,5	12,0	19,0	24,1	29,4	
Заволжье, $K_y < 0,25$, сухостепная зона каштановых почв						
Кукуруза на зерно	25,9	35,6	40,1	45,5	48,1	Палласовская, Ленинская, Б. Волгоградская, Тажинская, Средне-ахтубинская
Соя	1,1	24,1	40,7	63,3	80,3	
Сорго на зерно	15,8	25,6	29,7	33,6	36,2	
Картофель	13,8	19,9	24,4	27,1	31,5	

В пригороде Волгограда (сухостепная зона каштановых почв с $K_y = 0,25-0,30$) находятся Городищенская, Варваровская и Райгородская ОС. Здесь затраты на водоподачу закономерно возрастают по мере увеличения засушливости года: для кукурузы на зерно изменяются от 20,5 тыс. руб./га во

влажный год до 45,5 тыс. руб./га в сухой, что отражает увеличение стоимости в 2,5 раза; для сои отмечается более выраженная зависимость – затраты возрастают с 10,7 тыс. руб./га в средне-влажный год до 50,4 тыс. руб./га в сухой, во влажный год затрат на орошение не установлено. Сорго и картофель обеспечиваются орошением в сухой год с затратами 34,8 и 29,9 тыс. руб./га соответственно.

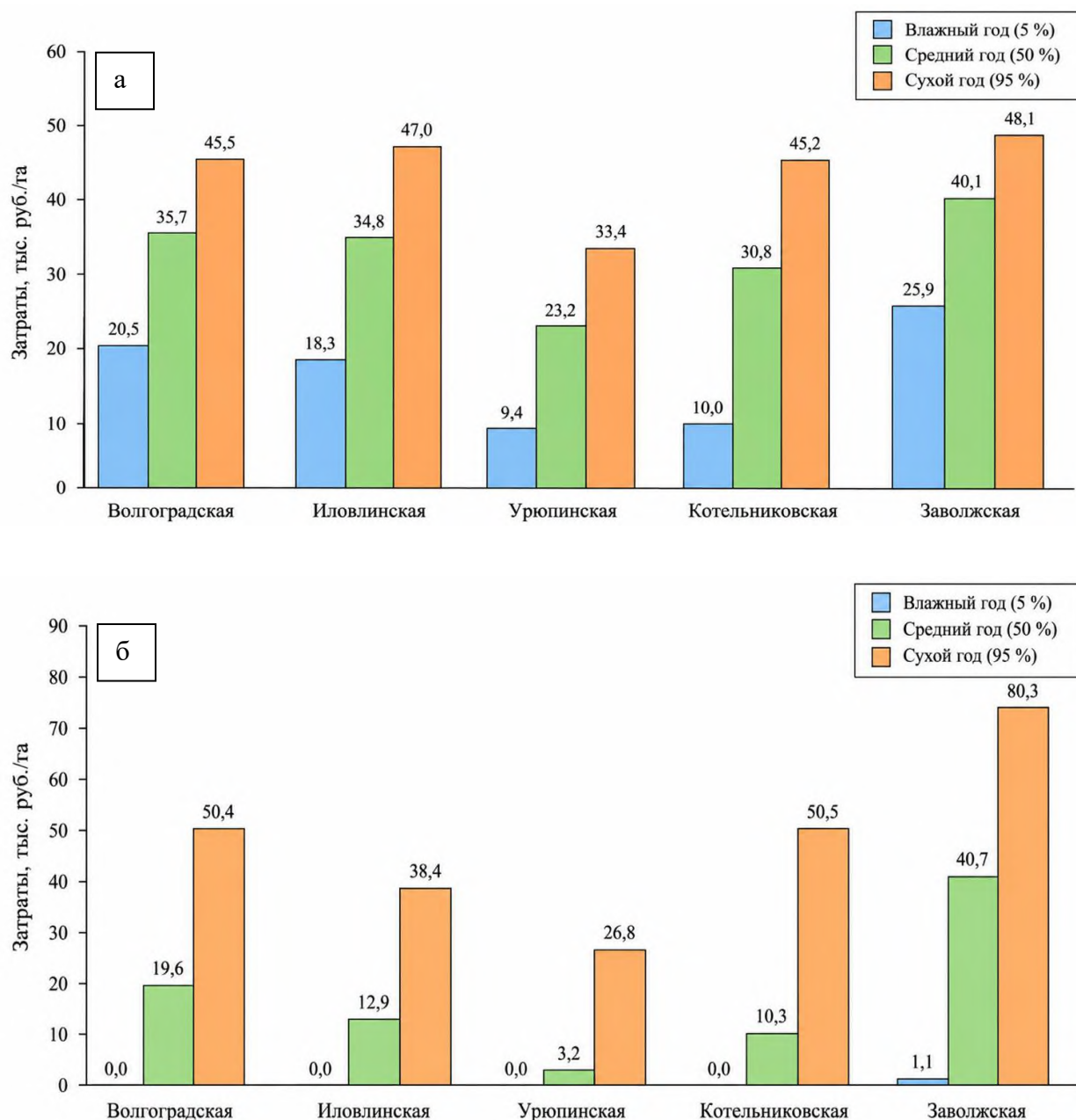


Рисунок 5.3 – Финансовые затраты на подачу оросительной воды при возделывании кукурузы (а) и сои (б)

Котельниковский сельскохозяйственный район находится в

сухостепной зоне каштановых почв с $K_y = 0,25-0,30$. Здесь размещены Генераловская, Котельниковская и Ильмень-Суворовская ОС. Финансовые затраты на подачу оросительной воды в зависимости от увлажнения года варьируют следующим образом: при возделывании кукурузы – от 10,0 тыс. руб./га во влажный год до 45,2 тыс. руб./га в сухой, сои – от 10,3 тыс. руб./га в средний год до 50,5 тыс. руб./га в сухой (для 5 и 25% обеспеченности потребность в орошении отсутствует). Для сорго и картофеля финансовые затраты изменяются от 3,0 до 32,6 и от 3,5 до 29,4 тыс. руб./га.

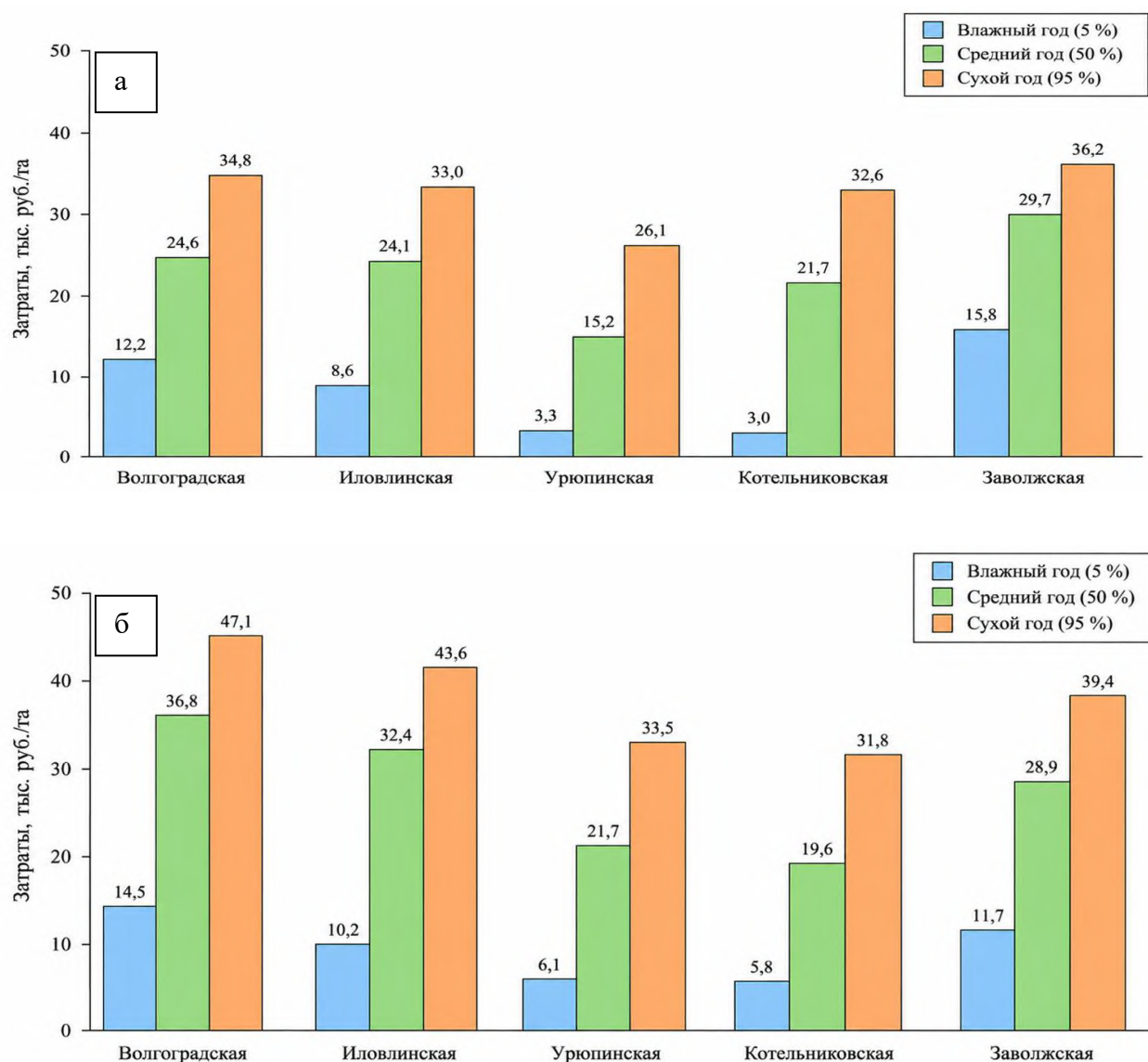


Рисунок 5.4 – Финансовые затраты на подачу оросительной воды при возделывании сорго (а) и картофеля (б)

На Заволжье (сухостепная зона каштановых почв) приходится

наибольшие стоимостные затраты на водоподачу для орошения культур из-за низкого коэффициента природного увлажнения – $K_y < 0,25$. Здесь функционируют Палласовская, Ленинская, Большая Волгоградская, Тажинская и Среднеахтубинская мелиоративные системы. При переходе от влажных лет к сухим затраты возрастают с 25,9 до 48,1 тыс. руб./га для кукурузы, с 15,8 до 36,2 тыс. руб./га для сорго, с 13,8 до 31,5 тыс. руб./га для картофеля. Максимальные затраты складываются при возделывании сои – от 40,7 тыс. руб./га для 50% года до 80,3 тыс. руб./га для 95%. Установленные различия обусловлены повышенной засушливостью этой зоны, что вызывает острую необходимость в дополнительном увлажнении сельскохозяйственных культур. Агроклиматическая обстановка Заволжья также определяет необходимость приоритетного учёта при перспективном планировании объёмов водоподачи и соответствующих затрат.

Таким образом, во всех сельскохозяйственных районах области установлена закономерность возрастания затрат на подачу оросительной воды, обусловленная как переходом от влажного года к сухому, так и природно-территориальной изменчивостью – с северо-запада ($K_y > 0,35$) на юго-восток ($K_y < 0,25$).

Выводы:

1. Установлено, что действующие нормативы не отражают территориальной и межгодовой изменчивости водопотребности культур, тогда как предложенная методика обеспечивает дифференциацию оросительных норм с учётом биологии культуры, почвенно-климатических условий и обеспеченности года. Апробация результатов на базе ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз», ООО «АПК Урожайный» и КФХ «Выборнов В.Д.» подтвердила их практическую значимость: применение результатов исследования на площади 38,2 тыс. га даёт экономический эффект 4870 руб./га; на площади 194 га при возделывании кукурузы на зерно – экономию воды 502 м³/га и эффект 944,6 тыс. руб.; на площади 65 га при

возделывании овощных культур при капельном поливе – ожидаемый годовой эффект ~ 1,1 млн руб.

2. Расчёт финансовых затрат на подачу оросительной воды по актуализированным нормам показал, что затраты возрастают как при переходе от влажного года к сухому, так и при движении с северо-запада на юго-восток области. Минимальные значения характерны для Урюпинского района ($K_y > 0,35$), максимальные – для Заволжья ($K_y < 0,25$), где затраты по кукурузе достигают 48,1 тыс. руб./га, а по сое – 80,3 тыс. руб./га в сухой год. Полученные результаты подтверждают экономическую целесообразность дифференцированного нормирования водопотребности и необходимость его учёта при перспективном планировании водоподачи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Высокая климатическая контрастность Волгоградской области требует адаптивного подхода к водопотреблению и водообеспечению при долгосрочном планировании сельскохозяйственного производства с учётом факторов тепло- и влагообеспеченности. В этих условиях орошаемое земледелие позволяеткратно повысить урожайность культур при дефиците природного увлажнения. Согласно данным мелиоративного кадастра, 75% орошаемых земель области характеризуются хорошим состоянием, тогда как 13% находятся в неудовлетворительном вследствие процессов вторичного засоления и осолонцевания; наибольшая деградационная нагрузка отмечена в пределах Калачёвской, Городищенской, Палласовской и Светлоярской оросительных систем. Для сохранения потенциала поливных земель необходимо соблюдение норм мелиоративной эксплуатации, регулярный эколого-мелиоративный мониторинг и дифференцированный подход к управлению ирригацией с учётом климатических, почвенных и гидрологических условий.

2. Комплексный анализ многолетних ретроспективных наблюдений за погодой в сельскохозяйственных районах Волгоградской области в сочетании с систематизацией архивных эмпирических данных о водопотреблении зонально значимых культур (овощных, зернобобовых, зерновых, кормовых, бахчевых и других) позволил создать специализированные информационные базы данных – агроклиматических ресурсов (для метеорологического обеспечения мелиорации) и биоклиматических коэффициентов (для моделирования суммарного водопотребления, режимов орошения и цифрового нормирования водопотребности), – которые формируют основу для эффективного управления мелиоративной инфраструктурой на региональном уровне.

3. Применение метода сезонной декомпозиции к временным метеорядам среднесуточных температур воздуха и суммарного количества осадков позволило установить принципиально различную природу их

изменчивости. Если температурный режим в значительной степени детерминирован циклической и тренд-циклической компонентами, что обеспечивает более высокую прогнозируемость температурных показателей, то динамика атмосферных осадков формируется преимущественно случайными факторами, вклад которых достигает 70% дисперсии. Выявленная неопределённость требует перехода к вероятностным методам оценки будущих условий влагообеспечения сельскохозяйственных районов.

4. Использование метода скользящего окна с шагом 10 лет для формирования серии перекрывающихся выборок позволило оценить направленность и интенсивность изменений метеорологических величин и сопоставить климатические характеристики разных этапов многолетних наблюдений. Анализ показал, что для среднего (50%) года по всем сельскохозяйственным районам Волгоградской области обеспеченные суммы осадков уменьшились на 4-23 мм при одновременном росте обеспеченных сумм среднесуточных температур на 93-287 °С. Выявленная динамика указывает на устойчивую тенденцию потепления и снижения влагообеспеченности, что необходимо учитывать при нормировании водопотребности сельскохозяйственных культур.

5. Выполненные расчётные эксперименты позволили провести почвенно-климатическое зонирование орошаемых земель области на основе коэффициента природного увлажнения K_y . Для условий года 50% обеспеченности установлено, что в период вегетации сельскохозяйственных культур K_y изменяется с 0,35 на северо-западе до 0,25 и ниже на юго-востоке, отклоняясь от ранее проведённых оценок на 30 и 17% соответственно. Это указывает на смещение региона в более засушливую зону: действующие оросительные нормы не отражают текущих климатических условий и подлежат обязательной актуализации.

6. На основе вероятностно-статистического подхода для расчётных уровней обеспеченности установлены нормы водопотребности: например, для овощных культур в средний год они составляют от 1500-2740 м³/га

(картофель) до 3370-5160 м³/га (томат), в сухой год – от 2300-3530 м³/га (картофель) до 4500-5900 м³/га (томат) в зависимости от почвенно-климатической зоны. Полученные нормы демонстрируют территориальную неоднородность, определяемую условиями тепло- и влагообеспеченности, и закономерность возрастания дефицита водного баланса при переходе от влажных лет к сухим (от 5% к 95% обеспеченности) вследствие сокращения естественной влаги. Установленные нормы водопотребности применимы для перспективного планирования водоподачи, разработки цифровых систем нормирования орошения и проектирования типовых модулей капельного орошения, а их внедрение в производство и методическую базу обеспечит повышение эффективности водопользования и устойчивость орошаемого земледелия региона в условиях климатической неопределённости.

7. С учётом вероятностно обеспеченных дефицитов водного баланса установлено, что единые среднемноголетние оросительные нормы не отражают фактическую потребность растений в дополнительном увлажнении. Определена территориальная дифференциация расчётных оросительных норм: для Волгоградского и Палласовского сельскохозяйственных районов коэффициенты вариации составляют менее 20%, для Иловлинского, Урюпинского и Котельниковского – не более 33%. Это позволяет использовать ожидаемые объёмы водоподачи при различных сценариях природного увлажнения для перспективного планирования водоподачи на орошаемые земли Волгоградской области в целях рационального использования водных ресурсов, в том числе за счёт уменьшения случаев несоответствия планируемых объёмов водоподачи фактической потребности культур в орошении.

8. Применение дифференцированных норм позволило конкретизировать ожидаемые затраты на подачу проектных объёмов оросительной воды в фактических условиях сельскохозяйственного производства. Установлено, что в год 50% обеспеченности затраты на 1 га орошаемой площади при возделывании кукурузы на зерно составляют: для

степной зоны чернозёмных почв с $K_y > 0,35$ (Урюпинский район) – 23,2 тыс. руб.; для сухостепной зоны каштановых почв с $K_y = 0,20-0,30$ (пригород Волгограда) – 35,7 тыс. руб.; для сухостепной зоны каштановых почв (Заволжье) с $K_y < 0,25$ – 40,0 тыс. руб. В сухой по обеспеченности год затраты на водоподачу возрастают на 44, 27 и 20% соответственно. Применение предложенного подхода способствует экономически обоснованному планированию эксплуатационных затрат на государственных оросительных системах.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

При планировании водоподачи сельскохозяйственным товаропроизводителям, водоподающим организациям и проектным институтам рекомендуется обосновывать нормы водопотребности с учётом территориальной изменчивости тепло- и влагообеспеченности региона на основе агроклиматического и почвенного зонирования с применением прогнозных моделей водопотребления для различных сценариев возделывания культур, используя в качестве расчётной основы актуальные региональные базы метеорологических параметров, базы температурных и биоклиматических коэффициентов; научно-исследовательским учреждениям целесообразно своевременно пополнять эти базы по результатам изучения водных режимов почв для сортов разных сроков созревания биоклиматическим методом, а органам стандартизации – внести дополнения в ГОСТ Р 58331.3-2019 в части почвенно-климатического зонирования территории Волгоградской области при определении норм водопотребности для орошения.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Перспективы дальнейшей разработки темы связаны с расширением и актуализацией региональных баз агроклиматических ресурсов и биоклиматических коэффициентов, развитием вероятностных и стохастических методов оценки и прогноза влагообеспеченности, включая машинное обучение, детализацией почвенно-климатического зонирования и актуализацией оросительных норм для всех зонально значимых культур и уровней обеспеченности, интеграцией моделей в цифровые системы нормирования и поддержки принятия решений, разработкой типовых модульных решений капельного орошения, их производственной апробацией и совершенствованием нормативно-методической базы, что в совокупности обеспечит устойчивое развитие орошаемого земледелия региона в условиях климатической неопределённости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: метод. рук. / Под ред. В.И. Кирюшина, А.Л. Иванова. – М.: Росинформагротех, 2005. – 783 с.
2. Алпатов, А.М. Влагообороты в природе и их преобразования / А.М. Алпатов. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 323 с.
3. Алпатов, С.М. К обоснованию формирования поливных режимов с использованием биоклиматического метода расчёта суммарного испарения / С.М. Алпатов, В.П. Остапчик // Мелиорация и водное хозяйство. – 1971. – Вып. 19. – С. 3-17.
4. Алпатов, С.М. Методические указания по расчётам режимов орошения сельскохозяйственных культур биоклиматическим методом / С.М. Алпатов. – Киев: УкрНИГиМ, 1967. – 107 с.
5. Артемова, А.А. Вода и природа: комплексный подход к гидротехническим мелиорациям в ландшафтах / А.А. Артемова, Е.К. Ильина, А.В. Гемонев // Стратегические ресурсы тюменского АПК: люди, наука, технологии: сб. тр. LIX междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных, 03-04 декабря 2024 г. / ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья. – Тюмень, 2024. – С. 43-49.
6. Балакай, Г.Т. Районирование территории Ростовской области по агроклиматическим подзонам для перспективных сортов сои различных групп спелости / Г.Т. Балакай, Л.М. Докучаева, В.А. Кулыгин и др. // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2020. – № 1 (37). – С. 105-123.
7. Беляков, А.М. Оценка экологического состояния агроландшафтов в зонах недостаточного увлажнения юга России / А.М. Беляков, М.В. Назарова // Известия НВ АУК. – 2019. – № 3 (55). – С. 35-42.
8. Богомолова, Н.В. Актуальная оценка увлажнённости земель сельскохозяйственного района Волгоградской области / Н.В. Богомолова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2026. – Т. 99, № 2. – С. 55-68.
9. Богомолова, Н.В. Анализ долгосрочных метеорологических рядов как основа изучения климатического режима для повышения устойчивости аграрного сектора / Н.В. Богомолова, А.Е. Новиков, М.Ю. Шмелёва // Известия НВ АУК. – 2026. – № 3 (87). – С. 231-240.
10. Богомолова, Н.В. Изучение режима погоды методом анализа временных рядов для повышения устойчивости сельского хозяйства Волгоградской области / Н.В. Богомолова, А.Е. Новиков, А.А. Поддубский // Орошаемое земледелие. – 2026. – № 1 (52). – С. 41-46.
11. Богомолова, Н.В. Перспективное планирование водоподдачи на основе вероятностной оценки оросительной водопотребности в Волгоградской области /

Н.В. Богомолова, А.Е. Новиков, А.А. Поддубский // Орошаемое земледелие. – 2026. – № 3 (54). – С. 11-17.

12. Богомолова, Н.В. Сравнительная оценка агроклиматического режима районов Волгоградской области / Н.В. Богомолова, А.Е. Новиков, А.А. Поддубский // Орошаемое земледелие. – 2026. – № 2 (53). – С. 7-11.

13. Богомолова, Н.В. Сравнительная оценка увлажнённости земель сельскохозяйственных районов Волгоградской области / Н.В. Богомолова, А.Е. Новиков // Стратегия мелиорации в эпоху климатических вызовов: водосбережение и продовольственная безопасность: гл. в кн. по матер. междунар. симпозиума «Стратегия мелиорации в эпоху климатических вызовов: водосбережение и продовольственная безопасность», посвященного 60-летию Масштабной программы развития мелиорации, 31 марта – 01 апреля 2026 г. / ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова». – М., 2026. – С. 182-188.

14. Болотин, Д.А. Капельное орошение картофеля летней посадки / Д.А. Болотин, И.А. Дергачева, А.Г. Болотин и др. // Орошаемое земледелие. – 2018. – № 3. – С. 23-24.

15. Бондаренко, К.В. Режим орошения и дозы удобрений хлопчатника при поливе дождеванием на светло-каштановых почвах Волго-Донского междуречья: дис. канд. с.-х. наук: 4.1.5 / К.В. Бондаренко. – Волгоград, 2023. – 218 с.

16. Бородычев, В.В. Водосберегающие технологии орошения сельскохозяйственных культур в аридных регионах России / В.В. Бородычев, М.Н. Лытов // Известия НВ АУК. – 2024. – № 2. – С. 310-320.

17. Бровка, Ю.А. Особенности атмосферного увлажнения на территории Беларуси в условиях современного потепления климата / Ю.А. Бровка // Природные ресурсы. – 2025. – № 1. – С. 52-63.

18. Будыко, М.И. Тепловой баланс земной поверхности / М.И. Будыко. – Л.: Гидрометеиздат, 1956. – 255 с.

19. Васильев, С.М. Перспективы внедрения технологий точного орошения в условиях дефицита водных ресурсов / С.А. Васильев, А.В. Акопян // Мелиорация и водное хозяйство. – 2022. – № 2. – С. 16-22.

20. Васильев, С.М. Современные проблемы адаптации орошаемого земледелия к изменениям климата / С.М. Васильев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2020. – № 5. – С. 2-8.

21. Васильченко, А.А. Особенности формирования засушливых явлений на субаридных территориях (на примере Волгоградской области) / А.А. Васильченко // Научно-агрономический журнал. – 2025. – № 4 (131). – С. 18-27.

22. Васильченко, А.А. Пространственный анализ инфраструктуры орошаемых полей Волго-Ахтубинской поймы на территории Волгоградской области / А.А. Васильченко // Научно-агрономический журнал. – 2022. – № 4 (119).

С. 12-18.

23. Вериго, С.А. Почвенная влага (применительно к запросам сельского хозяйства) / С.А. Вериго, Л.А. Разумова. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 328 с.

24. Волдырь, А.И. Режим капельного орошения ранней капусты на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / А.И. Волдырь. – Волгоград, 2005. – 196 с.

25. Выборнов, В.В. Режимы капельного орошения и дозы минерального питания репчатого лука на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья: дис. канд. с.-х. наук: 06.01.02 / В.В. Выборнов. – Саратов, 2008. – 203 с.

26. Галямин, Е.П. Оптимизация оперативного распределения водных ресурсов в орошении / Е.П. Галямин. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 271 с.

27. Голченко, М.Г. Интенсификация орошаемого овощеводства / М.Г. Голченко, О.А. Шавлинский, В.Г. Казеко. – Минск: Ураджай, 1987. – 184 с.

28. Горохова, И.Н. Изменение мелиоративного состояния орошаемых земель в Волгоградской области за 2001-2018 годы / И.Н. Горохова, Е.И. Панкова // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. – 2022. – Вып. 110. – С. 51-89.

29. Горохова, И.Н. Изменения мелиоративного состояния орошаемых почв Волгоградской области в XXI веке / И.Н. Горохова, Е.И. Панкова, В.А. Харланов // Почвоведение. – 2019. – № 5. – С. 595-612.

30. ГОСТ Р 58331.3-2019. Системы и сооружения мелиоративные. Водопотребность для орошения сельскохозяйственных культур. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2019. – 25 с.

31. Гулянов, Ю.А. Изменение региональных климатических условий и продуктивность озимой пшеницы в степной зоне Европейской России / Ю.А. Гулянов // Таврический вестник аграрной науки. – 2021. – № 4 (28). – С. 58-68.

32. Гусев, Д.Э. Режим капельного орошения и приёмы выращивания саженцев винограда на каштановых почвах Приволжской возвышенности: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Д.Э. Гусев. – Волгоград, 2013. – 153 с.

33. Давид, Р.Э. Ирригация Заволжья в свете сельскохозяйственно-климатологического исследования / Р.Э. Давид // Известия Саратовского государственного института сельского хозяйства и мелиорации. – Саратов, 1929. – Вып. 1. – С. 67-89.

34. Давыдов, И.А. Дифференцированный режим орошения и водопотребления баклажана в условиях Волго-Донского междуречья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / И.А. Давыдов. – Волгоград, 2009. – 24 с.

35. Данилко, О.В. Режим капельного орошения и водопотребление сладкого перца в условиях Волго-Донского междуречья: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / О.В. Данилко. – Волгоград, 2005. – 190 с.

36. Данильченко, Н.В. Биоклиматическое обоснование суммарного водопотребления и оросительных норм / Н.В. Данильченко // Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – № 4. – С. 25-29.
37. Данильченко, Н.В. Водосберегающие оросительные нормы и природоохранные режимы орошения зерновых и кормовых культур в Нижнем Поволжье / Н.В. Данильченко. – М.: МГУП, 2006. – 151 с.
38. Данильченко, Н.В. Оценка увлажнённости территории при обосновании норм водопотребности сельскохозяйственных культур / Н.В. Данильченко, И.М. Аванесян // Труды ВНИИГиМ. – М., 1985.
39. Дементьев, А.В. Капельное орошение томатов в условиях Волго-Донского междуречья: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / А.В. Дементьев. – М., 2004. – 182 с.
40. Демин, А.П. Прогноз водопотребления на нужды орошения в бассейне реки Дон / Демин А., А.В. Зайцева // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2021. – № 6. – С. 18-32.
41. Добрачев, Ю.П. Теория и технология управления орошением на основе эколого-физиологических моделей: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / Ю.П. Добрачев. – Москва, 1998.
42. Донгузова, Ю.В. Режим орошения гречихи в пожнивных посевах на светло-каштановых почвах Волго-Донского междуречья: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Ю.В. Донгузова. – Волгоград, 2009. – 139 с.
43. Дубенок, Н.Н. Биоклиматические коэффициенты саженцев плодовых и ягодных культур при капельном орошении в условиях Центрального Нечерноземья / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев // Овощи России. – 2024. – № 3. – С. 96-101.
44. Дубенок, Н.Н. Влияние тепло- и влагообеспеченности на режимы орошения при капельном поливе саженцев плодовых культур / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев // Орошаемое земледелие. – 2024. – № 1 (44). – С. 9-14.
45. Дубенок, Н.Н. Использование агрометеорологических данных для обоснования оросительных мелиораций саженцев плодовых и ягодных культур в Центральном Нечерноземье / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев // Природообустройство. – 2024. – № 2. – С. 35-40.
46. Дубенок, Н.Н. Суммарное водопотребление зерновых культур на склоновых землях Центрального района РФ и зональные биоклиматические коэффициенты / Н.Н. Дубенок, Р.В. Калиниченко, М.В. Климахина и др. // Овощи России. – 2020. – № 6 (56). – С. 132-138.
47. Дусарь, С.А. Орошение столовой моркови низкоинтенсивными стационарными дождевальными системами: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / С.А. Дусарь. – Волгоград, 2018. – 219 с.

48. Запорожцев, П.В. Повышение продуктивности однолетних кормовых культур в смешанных посевах в орошении на светло-каштановых почвах Волго-Донского междуречья: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / П.В. Запорожцев. – Волгоград, 2009. – 179 с.

49. Зотов, О.Г. Оценка влияния основных агроклиматических показателей на урожайность зерновых культур в XXI веке (по данным Ульяновской области) / О.Г. Зотов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2024. – Т. 17, № 2 (81). – С. 23-33.

50. Иванов, В.М. Зерновое сорго и кукуруза при орошении в Нижнем Поволжье: монография / В.М. Иванов, Ю.П. Даниленко. – Волгоград: ИПК «Нива» ВГСХА, 2010. – 237 с.

51. Иванов, Н.Н. Об определении величин испаряемости / Н.Н. Иванов // Известия Всесоюзного географического общества. – 1954. – Т. 86, № 2. – С. 189-196.

52. Караченкова, А.А. Изменение агроклиматических ресурсов зернопроизводящих регионов России и продуктивности зерновых культур в новом климатическом периоде 1991-2020 гг. / А.А. Караченкова // Метеорология и гидрология. 2023. – № 9. – С. 29-42.

53. Караченкова, А.А. Оценка мелиоративных управляющих воздействий на продуктивность озимой пшеницы при изменении агроклиматических ресурсов (на примере Ростовской области) / А.А. Караченкова // Метеорология и гидрология. 2024. – № 6. – С. 74-87.

54. Кафтанатий, Ю.А. Процессы испарения с малых водоёмов / Ю.А. Кафтанатий // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2013. – № 1 (09). – С. 80-91.

55. Кирейчева, Л.В. Основные направления водосбережения в орошаемом земледелии России / Л.В. Кирейчева // Мелиорация и водное хозяйство. – 2024. – № 4. – С. 79-82.

56. Кирейчева, Л.В. Цифровая трансформация управления мелиоративным комплексом России / Л.В. Кирейчева, И.Ф. Юрченко // Природообустройство. – 2023. – Т. 27, № 3. – С. 24-33.

57. Клещенко, А.Д. Биоклиматический потенциал России: меры адаптации в условиях изменяющегося климата: монография / А.Д. Клещенко, Б.А. Черняков, О.Д. Сиротенко [и др.]. – М.: Минсельхоз РФ, 2008. – 206 с.

58. Колебошина, Т.Г. Агробιοлогическое обоснование элементов технологии выращивания бахчевых культур в различных типах севооборотов для условий Нижнего Поволжья: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.01 / Т.Г. Колебошина. – Волгоград, 2011. – 446 с.

59. Колосков, П.И. Основная методика работ по агроклиматическому районированию территории в отношении сельскохозяйственных культур / П.И.

Колосков // Труды НИИ агроклиматологии. – 1959. – Вып. 7. – С. 10-15.

60. Коновалова, Г.В. Усовершенствованные приёмы возделывания кукурузы на зерно при орошении дождеванием на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01, 06.01.02 / Г.В. Коновалова. – Волгоград, 2016. – 202 с.

61. Константинов, А.Р. Испарение в природе / А.Р. Константинов. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 532 с.

62. Корнеев, И.В. Оценка тенденций изменения климата в зоне недостаточного увлажнения юга европейской части России и их учёт при обосновании орошения / И.В. Корнеев // Орошаемое земледелие. – 2023. – № 2 (41). – С. 19-26.

63. Костяков, А.Н. Основы мелиораций / А.Н. Костяков. – М.: Сельхозгиз, 1951. – 751 с.

64. Кружилин, И.П. К вопросу программирования режимов орошения сельскохозяйственных культур для получения плановых урожаев / И.П. Кружилин // Труды Волгоградского сельскохозяйственного института. – Волгоград, 1976. – Т. 61. – С. 14-26.

65. Кузнецов, Ю.В. Режим орошения и водопотребление безрассадных томатов на фонах минерального питания при поливе дождевальной машиной «Кубань-ЛК» на светло-каштановых почвах Волгоградского Заволжья: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Ю.В. Кузнецов. – Волгоград, 1995. – 214 с.

66. Кузнецова, Н.В. Научное и экспериментальное обоснование режимов орошения и технологии возделывания кукурузы с использованием модели формирования различной урожайности на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.02 / Н.В. Кузнецова. – Волгоград, 2007. – 355 с.

67. Куприянова, С.В. Влияние вариативности почвенно-климатических условий на устойчивость продуктивности сельскохозяйственных земель / С.В. Куприянова, Е.В. Мелихова // Известия НВ АУК. – 2021. – № 2 (62). – С. 231-240.

68. Леонтьева, Е.Е. Агроклиматические особенности сухостепной зоны светло-каштановых почв Городищенского района Волгоградской области / Е.Е. Леонтьева // Научно-агрономический журнал. – 2019. – № 2. – С. 9-14.

69. Льгов, Г.К. Рекомендации по режиму орошения сельскохозяйственных культур по почвенно-климатическим зонам Северо-Осетинской АССР / Г.К. Льгов [и др.]. – Орджоникидзе, 1983. – 20 с.

70. Майер, А.В. Многофункциональная система орошения для управления физиологическими процессами и регулирования гидротермического режима агрофитоценозов / А.В. Майер // Мелиорация и водное хозяйство. – 2021. – № 6. – С. 19-25.

71. Магбини Токпа, М. Оценка будущих температур воздуха Центральной Африки по сценариям проектов СМIP5 и СМIP6 / М. Магбини Токпа, В.А. Лобанов, Н.В. Короткова // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. – 2023. – Т. 23, вып. 1. – С. 8-20.

72. Мамин, В.Ф. Экологические проблемы использования лиманных лугов на современном этапе: монография. – Волгоград, 2022. – 196 с.

73. Мамин, В.Ф. Биоэкологические основы окультуривания и реформации хозяйственного использования мелиорированных лиманных лугов Волгоградской области: метод. пособие / В.Ф. Мамин, В.В. Мелихов, А.А. Новиков и др. – Волгоград, 2018. – 100 с.

74. Маслов, А.Н. Орошаемое земледелие Юга России / А.Н. Маслов. – Ростов-на-Дону, 2002. – 447 с.

75. Масный, Р.С. Районирование территории юга России по тепло- и влагообеспеченности для интродукции хлопчатника / Р.С. Масный, Г.Т. Балакай, Р.Е. Юркова и др. // Мелиорация и гидротехника. – 2024. – Т. 14, № 4. – С. 1-14.

76. Медведева, Е.В. Методические указания по нормированию орошения с учётом корректировки биологических коэффициентов, дифференциации почвенно-климатических условий и пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических факторов: метод. указания / Е.В. Медведева. – М., 2022. – 80 с.

77. Медведева, Е.В. Прогнозирование показателей тепло- влагообеспеченности орошаемых агробиоценозов на основе методов моделирования / Е.В. Медведева // Вестник мелиоративной науки. – 2024. – № 3. – С. 121-123.

78. Мезенцев, В.С. Атлас увлажнения и теплообеспеченности Западно-Сибирской равнины / В.С. Мезенцев. – Омск, 1961. – 35 с.

79. Мелихов, В.В. Характер и направленность изменений климатических параметров Волгоградской области / В.В. Мелихов, А.А. Зибаров, Н.П. Мелихова и др. // Известия НВ АУК. – 2019. – № 1. – С. 60-67.

80. Мелихова, Е.В. Обоснование параметров ресурсосберегающих режимов орошения корнеплодов на светло-каштановых почвах Волго-Донского междуречья: дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / Е.В. Мелихова. – Волгоград, 2007. – 147 с.

81. Милованов, С.Г. Обоснование режима орошения редьки и параметров конструкции увлажнительной сети при внутрипочвенном поливе в условиях Волго-Донского междуречья: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / С.Г. Милованов. – Волгоград, 2020. – 124 с.

82. Мустафаев, Ж.С. Нормирование водопотребления сельскохозяйственных угодий и культур с учётом пространственно-временной изменчивости / Ж.С. Мустафаев // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2024.

– № 6. – С. 108-130.

83. Новиков, А.Е. Актуальная оценка увлажнённости земель Волгоградского пригородного сельскохозяйственного района / А.Е. Новиков, Н.Н. Богомолова, Р.В. Збукарев // Известия НВ АУК. – 2026. – № 1 (85). – С. 25-35.

84. Новиков, А.Е. Задачи мелиорации, очередные и главные / А.Е. Новиков // Орошаемое земледелие. – 2023. – № 2 (41). – С. 5-6.

85. Новиков, А.Е. Проблемы и направления исследований в орошаемом земледелии / А.Е. Новиков, О.П. Комарова // Мелиорация и водное хозяйство. – 2021. – № 5. – С. 8-10.

86. Новикова, Л.Ю. Прогнозирование влияния климатических изменений на возделывание зерновых в трёх регионах РФ / Л.Ю. Новикова, В.Н. Дюбин, И.Г. Лоскутов и др. // Адаптация сельского хозяйства России к меняющимся погодноклиматическим условиям: сб. науч. докл. междунар. науч.-практ. конф., 07-11 декабря 2010 г. / РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева. – М., 2011. – С. 148-150.

87. Овчинников, А.С. Обоснование необходимости проведения мелиораций с учетом агроклиматических показателей / А.С. Овчинников, В.В. Бородычев, А.А. Поддубский и др. // Известия НВ АУК. – 2016. – № 4 (44). – С. 15-24.

88. Овчинников, А.С. Причины вторичного засоления орошаемых почв Нижнего Поволжья и его прогнозирование на основе математического моделирования влагопереноса / А.С. Овчинников, Н.А. Пронько, А.С. Фалькович и др. // Известия НВ АУК. – 2018. – № 2 (50). – С. 9-17.

89. Ольгаренко, В.И. Водный режим орошаемых земель в условиях дефицита естественного увлажнения на примере свёклы сахарной / В.И. Ольгаренко, И.В. Ольгаренко, О.С. Ищенко и др. // Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата: сб. науч. докл. IV междунар. науч.-практ. интернет-конф., 24-26 апреля 2023 г. – Новочеркасск: ООО «Лик», 2023. – С. 49-54.

90. Ольгаренко, В.И. Информационные технологии планирования водопользования в орошаемых хозяйствах / В.И. Ольгаренко, И.В. Ольгаренко, А.В. Польский и др. // Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата: сб. науч. докл. V междунар. науч.-практ. интернет-конф., 22-24 апреля 2024 г. – Новочеркасск: ООО «Лик», 2024. – С. 89-94.

91. Ольгаренко, В.И. Модель нормирования водопотребления и расчёта эксплуатационного режима орошения сельскохозяйственных культур / В.И. Ольгаренко, В.А. Монастырский // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2021. – Т. 11, № 2. – С. 39-52.

92. Ольгаренко, В.И. Роль и динамика инфильтрации в структуре влагообмена зоны аэрации орошаемого поля / В.И. Ольгаренко, В.И. Ольгаренко, С.Я. Семененко и др. // Мелиорация и гидротехника. – 2023. – Т. 13, № 4. – С. 26-39.

93. Ольгаренко, В.И. Принципы применения информационных технологий при организации и проведении планирования водопользования на оросительных системах / В.И. Ольгаренко, И.В. Ольгаренко, И.В. Коржов и др. // Мелиорация и гидротехника. – 2024. – Т. 14, № 3. – С. 100-115.

94. Ольгаренко, В.И. Функции планирования водопользования на оросительных системах с использованием современных ИТ-технологий / В.И. Ольгаренко, И.В. Ольгаренко, И.В. Коржов и др. // Мелиорация и водное хозяйство. – 2025. – № 1. – С. 34-40.

95. Ольгаренко, Г.В. Нормирование, информационное обеспечение и реализация водосберегающих процессов орошения: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.02 / Г.В. Ольгаренко. – Новочеркасск, 1998. – 409 с.

96. Ольгаренко, Г.В. Рациональное водопользование в мелиоративном комплексе Приволжского федерального округа с учётом перспектив развития орошения, агроклиматического и гидрологического прогнозов: монография / Г.В. Ольгаренко, В.И. Ольгаренко, Т.А. Капустина и др. – М.: ООО «Русайнс», 2025. – 186 с.

97. Ольгаренко, И.В. Информационные технологии планирования водопользования и оперативного управления водораспределением на оросительных системах: дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / И.В. Ольгаренко. – Новочеркасск, 2013. – 448 с.

98. Ольгаренко, И.В. Информационные технологии управления водораспределением в оросительных системах / И.В. Ольгаренко, С.В. Ковалев, Д.И. Ольгаренко и др. // Мелиорация и водное хозяйство: сб. науч. докл. Всероссийской научно-практической конференции (Шумаковские чтения), 25 сентября 2024 г. – Новочеркасск: ООО «Лик», 2024. – С. 110-114.

99. Ольгаренко, И.В. К вопросу диспетчерского управления водораспределением на оросительных системах / И.В. Ольгаренко, С.В. Ковалев, В.Ф. Толоконников и др. // Мелиорация и водное хозяйство: сб. науч. докл. Всероссийской научно-практической конференции (Шумаковские чтения), 25 сентября 2024 г. – Новочеркасск: ООО «Лик», 2024. – С. 115-119.

100. Панкова, Т.А. Адаптивное нормирование орошения люцерны на тёмно-каштановых почвах сухостепного Заволжья: дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / Т.А. Панкова. – Саратов, 2015. – 215 с.

101. Пенман, Х.Л. Растения и влага / Х.Л. Пенман; пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 162 с.

102. Попова, Е.В. Влияние гидротермических условий Кировской области на формирование урожайности и качества зерна яровой пшеницы / Е.В. Попова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2023. – Т. 24, № 6. – С. 1001-1013.

103. Попова, К.Ю. Глобальные проблемы водообеспечения сельского

хозяйства / К.Ю. Попова // АПК: Экономика, управление. – 2020. – № 2. – С. 72-80.

104. Рогачев, Д.А. Методология и информационная система управления водопользованием на межхозяйственных оросительных системах в напряженных природно-хозяйственных условиях: дис. ... д-ра техн. наук: 4.1.5 / Д.А. Рогачев. – Москва, 2026. – 393 с.

105. Рогачев, Д.А. Моделирование и оптимизация системного водораспределения в условиях дефицита водных ресурсов / Д.А. Рогачев, И.Ф. Юрченко // International Agricultural Journal. – 2022. – Т. 65, № 5. – С. 474-491.

106. Рогачев, Д.А. Требования к технологиям информационной поддержки системного планирования водораспределения / Д.А. Рогачев, И.Ф. Юрченко // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». – 2022. – № 5. – С. 1523-1533.

107. Рогачев, Д.А. Управление системным водораспределением на основе экономико-математического моделирования и методов искусственного интеллекта / Д.А. Рогачев, И.Ф. Юрченко, А.Ф. Рогачев // Мелиорация и гидротехника. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 87-106.

108. Роде, А.А. Основы учения о почвенной влаге. Т. 1: Водные свойства почв и передвижение почвенной влаги / А.А. Роде. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 664 с.

109. Родин, К.А. Режим орошения и дозы внесения удобрений под посевы риса с периодическими поливами в Волго-Донском междуречье: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / К.А. Родин. – Волгоград, 2003. – 231 с.

110. Селянинов, Г.Т. Методы сельскохозяйственной характеристики климата / Г.Т. Селянинов // Мировой агроклиматический справочник. – Л.: Гидрометеиздат, 1957. – С. 5-28.

111. Семененко, С.Я. Показатели мелиоративного состояния орошаемых земель Волгоградской области / С.Я. Семененко, А.Е. Новиков // Известия НВ АУК. – 2023. – № 1 (69). – С. 114-123.

112. Терехин, Э.А. Геоинформационное моделирование пространственно-временной изменчивости агроклиматических условий / Э.А. Терехин // Региональные геосистемы. – 2020. – Т. 44, № 3. – С. 333-342.

113. Тихонова, М.К. Режим орошения и дозы минеральных удобрений для получения планируемых урожаев зерна кукурузы на светло-каштановых почвах Волго-Донского междуречья: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / М.К. Тихонова. – Волгоград, 2001. – 196 с.

114. Ткаченко, Н.А. Засухи и урожайность зерновых культур в Волгоградской области / Н.А. Ткаченко // Известия НВ АУК. 2018. – № 4. – С. 171-178.

115. Ушакова, Е.В. Технологические приемы возделывания различных сортов сои при капельном орошении в засушливых условиях Нижнего Поволжья: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01, 06.01.02 / Е.В. Ушакова. – Волгоград, 2014. – 170 с.

116. Филимонов, Р.А. Режим капельного орошения и водопотребление картофеля на светло-каштановых почвах Волго-Донского междуречья: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Р.А. Филимонов. – Волгоград, 2009. – 157 с.
117. Хитров, Н.Б. Солевое состояние почв после прекращения орошения на Генераловской оросительной системе Волгоградской области / Н.Б. Хитров, И.Н. Горохова, Е.И. Кравченко // Почвоведение. – 2022. – № 8. – С. 1056-1070.
118. Черемисинов, А.А. Обзор расчётных методов определения суммарного испарения орошаемых сельскохозяйственных полей / А.А. Черемисинов, А.Ю. Черемисинов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2016. – № 1 (21). – С. 113-133.
119. Черемисинов, А.Ю. Управление водными режимами экологически сбалансированной агросистемы на орошаемых чернозёмах: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / А.Ю. Черемисинов. – Волгоград, 1993. – 35 с.
120. Шабанов, В.В. Биоклиматическое обоснование мелиораций / В.В. Шабанов. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 169 с.
121. Шадских, В.А. Концептуальное обоснование рационального использования орошаемых земель Заволжья в условиях импортозамещения / В.А. Шадских, В.В. Мелихов, В.В. Бородычев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2022. – № 1 (85). – С. 8-22.
122. Шапкина, Н.Е. Современные климатические изменения на юго-западе Валдайской возвышенности: статистический анализ многолетней динамики температуры воздуха / Н.Е. Шапкина // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика, астрономия. – 2015. – № 5. – С. 17-23.
123. Шапкина, Н.Е. Статистический анализ циклических изменений в рядах динамики метеорологических показателей на юго-западе Валдайской возвышенности / Н.Е. Шапкина // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика, астрономия. – 2018. – № 1. – С. 61-67.
124. Шаров, И.А. Эксплуатация гидромелиоративных систем: учеб. пособие / И.А. Шаров. – М.: Колос, 1968. – 383 с.
125. Шашко, Д.И. Агроклиматические ресурсы СССР / Д.И. Шашко. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 247 с.
126. Шевченко, В.А. Новый этап развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса Российской Федерации / В.А. Шевченко, С.Д. Исаева, Э.Б. Дедова // Вестник Российской академии наук. – 2023. – Т. 93, № 4. – С. 355-361.
127. Штойко, Д.А. Методические указания по применению биофизического метода для определения эффективных запасов влаги в почве и сроков полива сельскохозяйственных культур / Д.А. Штойко. – Херсон, 1975. – 76 с.
128. Шумова, Н.А. Количественные показатели климата в приложении к

оценке гидротермических условий в Республике Калмыкия / Н.А. Шумова // Аридные экосистемы. – 2021. – Т. 27, № 4 (89). – С. 13-24.

129. Щедрин, В.Н. Современные направления цифровизации оросительных мелиоративных систем / В.Н. Щедрин, С.М. Васильев, А.А. Чураев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2021. – № 4. – С. 1-18.

130. Щедрин, В.Н. Цифровая трансформация мелиоративного комплекса Российской Федерации / В.Н. Щедрин, С.М. Васильев, А.А. Чураев // Мелиорация и гидротехника. – 2021. – Т. 11, № 3. – С. 1-18.

131. Юрченко, И.Ф. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений при управлении режимами орошения / И.Ю. Юрченко, Е.В. Кузнецов // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2024. – № 1. – С. 52-58.

132. Юрченко, И.Ф. Оценка современного состояния индустрии цифровизации мелиорации и перспективы ее развития / И.Ф. Юрченко // Экология и строительство. – 2022. – № 2. – С. 4-15.

133. Юрченко, И.Ф. Приоритетные направления и мероприятия современной цифровизации в мелиорации / И.Ф. Юрченко // Природообустройство. – 2022. – № 2. – С. 6-15.

134. Юрченко, И.Ф. Рациональная эволюция орошения на основе цифровых технологий и искусственного интеллекта / И.Ф. Юрченко // Мелиорация и гидротехника. – 2022. – Т. 12, № 4. – С. 233-245.

135. Яковлева, Е.Н. Климатическая безопасность аграрного сектора: угрозы и проблемы адаптации / Е.Н. Яковлева, И.В. Крюкова // Вестник Томского государственного университета. Экономика. – 2022. – № 60. – С. 22-35.

136. Abagale, F. Smart Irrigation for Climate Change Adaptation and Improved Food Security / F. Abagale, G.K. Anornu // In book: Irrigation and Drainage – Recent Advances. – London: IntechOpen, 2024. – 19 p.

137. Abdelmoneim, A. IoT Sensing for Advanced Irrigation Management / A. Abdelmoneim et al. // Sensors. – 2025. – Vol. 25, No. 7. – P. 2291.

138. Abiadi, Y. The application of machine learning techniques for smart irrigation systems: A systematic literature review / Y. Abiadi, Z. Elamrani Abou Ellassad, O. El Meslouhi et al. // Smart Agricultural Technology. – 2024. – Vol. 7. – Article 100425.

139. Adeboye, O.B. Evaluation of FAO-56 Penman Monteith and Temperature Based Models in Estimating Reference Evapotranspiration / O.B. Adeboye, J.A. Osunbitan, K.O. Adekalu et al. // Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. – 2009. – Vol. XI. – Manuscript 1291.

140. Al-Sayed, A. Adapting Irrigation Strategies to Mitigate Climate Change and Achieve Food Security / A. Al-Sayed // Water Resources Management. – 2023. – Vol. 37. – P. 1209-1227.

141. Allen, R. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements / R. Allen, L. Pereira, M. Smith. – Rome: FAO, 1998. – 300 p.
142. Amarkai, P. Comparative Evaluation of Crop Evapotranspiration Estimation Methods / P. Amarkai, K. Frimpong, E. Agyeman et al. // Sustainability. – 2024. – Vol. 16. – No. 24. – Article 11133.
143. Babar, A. Sustainable and Precision Agriculture with the Internet of Everything (IoE) / A. Babar, O.B. Akan // Internet of Things. – 2024. – Vol. 26. – Article 101178.
144. Behura, K. Comprehensive analysis of methods for estimating actual evapotranspiration and irrigation water requirements in agricultural systems / K. Behura, S. Panda, A.K. Mishra // Frontiers in Water. – 2025. – Vol. 7. – Article 1553732.
145. Bekele, T. Application of Precision Agriculture Technologies for Sustainable Water Resource Management: A Review / T. Bekele // Water. – 2024. – Vol. 16, No. 19. – Article 2817.
146. Chehbouni, A. Assessing Irrigation Water Use with Remote Sensing-Based Soil Water Balance at an Irrigation Scheme Level in a Semi-Arid Region of Morocco / A. Chehbouni // Remote Sensing. – 2021. – Vol. 13 (6). – Article 1133.
147. Chukalla, A. Global spatially explicit crop water consumption and irrigation water requirements under changing climate conditions / A. Chukalla, M. Krol, A.Y. Hoekstra // Nature Food. – 2025. – Vol. 6. – № 3. – P. 215-227.
148. Corwin, D.L. Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas / D.L. Corwin // European Journal of Soil Science. – 2021. – Vol. 72. – No. 2. – P. 842-862.
149. Deveci, H. Modeling the effects of climate change on irrigation water requirements using CROPWAT model / H. Deveci // Frontiers in Sustainable Food Systems. – 2025. – Vol. 9. – Article 1563048.
150. Duncan, W.G. Net photosynthetic rates, relative leaf growth rates, and leaf numbers of 22 races of maize grown at eight temperatures / W.G. Duncan, J.D. Hesketh // Crop Science. – 1968. – Vol. 8, № 6. – P. 670-674.
151. Emberger, L. Une classification biogéographique des climats / L. Emberger // Recueil des travaux des laboratoires de botanique, géologie et zoologie de la Faculté des Sciences de l'Université de Montpellier. Série Botanique. – 1955. – № 7. – P. 3-43.
152. Galatoulas, N. Development of High – Resolution Agroclimatic Zoning for Climate – Resilient Agriculture / N. Galatoulas, G.A. Papakostas // AgriEngineering. – 2025. – Vol. 7, No. 2. – Article 61.
153. Galatoulas, N.-F. Development of High-Resolution Agroclimatic Zoning Method to Determine Micro-Agroclimatic Zones in Greece / N.-F. Galatoulas, D.E. Tsesmelis, A. Kavga, K. Kalogeropoulos, P.E. Barouchas // Earth. – 2026. – Vol. 7, No. 2. – Article 61.

154. Grigorieva, E. Adaptation of Agriculture to Climate Change: A Scoping Review / E. Grigorieva, A. Livenets, E. Stelmakh // *Climate*. – 2023. – Vol. 11, No. 10. – Article 202.
155. Hanks, R.J. Yield and Water-Use Relationships: An Overview / R.J. Hanks // *Limitations to Efficient Water Use in Crop Production* / Ed. H.M. Taylor, W.R. Jordan, T.R. Sinclair. – Madison, 1983. – P. 393-411.
156. Hirota, T. Time series analysis of temperature and rainfall – based weather aggregation reveals significant correlations between climate turning points and potato (*Solanum tuberosum* L) yield trends in Japan / T. Hirota // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2018. – Vol. 263. – P. 147-155.
157. Howden, S. M. Adapting Agriculture to Climate Change / S.M. Howden, J.-F. Soussana, F.N. Tubiello et al. // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2007. – Vol. 104, No. 50. – P. 19691-19696.
158. Hubbard, K.G. A Demonstration and Evaluation of the Use of Climate Information to Support Irrigation Scheduling and Other Agricultural Operations / K.G. Hubbard, D.A. Wilhite, S.J. Meyer et al. – Lincoln: University of Nebraska, 1987. – 56 p.
159. Iacuzzi, N. Crop Water Requirement Estimated with Data-Driven Models Improves the Reliability of CROPWAT 8.0 and the Water Footprint of Processing Tomato Grown in a Hot-Arid Environment / N. Iacuzzi, N. Tortorici, C. Mosca et al. // *Agronomy*. – 2025. – Vol. 15, No. 7. – Article 1533.
160. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor et al. – Cambridge: Cambridge University Press, 2022. – 3675 p.
161. Jaramillo, S. Sustainable transformation of rainfed to irrigated agriculture through water harvesting and smart crop management practices / S. Jaramillo, E. Graterol, E. Pulver // *Frontiers in Sustainable Food Systems*. – 2020. – Vol. 4. – Article 437086.
162. Jones, J.W. The DSSAT cropping system model / J.W. Jones, G. Hoogenboom, C.H. Porter et al. // *European Journal of Agronomy*. – 2003. – Vol. 18. – P. 235-265.
163. Jovanovic, N. Soil water balance models for determining crop water and irrigation requirements and irrigation scheduling focusing on the FAO56 method and the dual Kc approach / N. Jovanovic // *Agricultural Water Management*. – 2020. – Vol. 241. – Article 106357.
164. Karar, M. A Pilot Study of Smart Agricultural Irrigation Using Unmanned Aerial Vehicles and IoT-Based Cloud System / M. Karar, O. Reyad // *Neural Computing and Applications*. – 2021. – Vol. 33. – P. 15175-15188.
165. Khan, M. Smart Irrigation Technologies and Prospects for Enhancing Water

Use Efficiency for Sustainable Agriculture / M. Khan // Smart Agricultural Technology. – 2025. – Vol. 7. – Article 100106.

166. Kumar, R. Smart drip irrigation systems using IoT: a review of automation, monitoring and water conservation approaches / R. Kumar // Discover Water. – 2025. – Vol. 5. – Article 30.

167. Lakhiar, I. A Review of Precision Irrigation Water-Saving Technology under Changing Climate for Enhancing Water Use Efficiency, Crop Yield, and Environmental Footprints / I. Lakhiar, T. Syed, J. Chauhdary et al. // Agriculture. – 2024. – Vol. 14, No. 7. – Article 1141.

168. Li, J. Comparative Analysis of Crop Coefficient Approaches and Machine Learning Methods for Estimating Crop Evapotranspiration / J. Li // Agronomy. – 2025. – Vol. 15. – No. 2. – Article 492.

169. Liu, G. Application of seasonal time series model in the precipitation forecast / G. Liu // Mathematical and Computer Modelling. – 2013. – Vol. 58, No. 3-4. – P. 677-683.

170. Liu, Y. Irrigation schedule optimization for wheat and sunflower under limited water supply / Y. Liu // Atmosphere. – 2024. – Vol. 15. – No. 5. – Article 566.

171. Mattar, M. Effects of Different Surface and Subsurface Drip Irrigation Levels on Growth Traits, Tuber Yield and Irrigation Water Use Efficiency of Potato Crop / M. Mattar, T.K. Zin El-Abedin, H.M. Al-Ghobari et al. // Irrigation Science. – 2021. – Vol. 39, No. 4. – P. 517-533.

172. Mekonnen, M. The Green, Blue and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Products / M. Mekonnen, A.Y. Hoekstra // Hydrology and Earth System Sciences. – 2011. – Vol. 15. – P. 1577-1600.

173. Mukanov, Y. Agricultural water demands in Central Asia under 1.5 °C and 2.0 °C global warming / Y. Mukanov // Agricultural Water Management. – 2020. – Vol. 231. – Article 106020.

174. Negash, T. Maize (*Zea mays* L., 1753) evapotranspiration and crop coefficient in semi-arid region of Ethiopia / T. Negash, A. Tefera, G.D. Bayisa // Italian Journal of Agrometeorology. – 2024. – No. 2. – P. 55-63.

175. OECD. Climate Change, Water and Agriculture. – Paris: OECD Publishing, 2024. – 136 p.

176. Omarakunova, G. Investigation of crop evapotranspiration and irrigation water requirement in the lower Amu Darya River Basin, Central Asia / G. Omarakunova // Journal of Arid Land. – 2021. – Vol. 13. – No. 1. – P. 23-39.

177. Pereira, L. Crop Evapotranspiration Estimation with FAO56: Past and Future / L. Pereira, R. Allen, D. Raes // Agricultural Water Management. – 2015. – Vol. 147. – P. 4-20.

178. Pereira L. Improved Indicators of Water Use Performance and Productivity

for Sustainable Water Conservation and Saving / L. Pereira, I. Iacovides // *Agricultural Water Management*. – 2012. – Vol. 108. – P. 39-51.

179. Porter, J. Food Security and Food Production Systems / J. Porter, A. Challinor, S. Howden et al. // *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. – Cambridge: Cambridge University Press, 2014. – P. 485-533.

180. Ramezani Etedali, H. Estimation of actual evapotranspiration and water requirements of strategic crops under different stresses / H. Ramezani Etedali, F. Gorginpaveh, A. Elbeltagi et al. // *Scientific Reports*. – 2025. – Vol. 15. – Article 7778.

181. Renga, F. The Digital Agricultural Revolution: A Bibliometric Analysis Literature Review / F. Renga, M. Matteucci // *Smart Agricultural Technology*. – 2021. – Vol. 1. – Article 100003.

182. Reta, B. Crop water requirement and irrigation scheduling under climate change scenario using CROPWAT model / B. Reta, M. Daba // *Scientific African*. – 2024. – Vol. 23. – Article e01932.

183. Rojas, E. Agroclimatic Zoning Methodology for Agricultural Planning / E. Rojas, P. Moreno // *Ciência Rural*. – 2016. – Vol. 46, No. 11. – P. 1972-1978.

184. Sahoo, S. Knowledge-Based Optimal Irrigation Scheduling of Agro-Hydrological Systems / S. Sahoo, B. Agyeman, J. Liu // *arXiv*. – 2021. – arXiv:2112.06354.

185. Savva, A. Crop Water Requirements and Irrigation Scheduling / A. Savva, K. Frenken. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2002. – 134 p.

186. Sayed, E. An overview of smart irrigation systems using IoT / E. Sayed, M. Abdelkareem, M. Mahmoud et al. // *Energy Nexus*. – 2022. – Vol. 7. – Article 100124.

187. Scheffran, J. Time-series trend analysis and farmer perceptions of rainfall and temperature in northwestern Ethiopia / J. Scheffran // *Environment Development and Sustainability*. – 2021. – T. 23, No. 1. – P. 12904-12924.

188. Semenenko, S.Ya. Indicators of reclamation condition of irrigated lands in the Volgograd region / S.Ya. Semenenko, E.V. Kuznetsov, A.V. Kolganov // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2023. – Vol. 1158. – Article 042015.

189. Şen, B. Determining the Changing Irrigation Demands of Maize Production in the Cukurova Plain under Climate Change Scenarios with the CROPWAT Model / B. Şen // *Water*. – 2023. – Vol. 15, No. 24. – Article 4215.

190. Shafeeque, M. Assessing the impact of future climate scenarios on crop water requirements and agricultural water supply across different climatic zones of Pakistan / M. Shafeeque, A. Bibi // *Frontiers in Earth Science*. – 2023. – Vol. 11. – Article 1283171.

191. Shahid, S. Projection of future water availability in the Amu Darya Basin / S. Shahid // *International Journal of Climatology*. – 2024. – Vol. 44. – No. 9. – P. 2948-

2961.

192. Silva, S.P. Dual Crop Coefficient Approach in *Vitis vinifera* L. cv. Loureiro / S.P. Silva, M.I. Valín, S. Mendes et al. // *Agronomy*. – 2021. – Vol. 11. – No. 10. – Article 2062.

193. Taha, A. Agro-Climatic Zoning in Egypt to Improve Irrigation Water Management / A. Taha // *Journal of Water and Land Development*. – 2016. – No. 31. – P. 113-123.

194. Usman, M. Estimating water balance components in irrigated agriculture using a combined approach of soil moisture and energy balance monitoring, and numerical modelling / M. Usman, T. Beek, R. Merz et al. // *Hydrological Processes*. – 2021. – Vol. 35 (3). – Article e14077.

195. Van Wart, J. Use of Agro-Climatic Zones to Upscale Simulated Crop Yield Potential / J. Van Wart, K.C. Kersebaum, S. Peng et al. // *Field Crops Research*. – 2013. – Vol. 143. – P. 44-55.

196. Wang, J. Water-saving irrigated area expansion and sustainable agricultural water management under climate change / J. Wang // *Communications Earth & Environment*. – 2025. – Vol. 6. – Article 279.

197. Wang, Y. AI-Driven Optimization of Agricultural Water Management for Sustainable Irrigation / Y. Wang et al. // *Scientific Reports*. – 2024.

198. Worku, W. Trends of climate variability and its association with farmers' perceptions of climate change in Gassera district, southeastern Ethiopia / W. Worku // *Scientific Reports*. – 2025. – Vol. 15, No 1. – P. 4399.

199. Wright, J.L. The FAO56 Crop Coefficient Method for Estimating Crop Water Use: 20 Years of Advances and New Directions / J.L. Wright // *Agricultural Water Management*. – 2021.

200. Xiao, Y. Analysis of Hotspots in Subsurface Drip Irrigation Research Using CiteSpace / Y. Xiao, C. Sun, D. Wang et al. // *Agriculture*. – 2023. – Vol. 13, No. 7. – Article 1463.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица А.1 – Биоклиматический коэффициент водопотребления люцерны,
мм/мбар

Сумма температур, °C	K _б	Сумма температур, °C	K _б
1–100	0,29	2001–2100	0,38
101–200	0,32	2101–2200	0,36
201–300	0,33	2201–2300	0,34
301–400	0,35	2301–2400	0,31
401–500	0,36	2401–2500	0,33
501–600	0,37	2501–2600	0,37
601–700	0,34	2601–2700	0,41
701–800	0,34	2701–2800	0,45
801–900	0,29	2801–2900	0,41
901–1000	0,29	2901–3000	0,38
1001–1100	0,33	3001–3100	0,34
1101–1200	0,34	3101–3200	0,32
1201–1300	0,36	3201–3300	0,29
1301–1400	0,40	3301–3400	0,27
1401–1500	0,44	3401–3500	0,26
1501–1600	0,42	3501–3600	0,25
1601–1700	0,43	3601–3700	0,24
1701–1800	0,42	3701–3800	0,22
1801–1900	0,41	3801–3900	0,24
1901–2000	0,40	3901–4000	0,27

Таблица А.2 – Биоклиматический коэффициент водопотребления сои, мм/мбар

Межфазный период	Соя – ВНИИОЗ 86 В1								
	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011
Посев – всходы	0,112	0,106	0,113	0,112	0,106	0,113	0,112	0,106	0,113
Всходы – первый настоящий лист	0,142	0,14	0,144	0,142	0,14	0,144	0,147	0,144	0,149
Первый настоящий лист – ветвление	0,153	0,148	0,153	0,153	0,148	0,153	0,159	0,151	0,156
Ветвление – бутонизация	0,179	0,167	0,172	0,179	0,167	0,172	0,183	0,170	0,173
Бутонизация – цветение	0,195	0,179	0,187	0,195	0,179	0,187	0,204	0,185	0,189
Цветение – бобообразование	0,209	0,198	0,203	0,209	0,198	0,203	0,226	0,204	0,217
Бобообразование – налив	0,217	0,211	0,211	0,217	0,211	0,211	0,22	0,216	0,225
Налив – созревание	0,202	0,197	0,2	0,211	0,22	0,204	0,22	0,221	0,228
Созревание – полная спелость	0,169	0,166	0,167	0,172	0,169	0,174	0,176	0,171	0,182
Полная спелость – посев	0,183	0,177	0,18	0,185	0,183	0,181	0,19	0,185	0,19

Таблица А.3 – Температурный биоклиматический коэффициент водопотребления томата, мм/°С

Межфазные период	Предполивная влажность почвы, % НВ		
	70-70-60	70-80-70	70-90-80
Посадка – цветение	0,19	0,19	0,19
Цветение – плодообразование	0,26	0,27	0,27
Плодообразование – молочная спелость	0,21	0,21	0,23
Молочная – полная спелость	0,14	0,15	0,16
Посадка – полная спелость	0,2	0,2	0,21

Таблица А.4 – Температурный (биоклиматический) коэффициент водопотребления сладкого перца, мм/°С

межфазный период	Предполивная влажность почвы, % НВ			
	60	70	80	90
Посадка – бутонизация	0,11	0,13	0,13	0,15
Бутонизация – цветение	0,17	0,19	0,2	0,22
Цветение – техническая спелость	0,22	0,23	0,24	0,24
Техническая спелость – биологическая спелость	0,16	0,16	0,16	0,17
Посадка – биологическая спелость	0,17	0,17	0,18	0,19

Таблица А.5 – Температурный (биоклиматический) коэффициент водопотребления картофеля, мм/°С

Водный режим почвы	Годы исследований	Периоды вегетации картофеля								
		июнь	июль			Август			Сентябрь	
		III	I	II	III	I	II	III	I	II
80% НВ, h = 0,6 м	2015	0,101	0,114	0,16	0,141	0,181	0,188	0,21	0,171	0,138
	2016	0,097	0,113	0,124	0,142	0,138	0,164	0,175	0,151	0,128
	2017	0,108	0,126	0,141	0,151	0,179	0,175	0,196	0,157	0,111
	средний	0,102	0,118	0,142	0,145	0,166	0,176	0,194	0,16	0,126
80% НВ, h = 0,4 м	2015	0,105	0,114	0,151	0,157	0,173	0,205	0,26	0,193	0,177
	2016	0,097	0,126	0,117	0,158	0,152	0,175	0,189	0,196	0,188
	2017	0,116	0,143	0,152	0,164	0,186	0,218	0,226	0,167	0,116
	средний	0,106	0,128	0,14	0,16	0,17	0,199	0,225	0,185	0,16
80% НВ, h = 0,4 - 0,6 м	2015	0,105	0,114	0,151	0,157	0,173	0,193	0,214	0,18	0,116
	2016	0,097	0,126	0,117	0,15	0,149	0,163	0,168	0,171	0,134
	2017	0,116	0,143	0,152	0,164	0,179	0,202	0,185	0,167	0,102
	средний	0,106	0,128	0,14	0,157	0,167	0,186	0,189	0,173	0,117

Таблица А.6 – Биоклиматический коэффициент водопотребления кукурузы, мм/мбар

Предполивная влажность почвы, % НВ	Силосная кукурза			Сахарная кукуруза			Зерновая кукуруза		
	60	70	80	60	70	80	60	70	80
Посев – всходы	0,06	0,06	0,06	0,078	0,078	0,078	0,06	0,06	0,06
Всходы 5 листьев	0,08	0,08	0,08	0,101	0,101	0,101	0,1	0,1	0,1
5-9 листьев	0,13	0,13	0,14	0,139	0,142	0,144	0,15	0,15	0,15
9-11 листьев	0,16	0,17	0,18	0,191	0,202	0,214	0,16	0,17	0,18
11 листьев выметывание	0,19	0,23	0,24	0,216	0,224	0,242	0,19	0,2	0,22
Выметывание – молочная спелость	0,22	0,26	0,28	0,223	0,238	0,255	0,22	0,23	0,25
Молочная – молочно-восковая спелость	0,2	0,23	0,24	0,223	0,238	0,255	0,16	0,17	0,19
Молочно-восковая спелость	-	-	-	-	-	-	0,13	0,14	0,19
Восковая – полная спелость	-	-	-	-	-	-	0,04	0,05	0,07
Посев – уборочная спелость	0,165	0,188	0,197	0,175	0,185	0,196	0,125	0,132	0,148

Таблица А.7 – Температурный (биоклиматический) коэффициент
водопотребления гречихи, мм/°С

Межфазный период	Биоклиматический коэффициент, Kt
80% НВ	
Всходы – бутонизация	0,21
от бутонизации до цветения	0,26
от цветения до образования завязи	0,31
от образования завязи до созревания первых зерен	0,47
Массовое образование зерен	0,56

Таблица А.8 – Температурный (биоклиматический) коэффициент
водопотребления баклажана, мм/°С

Межфазный период	Биоклиматический коэффициент, Kt
Посадка – цветение	0,14
Цветение – завязывание плодов	0,31
Завязывание плодов – начало технической спелости	0,17
Техническая спелость – массовое плодоношение	0,15
Массовое плодоношение – окончание вегетации	0,15

Таблица А.9 – Температурный (биоклиматический) коэффициент
водопотребления баклажана, мм/°С

Предполивная влажность почвы, % НВ	Посев – бутонизация	Бутонизация – цветение	Цветение – плодообразование	Плодообразование – созревание	Созревание – уборка
65-65-60	0,057	0,075	0,084	0,076	0,072
70-70-65	0,061	0,082	0,090	0,084	0,080
75-75-70	0,070	0,088	0,097	0,093	0,089
80-80-75	0,078	0,095	0,104	0,100	0,094

Таблица А.10 – Температурный (биоклиматический) коэффициент
водопотребления моркови, мм/°С

Мощность увлажняемо го горизонта почвы, м	Посев – всход ы	Всходы – формирован ие 2-го листа	Формирован ие 2-5-го листа	Формирован ие 5-7-го листа	Формировани е 7-го листа – начало технической спелости	Начало техническ ой – уборочная спелость
А1 (0,2-0,5 м)	0,13	0,143	0,159	0,174	0,206	0,188
В2	0,143	0,159	0,174	0,207	0,189	0,179
В3	0,143	0,161	0,178	0,21	0,19	0,18
В4	0,143	0,162	0,179	0,212	0,191	0,182
А2 (0,3-0,5 м)	0,128	0,141	0,159	0,176	0,207	0,188
В2	0,141	0,16	0,176	0,208	0,189	0,179
В3	0,141	0,162	0,18	0,211	0,192	0,181
В4	0,141	0,162	0,181	0,213	0,193	0,182
А3 (0,4-0,5 м)	0,128	0,14	0,157	0,173	0,204	0,187
В2	0,14	0,158	0,174	0,206	0,188	0,177
В3	0,14	0,16	0,177	0,209	0,19	0,179
В4	0,14	0,16	0,178	0,211	0,191	0,181

Таблица А.11 – Температурный (биоклиматический) коэффициент
водопотребления редьки, мм/°С

Предполив ной порог влажности, % НВ	Годы исследова ний	Посев – начало плодообразования	Плодообразова ние – техническая спелость	Техническая спелость – уборка	Посев – уборка
75	2015	0,14	0,28	0,17	0,17
	2016	0,16	0,26	0,15	0,17
	2017	0,17	0,24	0,13	0,18
75-85-75	2015	0,16	0,27	0,17	0,17
	2016	0,17	0,26	0,16	0,18
	2017	0,17	0,25	0,14	0,19
85	2015	0,16	0,27	0,16	0,18
	2016	0,18	0,28	0,16	0,18
	2017	0,19	0,27	0,15	0,2
среднее		0,2	0,3	0,2	0,2

Таблица А.12 – Температурный (биоклиматический) коэффициент
водопотребления зернового сорго, мм/°С

Межфазный период	Годы исследований			среднее
	2001	2002	2003	
Посев – кущение	0,097	0,087	0,094	0,092
Кущение – трукование	0,144	0,097	0,112	0,118
Трукование – выметывание	0,252	0,183	0,144	0,193
Выметывание – молочная спелость	0,165	0,142	0,223	0,177
Молочная спелость – полная спелость	0,15	0,144	0,128	0,141
Посев – полная спелость	0,161	0,135	0,141	0,146

Таблица А.13 – Температурный (биоклиматический) коэффициент
водопотребления свеклы, мм/°С

Межфазный период	Годы исследований			среднее
	2003	2004	2005	
Посев – утолщение корневой	0,10	0,09	0,07	0,09
Утолщение корневой шейки – техническая спелость	0,24	0,21	0,16	0,20
Тех спелость – уборка	0,14	0,11	0,09	0,11
Посев – уборка	0,16	0,15	0,13	0,15

Таблица А.14 – Температурный (биоклиматический) коэффициент
водопотребления однолетних кормовых культур, мм/°С

Межфазный период	Биоклиматический коэффициент, Kt
Посев – всходы	0,24
Всходы – кущение	0,24
Трукование у злаков	0,21
Выметывание – цветение (укозная спелость)	0,23
Посев – укос	0,21

Таблица А.15 – Температурный (биоклиматический) коэффициент
водопотребления лука, мм/°С

Уровень предполив ной влажности почвы, % НВ	Годы исследова ний	Посев – пророста ние семян	Появлен ие настоящ их листьев	Фаза 5-6 листь ев	Формирова ние луковицы	Созреван ие луковиц ы	Техничес кая спелость
80-70	2004	0,05	0,12	0,18	0,23	0,18	0,10
	2005	0,08	0,12	0,17	0,25	0,20	0,10
	2006	0,06	0,12	0,19	0,21	0,19	0,10
	среднее	0,06	0,12	0,18	0,23	0,19	0,10
80-80	2005	0,05	0,12	0,18	0,25	0,19	0,11
	2006	0,08	0,12	0,17	0,27	0,15	0,08
	2004	0,06	0,12	0,19	0,24	0,15	0,11
	среднее	0,06	0,12	0,18	0,25	0,16	0,10

Таблица А.16 – Температурный (биоклиматический) коэффициент водопотребления капусты, мм/°С

Водный режим почвы, %НВ	Годы исследований	Температурные коэффициенты испарения влаги капустой за декаду								
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
70	2002	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2
	2003	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	2004	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Среднее	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
80	2002	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	2003	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	2004	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
	Среднее	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
90	2002	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
	2003	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
	2004	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
	Среднее	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2

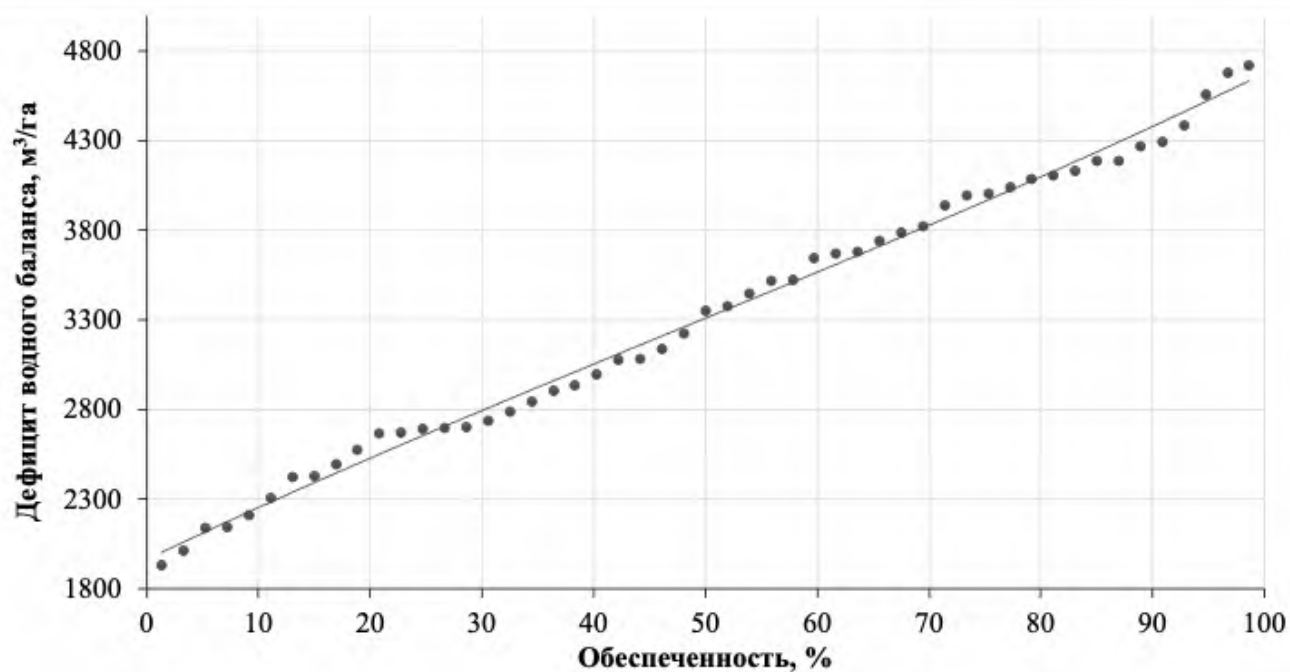


Рисунок Б.1 – Вероятностные значения дефицита водного баланса капусты белокочанной в Иловлинском районе

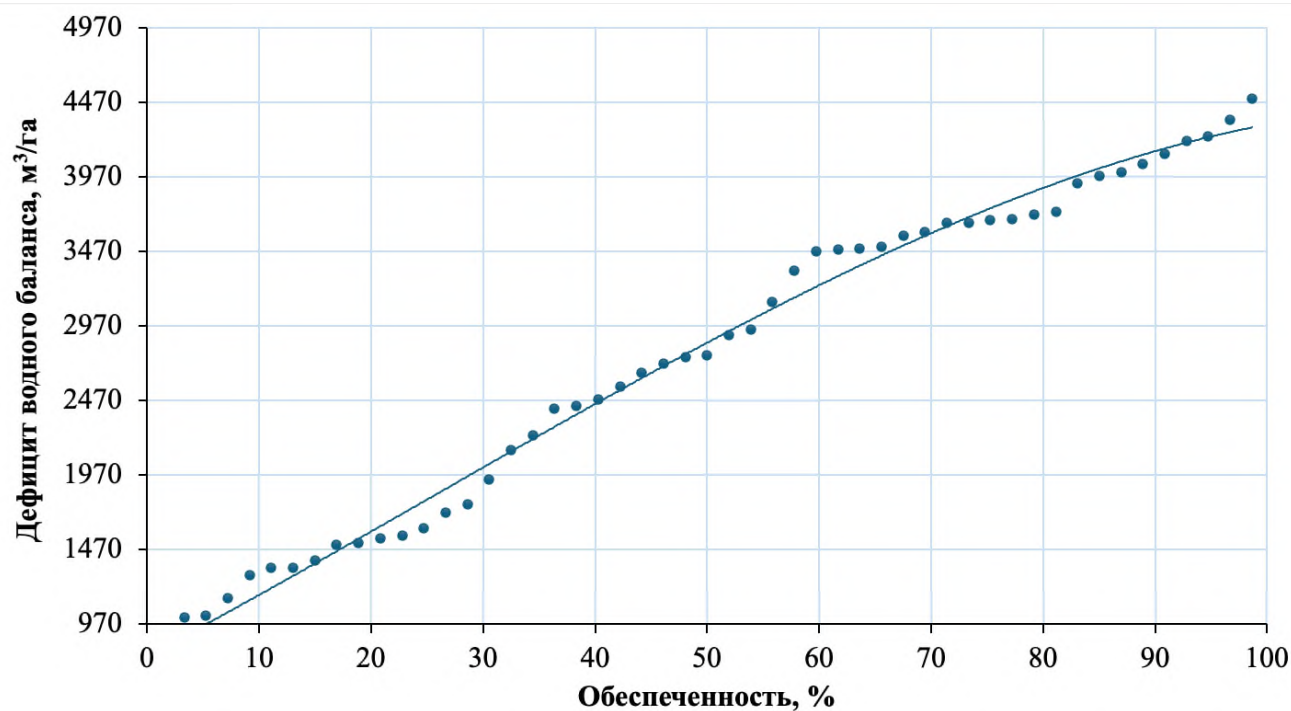


Рисунок Б.2 – Вероятностные значения дефицита водного баланса капусты белокочанной в Котельниковском районе

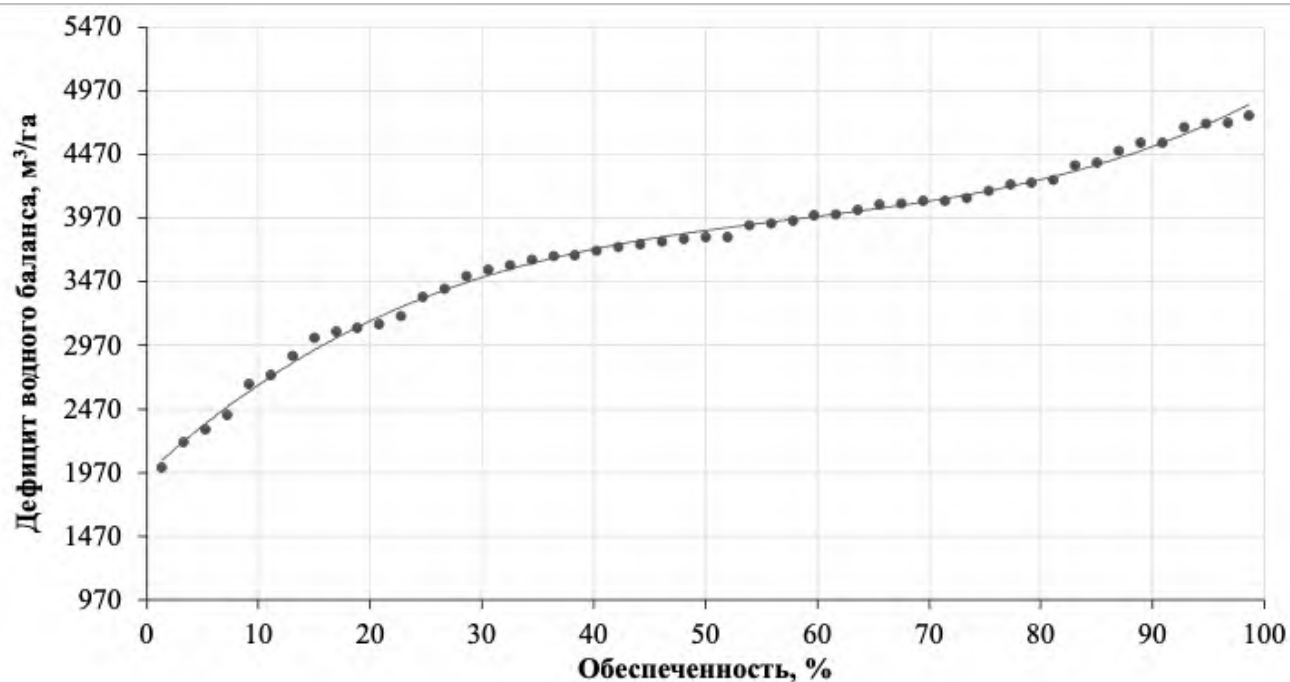


Рисунок Б.3 – Вероятностные значения дефицита водного баланса капусты
белокочанной в Палласовском районе

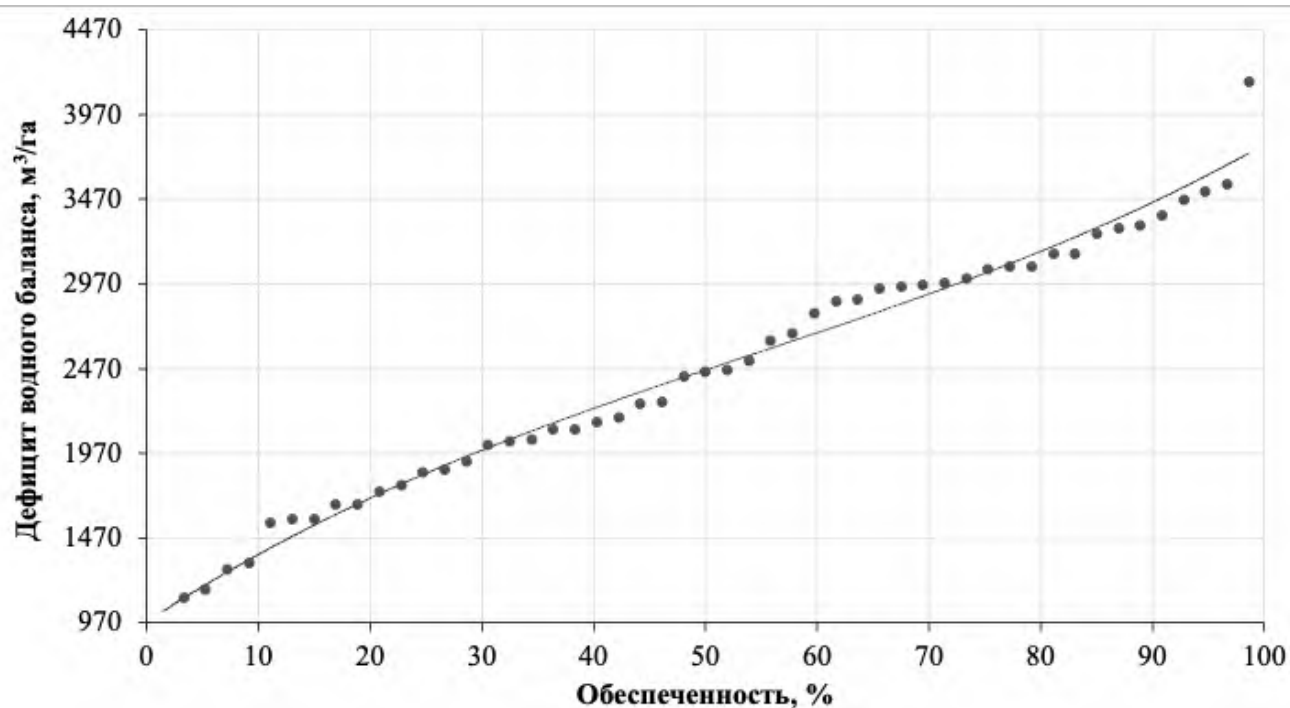


Рисунок Б.4 – Вероятностные значения дефицита водного баланса капусты
белокочанной в Урюпинском районе

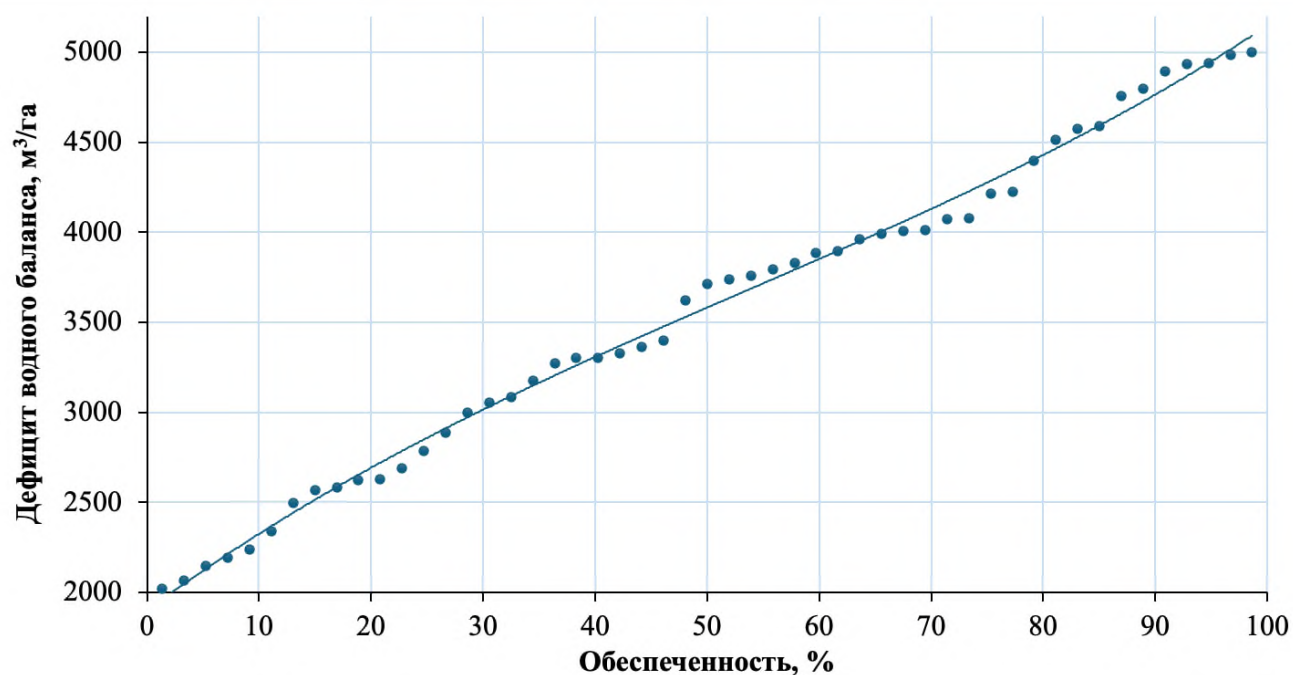


Рисунок Б.5 – Вероятностные значения дефицита водного баланса лука репчатого в Иловлинском районе

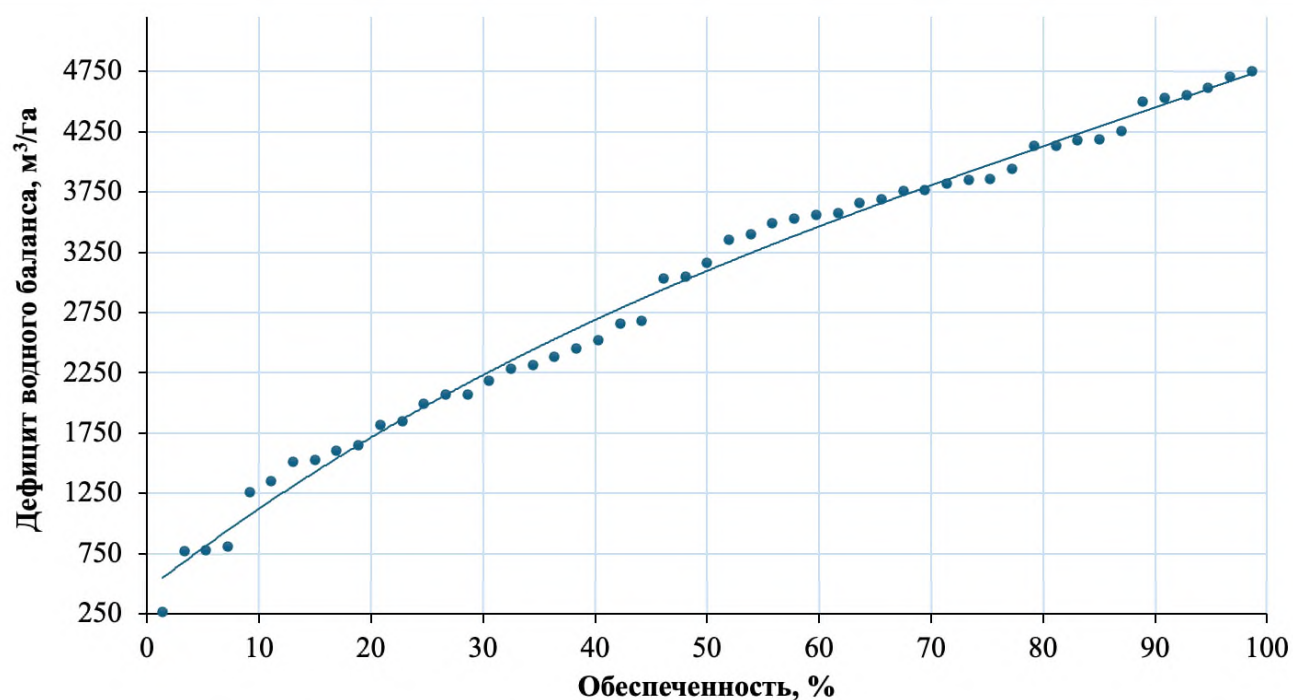


Рисунок Б.6 – Вероятностные значения дефицита водного баланса лука репчатого в Котельниковском районе

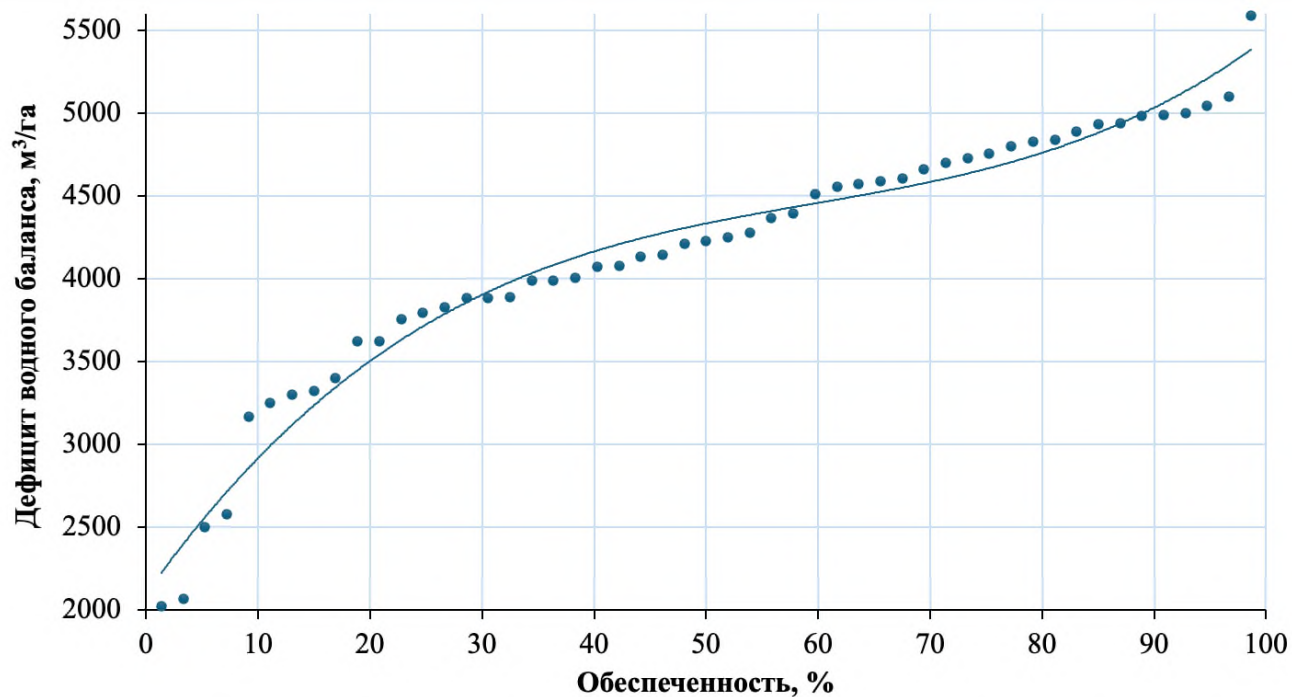


Рисунок Б.7 – Вероятностные значения дефицита водного баланса лука репчатого в Палласовском районе

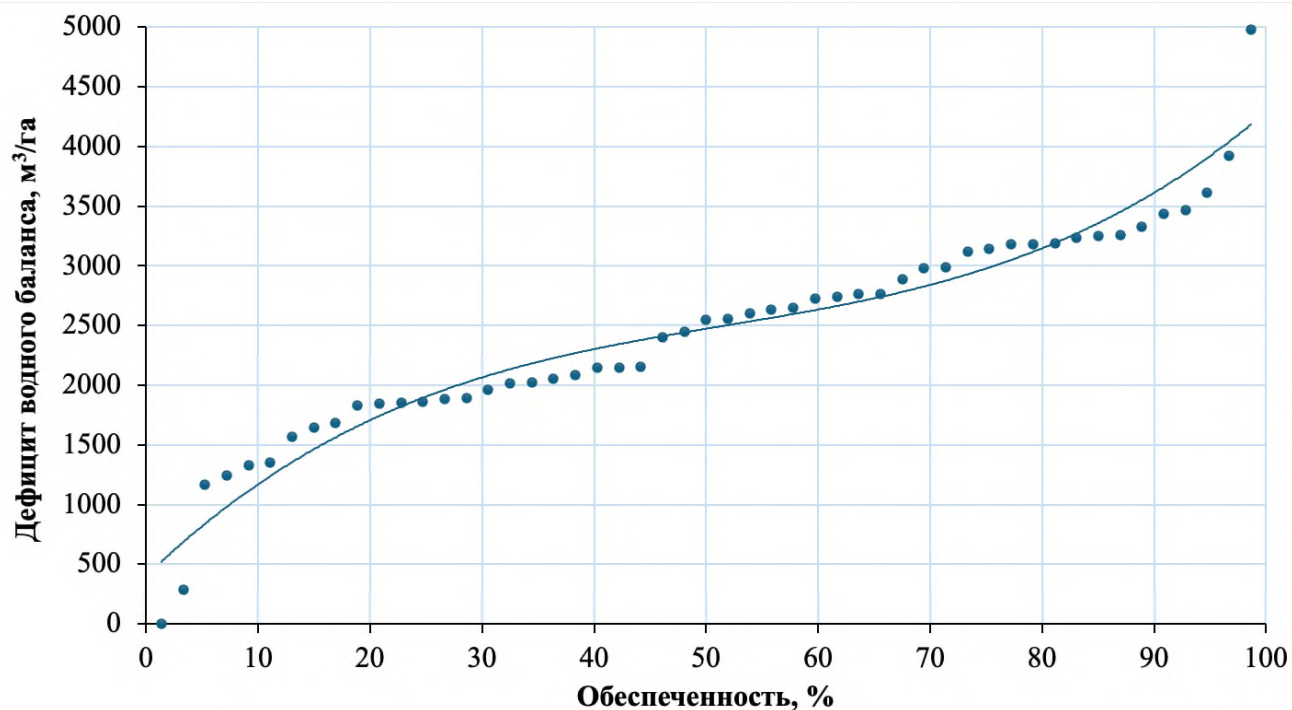


Рисунок Б.8 – Вероятностные значения дефицита водного баланса лука репчатого в Урюпинском районе

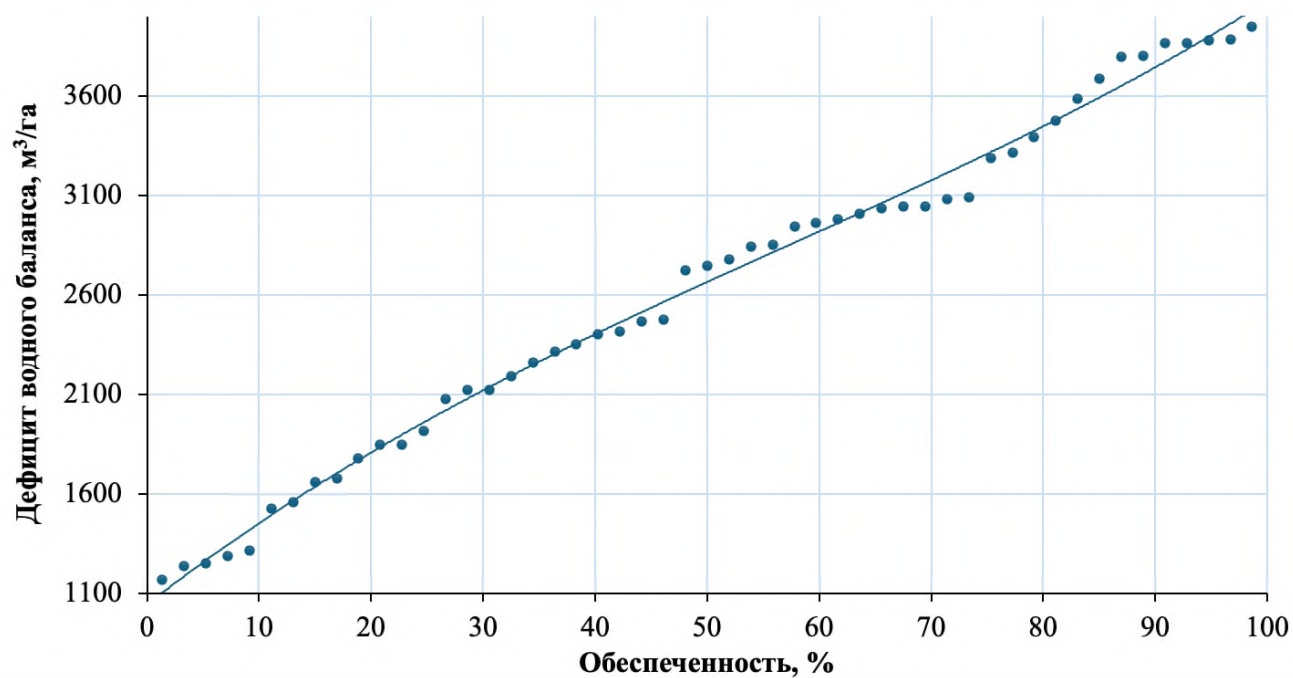


Рисунок Б.9 – Вероятностные значения дефицита водного баланса свеклы в Иловлинском районе

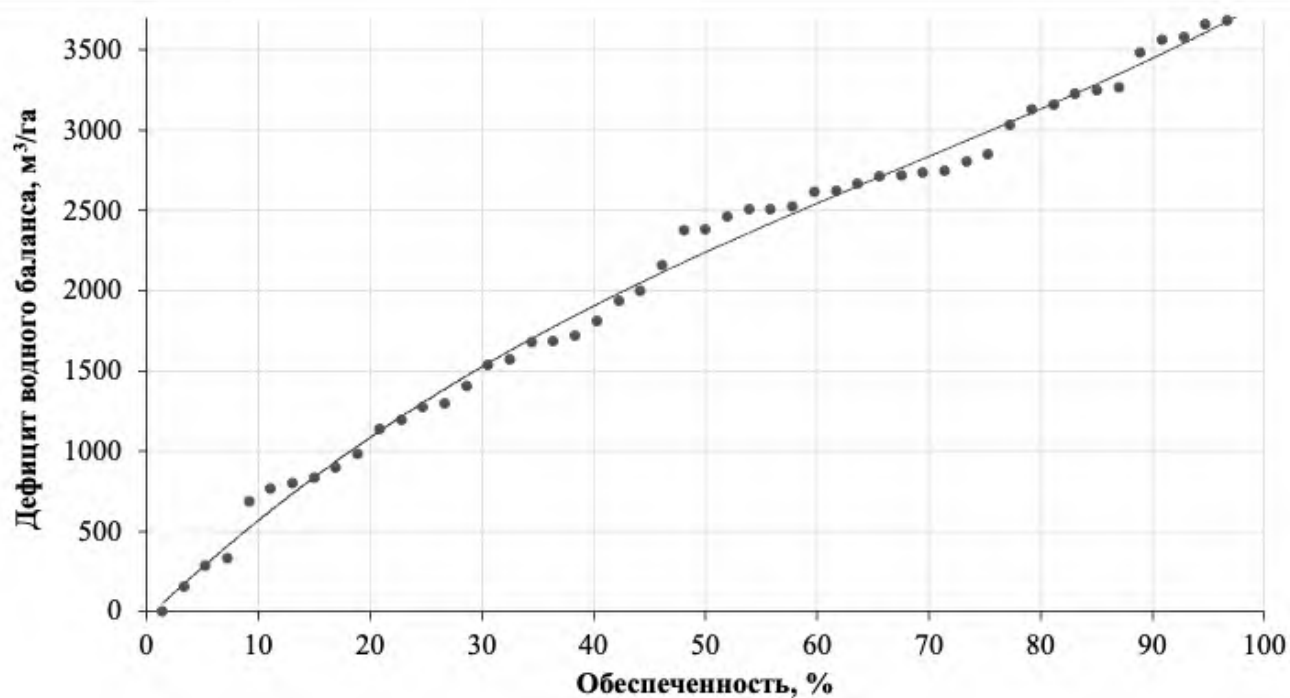


Рисунок Б.10 – Вероятностные значения дефицита водного баланса свеклы в Котельниковском районе

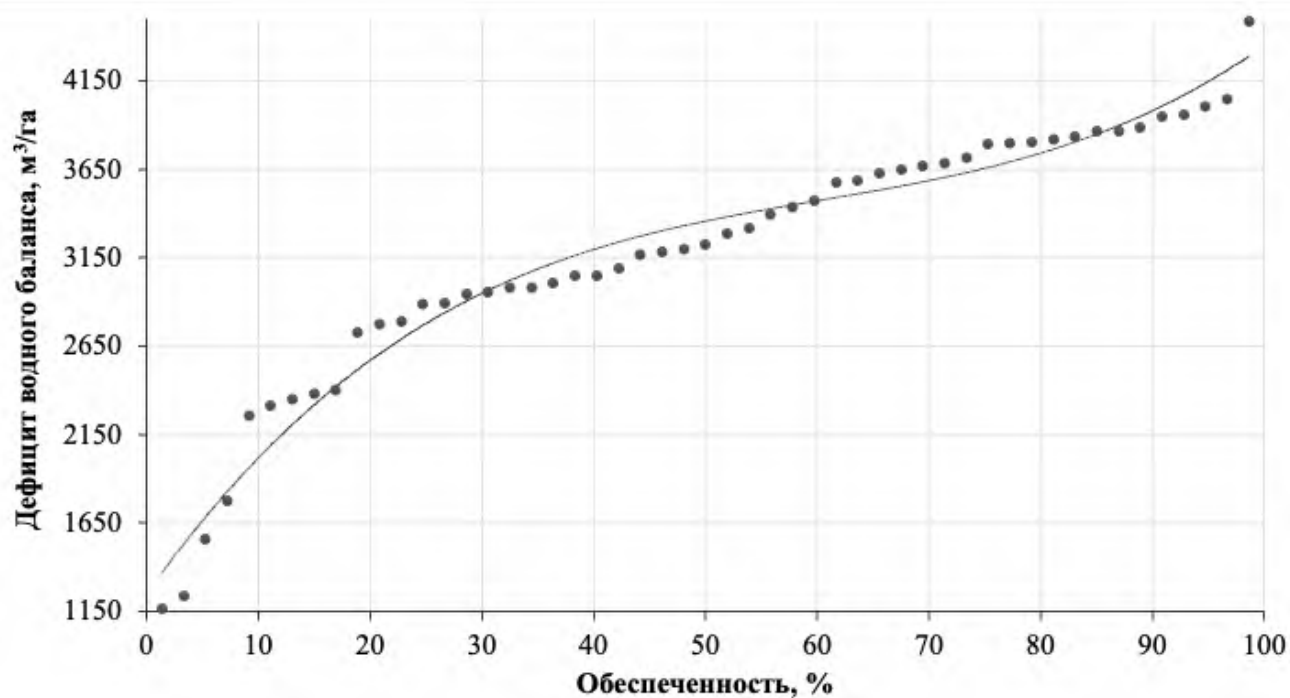


Рисунок Б.11 – Вероятностные значения дефицита водного баланса свеклы в Палласовском районе

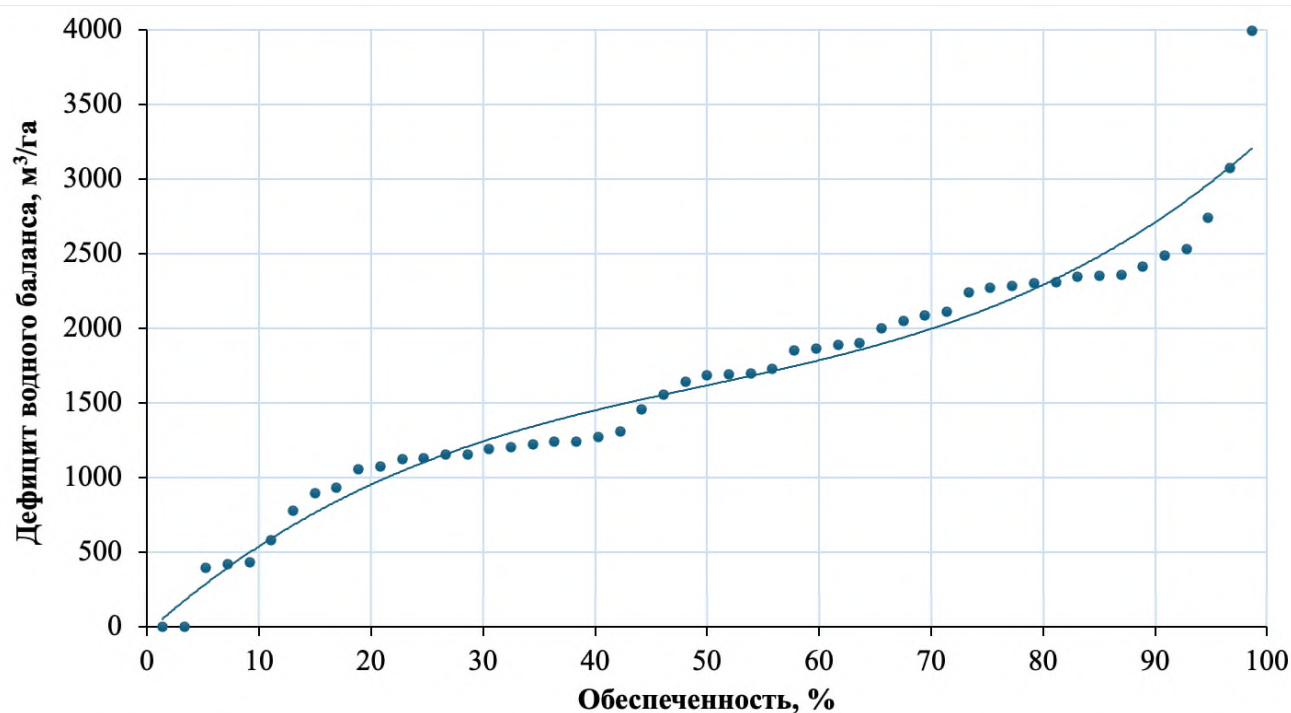


Рисунок Б.12 – Вероятностные значения дефицита водного баланса свеклы в Урюпинском районе

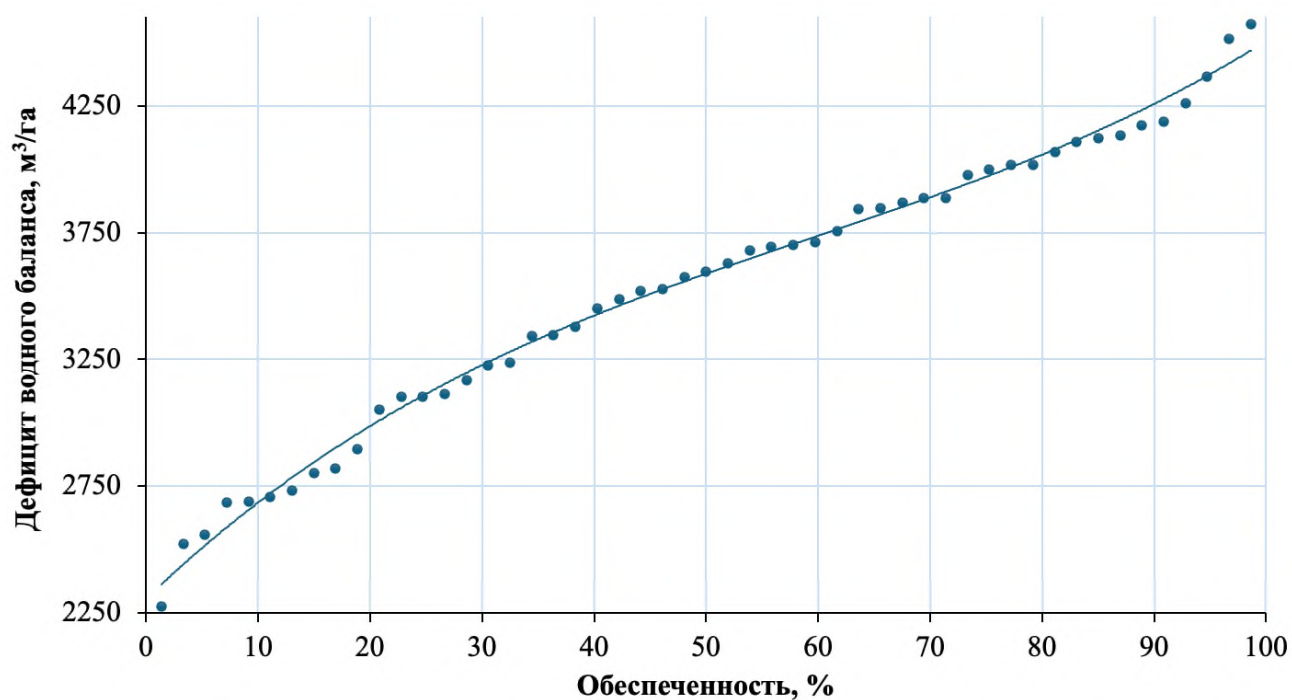


Рисунок Б.13 – Вероятностные значения дефицита водного баланса редьки в Иловлинском районе

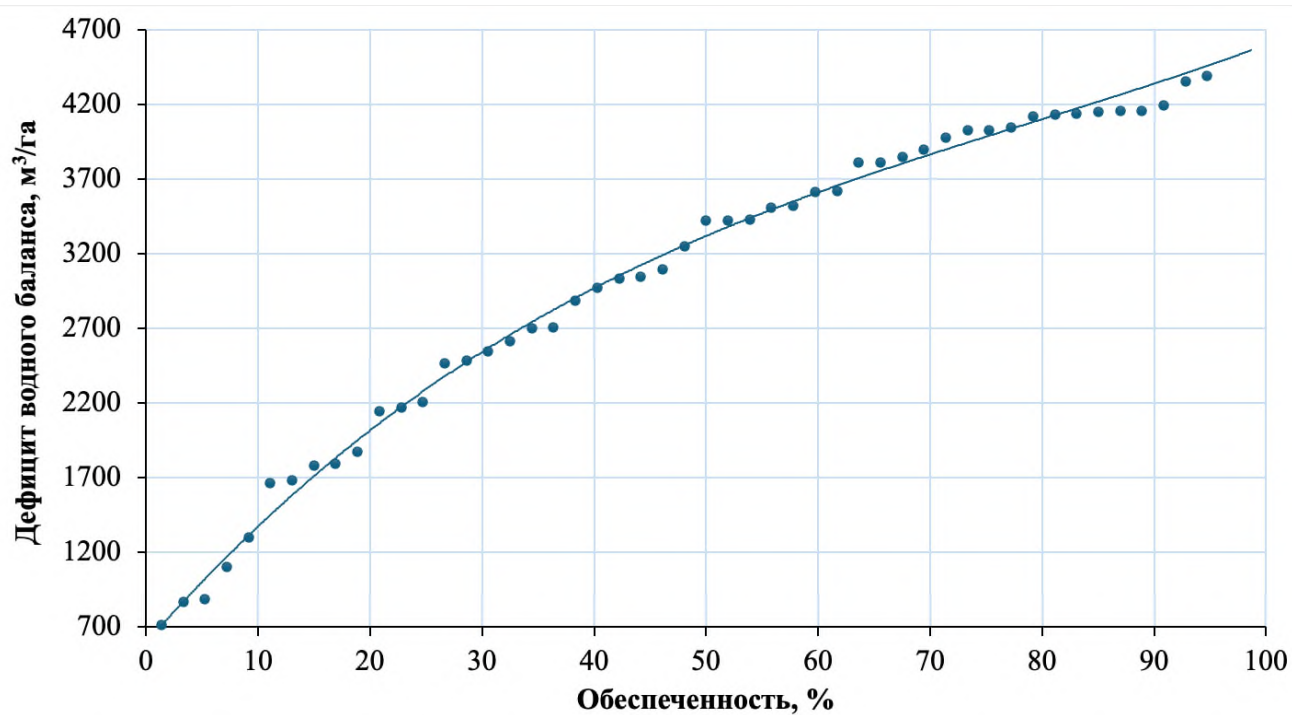


Рисунок Б.14 – Вероятностные значения дефицита водного баланса редьки в Котельниковском районе

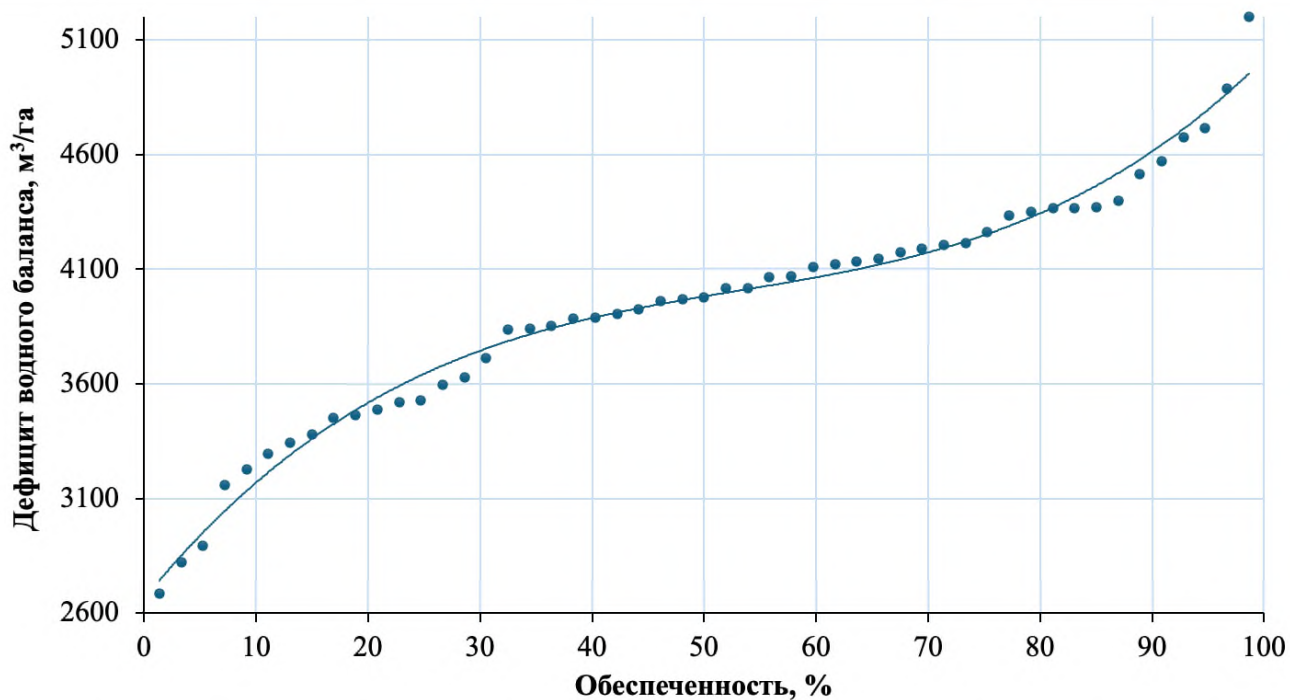


Рисунок Б.15 – Вероятностные значения дефицита водного баланса редьки в Палласовском районе

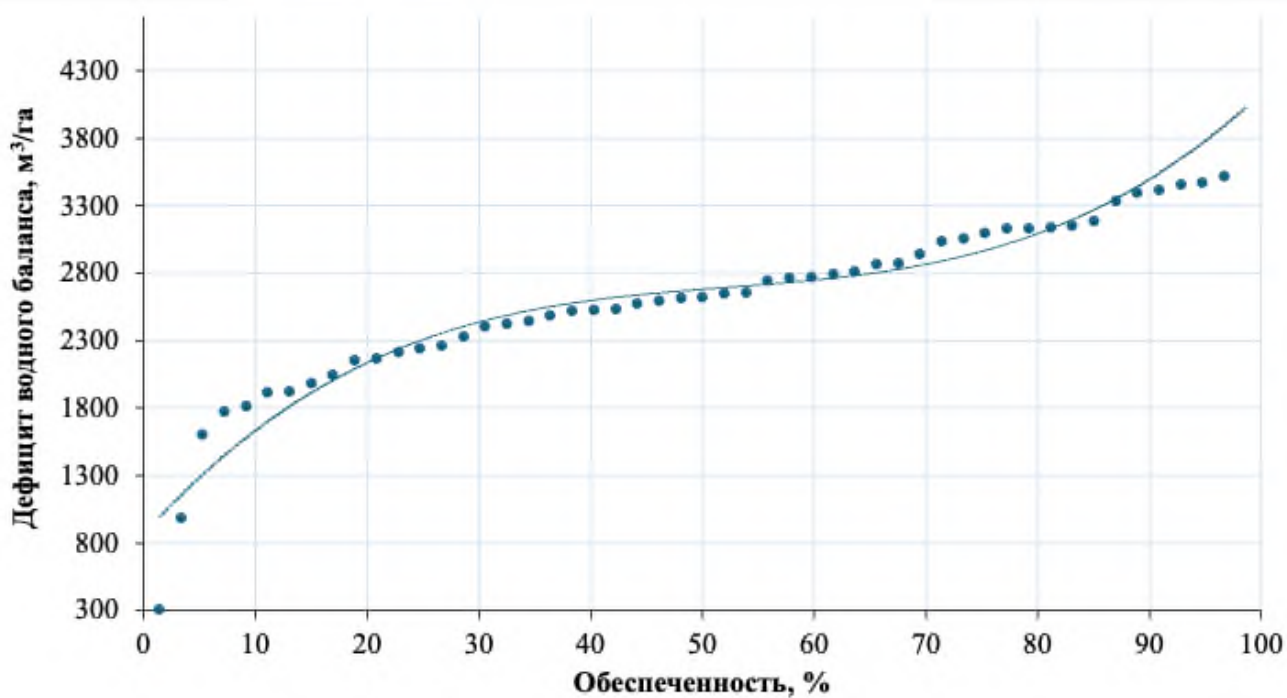


Рисунок Б.16 – Вероятностные значения дефицита водного баланса редьки в Урюпинском районе

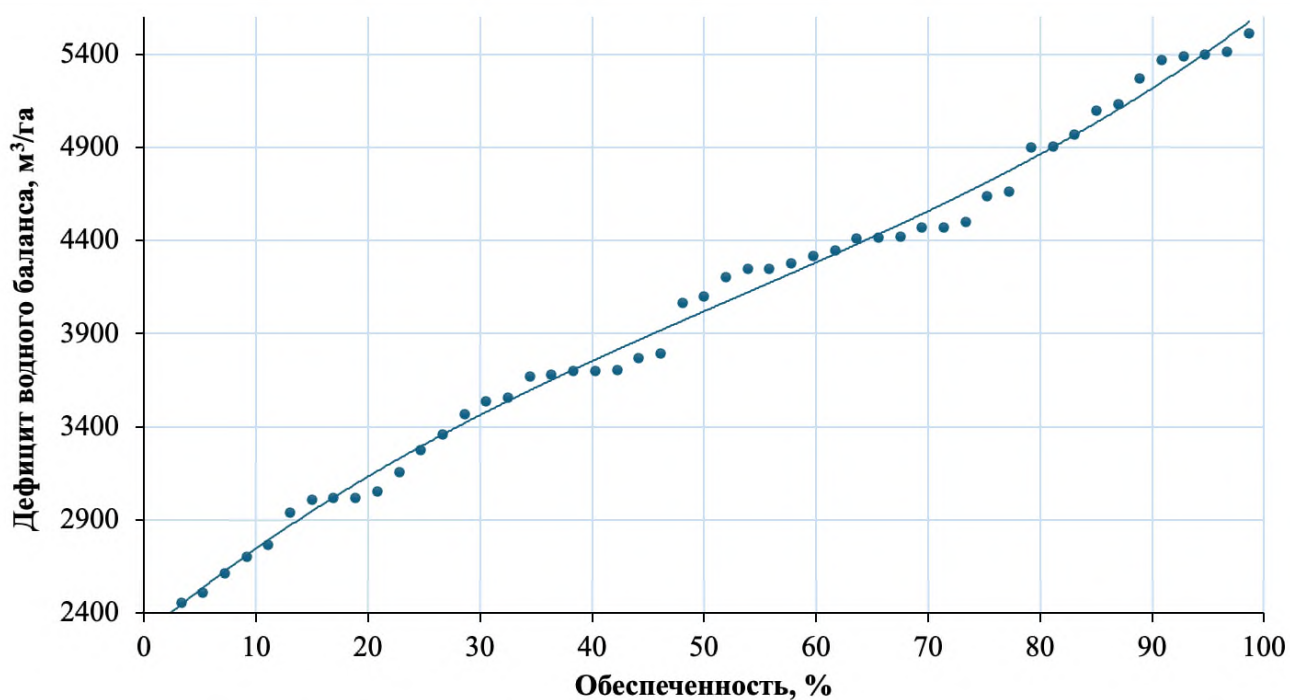


Рисунок Б.17 – Вероятностные значения дефицита водного баланса моркови в Иловлинском районе

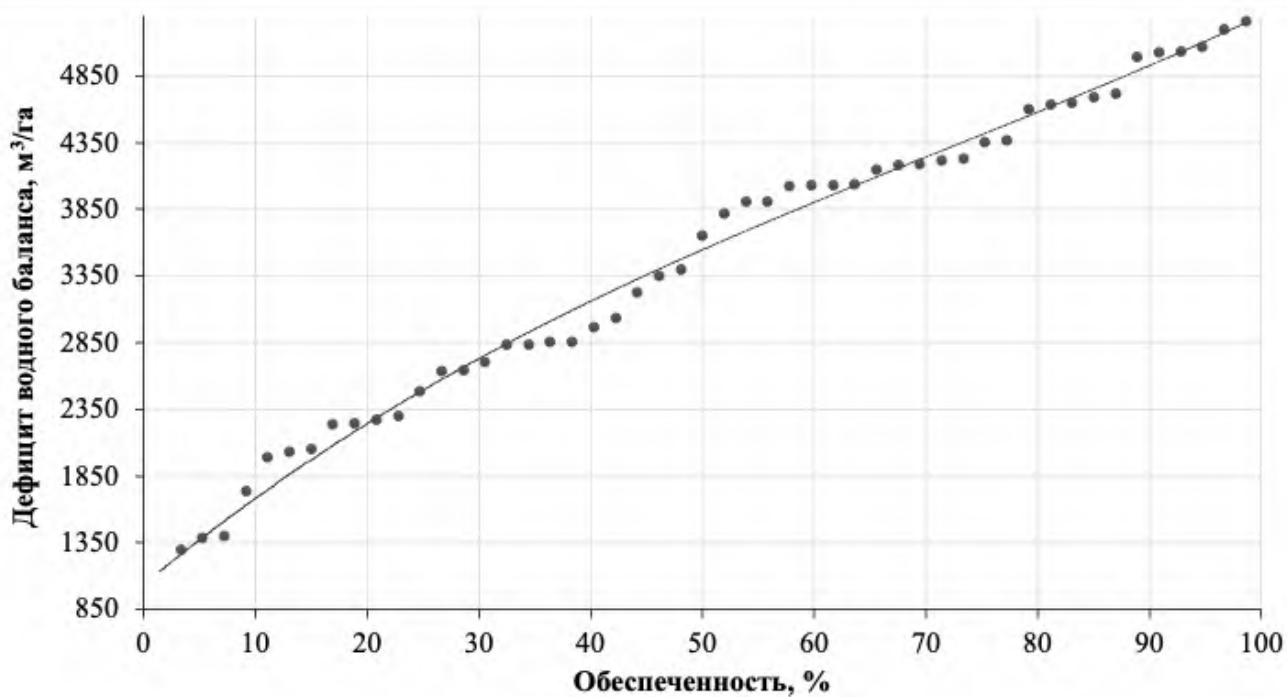


Рисунок Б.18 – Вероятностные значения дефицита водного баланса моркови в Котельниковском районе

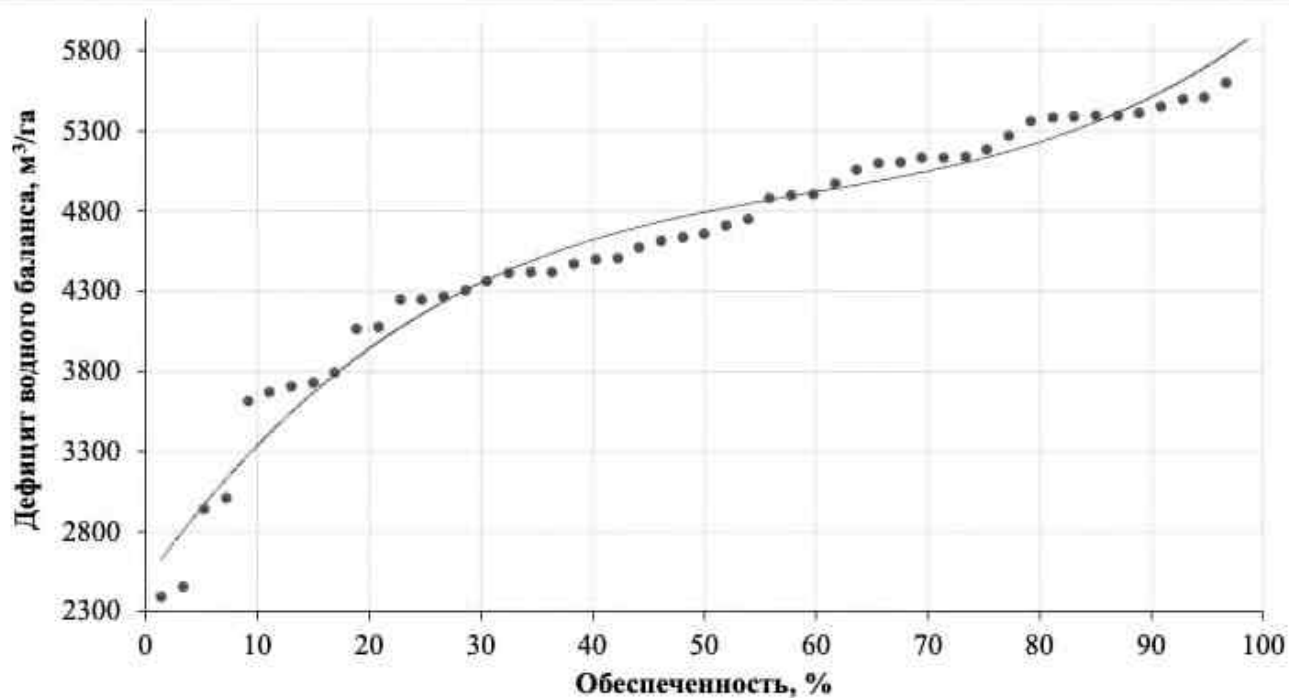


Рисунок Б.19 – Вероятностные значения дефицита водного баланса моркови в Палласовском районе

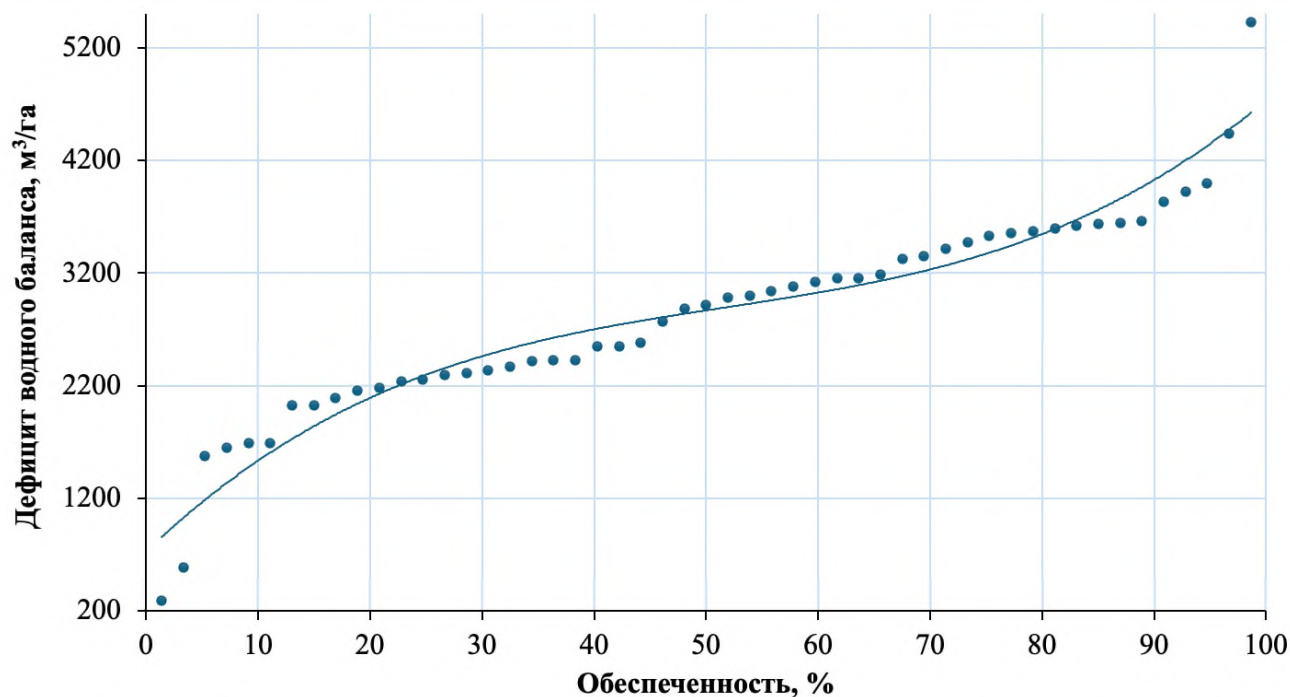


Рисунок Б.20 – Вероятностные значения дефицита водного баланса моркови в Урюпинском районе

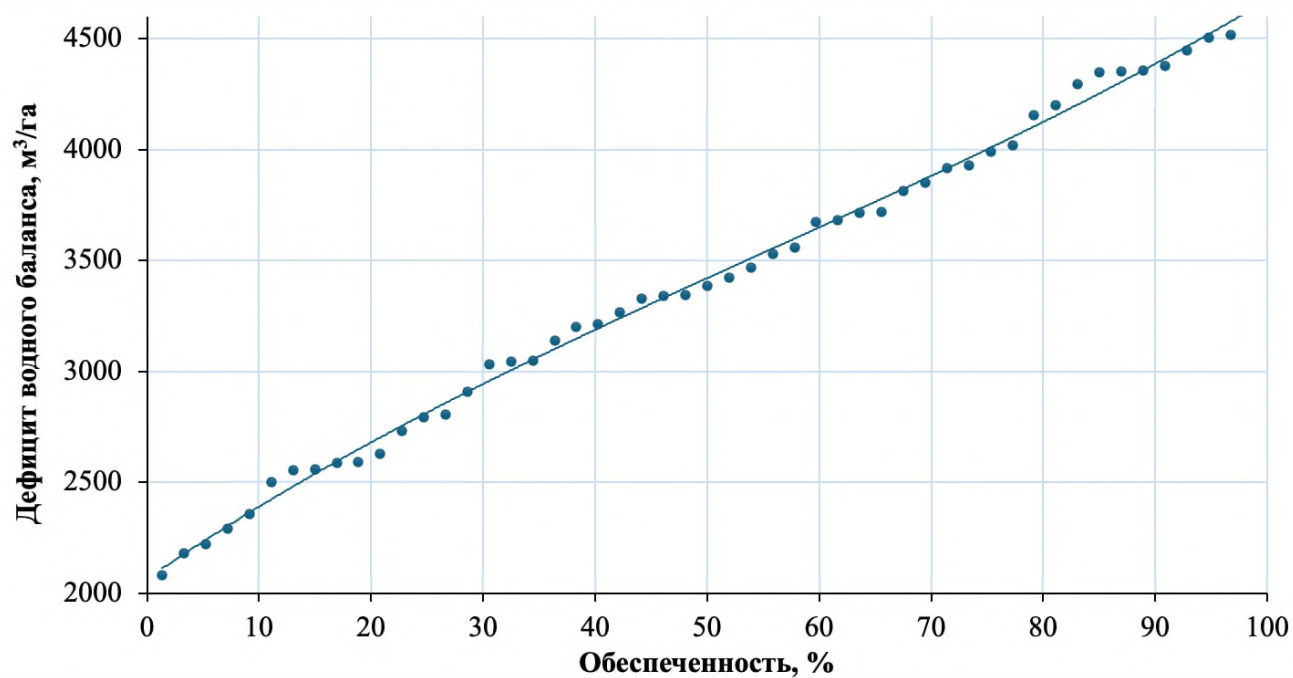


Рисунок Б.21 – Вероятностные значения дефицита водного баланса баклажана в Иловлинском районе

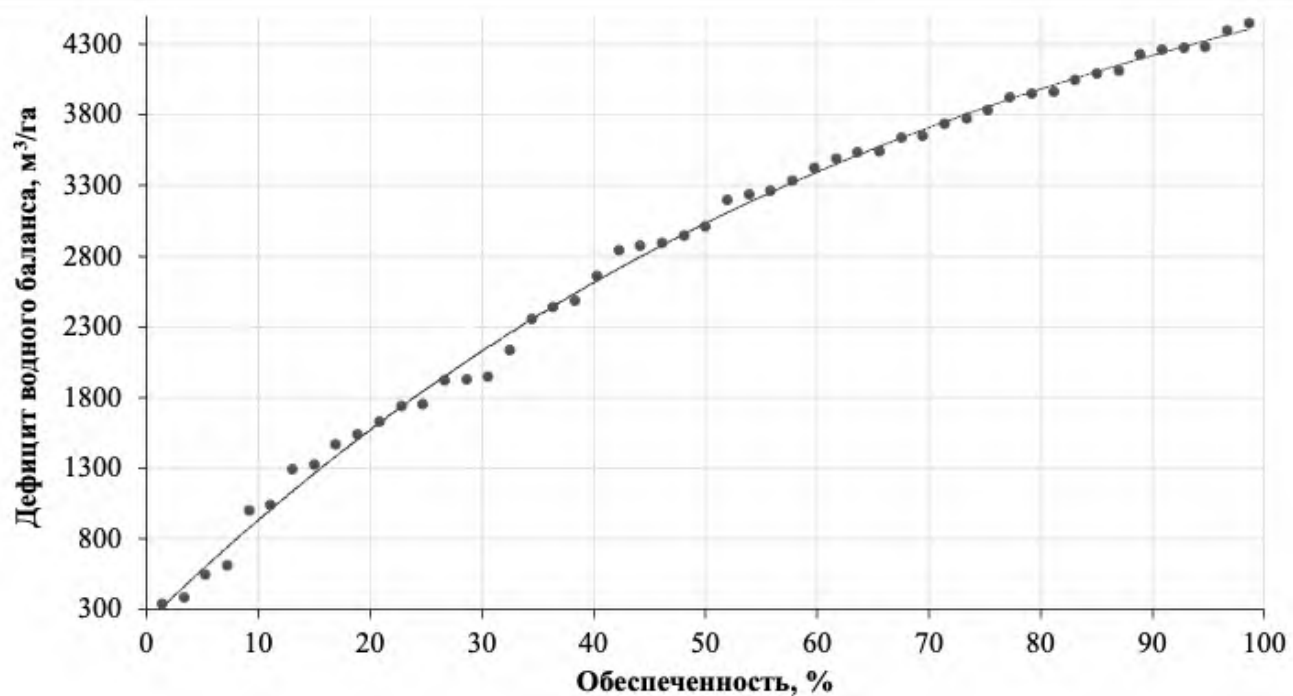


Рисунок Б.22 – Вероятностные значения дефицита водного баланса баклажана в Котельниковском районе

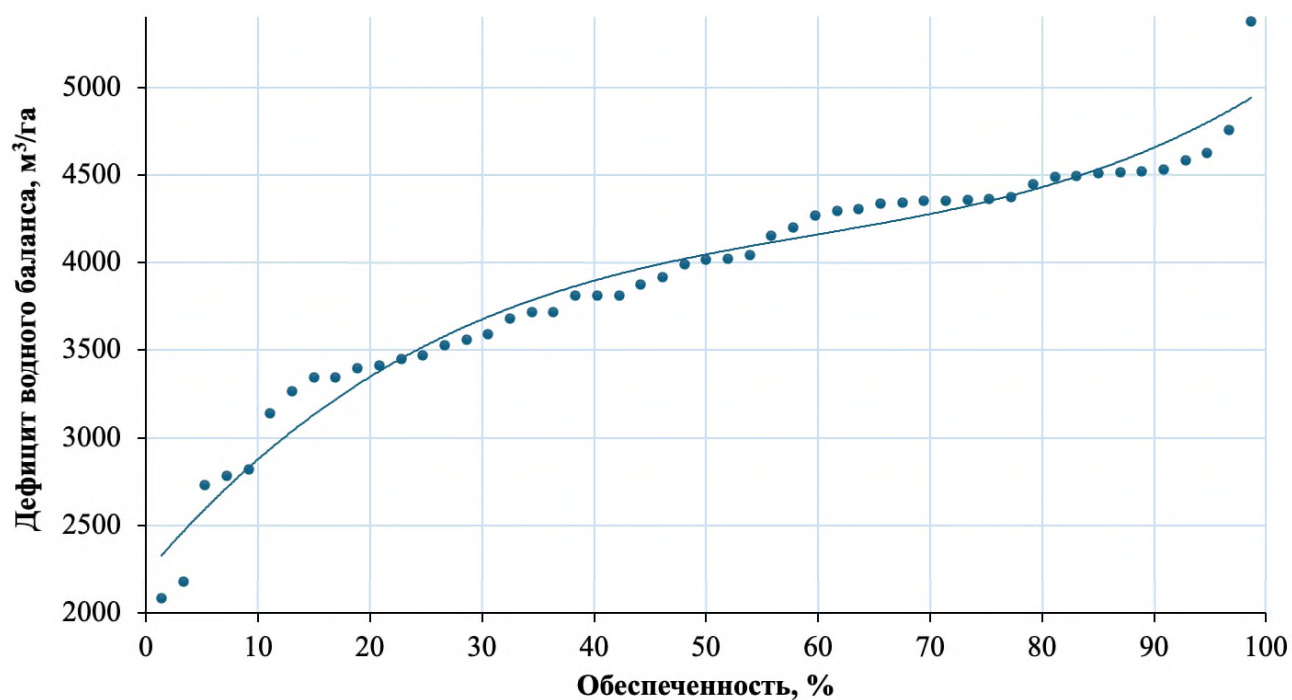


Рисунок Б.23 – Вероятностные значения дефицита водного баланса баклажана в Палласовском районе

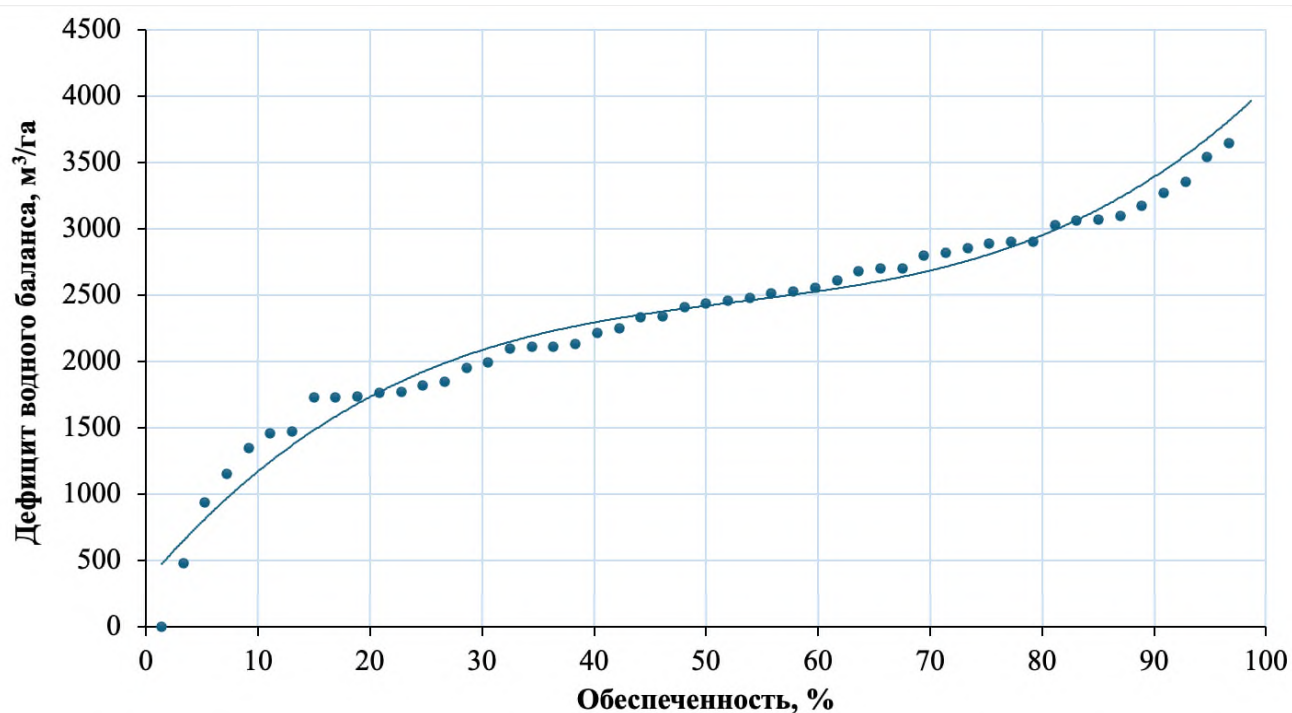


Рисунок Б.24 – Вероятностные значения дефицита водного баланса баклажана в Урюпинском районе

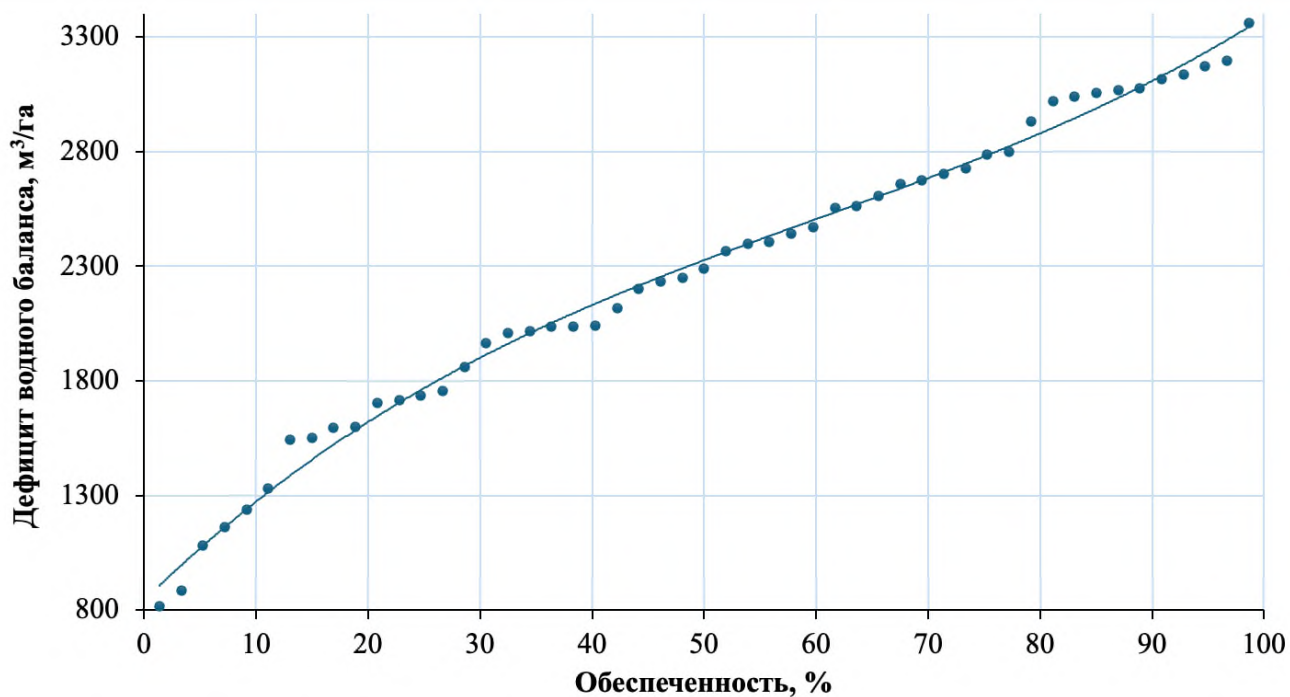


Рисунок Б.25 – Вероятностные значения дефицита водного баланса картофеля в Иловлинском районе

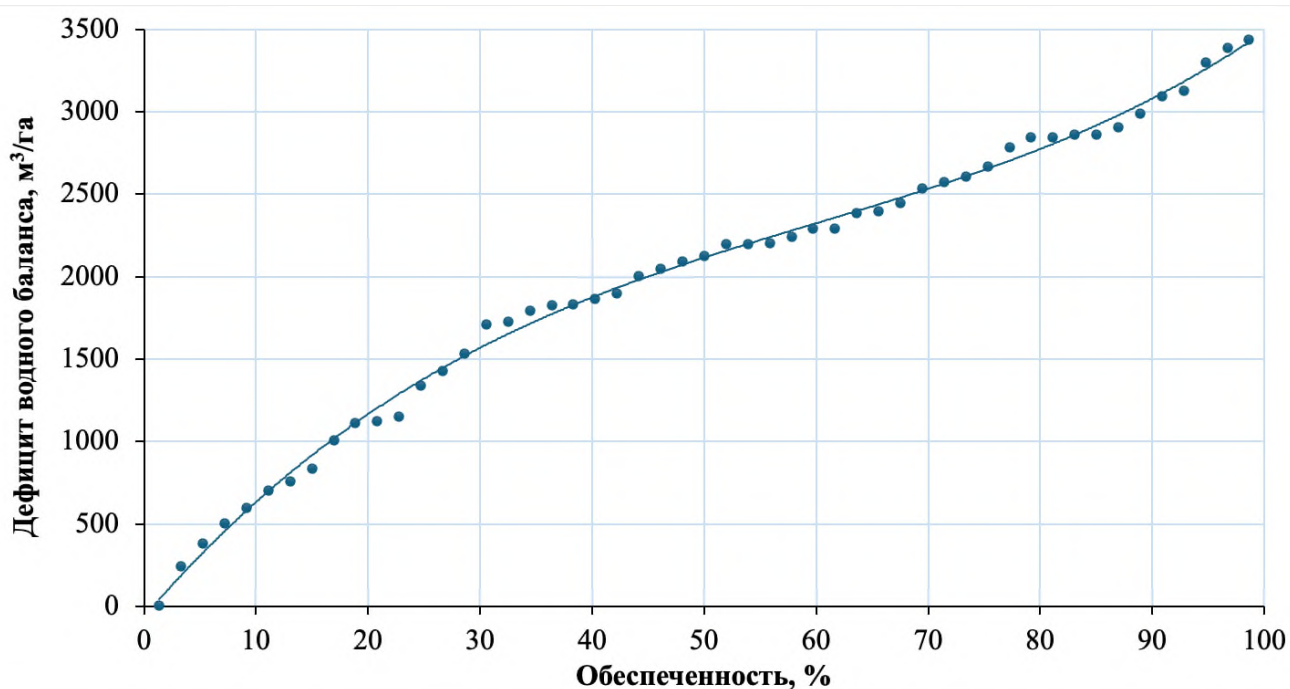


Рисунок Б.26 – Вероятностные значения дефицита водного баланса картофеля в Котельниковском районе

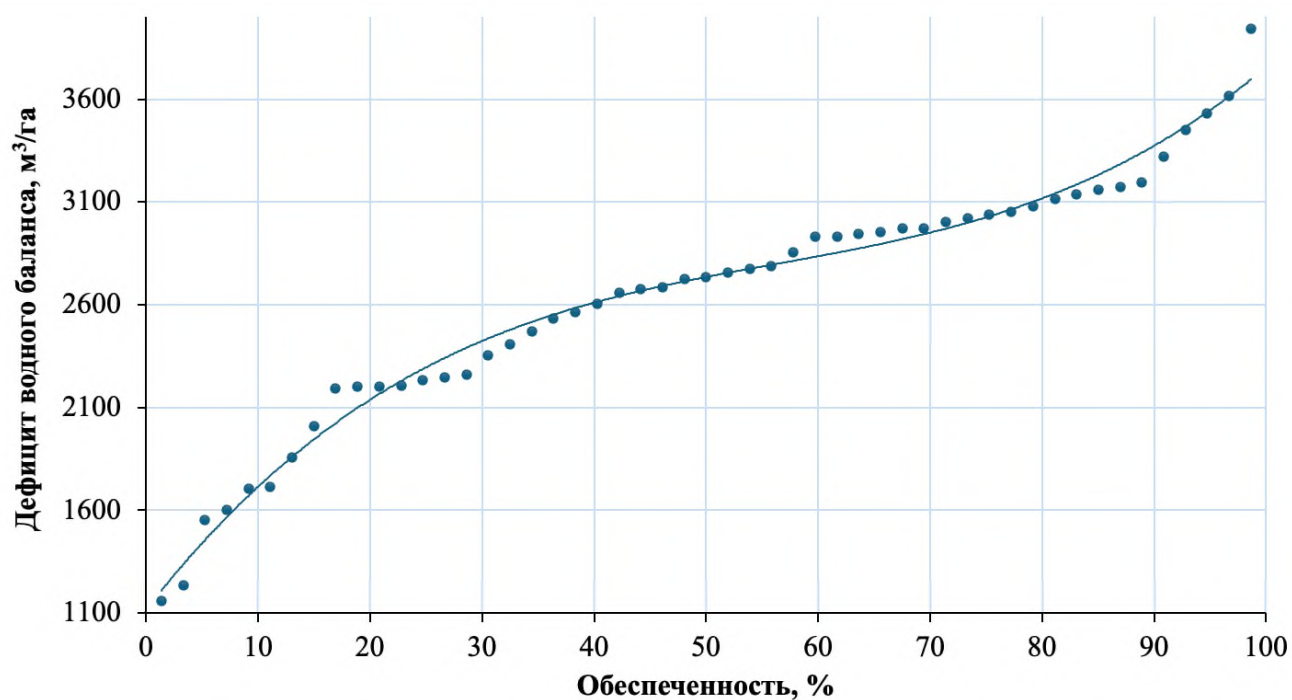


Рисунок Б.27 – Вероятностные значения дефицита водного баланса картофеля в Палласовском районе

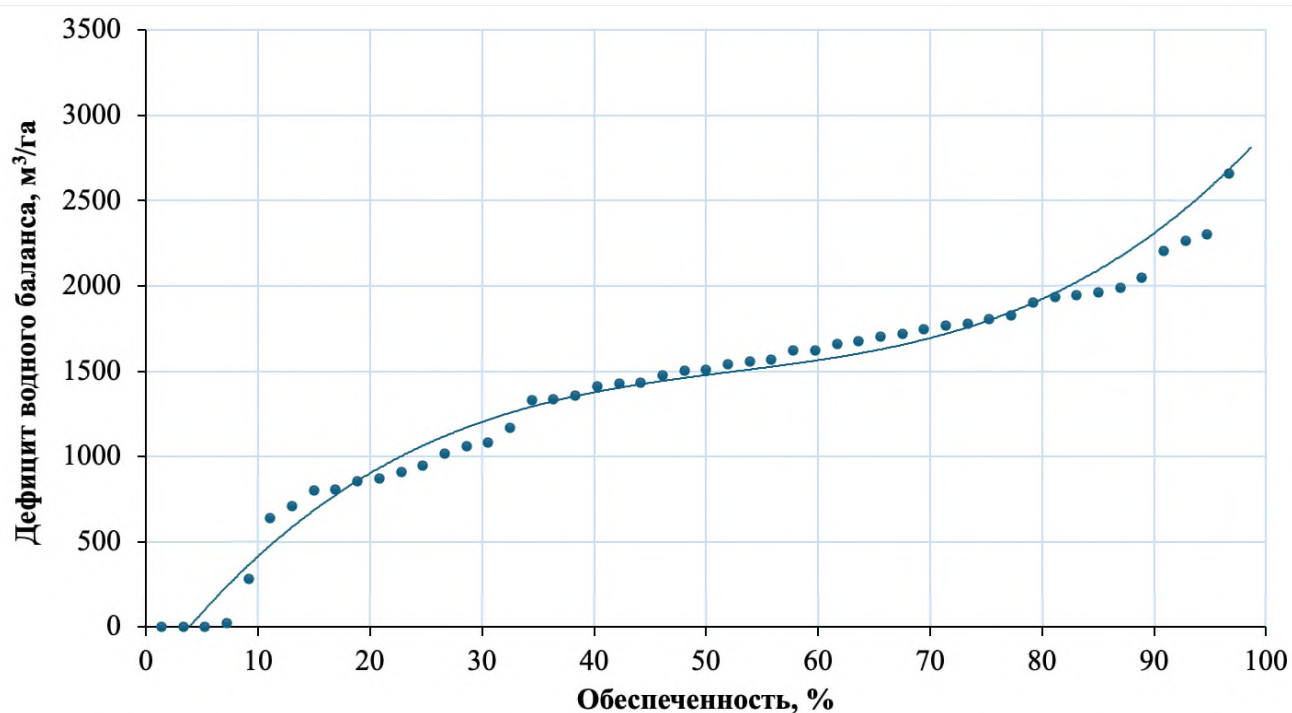


Рисунок Б.28 – Вероятностные значения дефицита водного баланса картофеля в Урюпинском районе

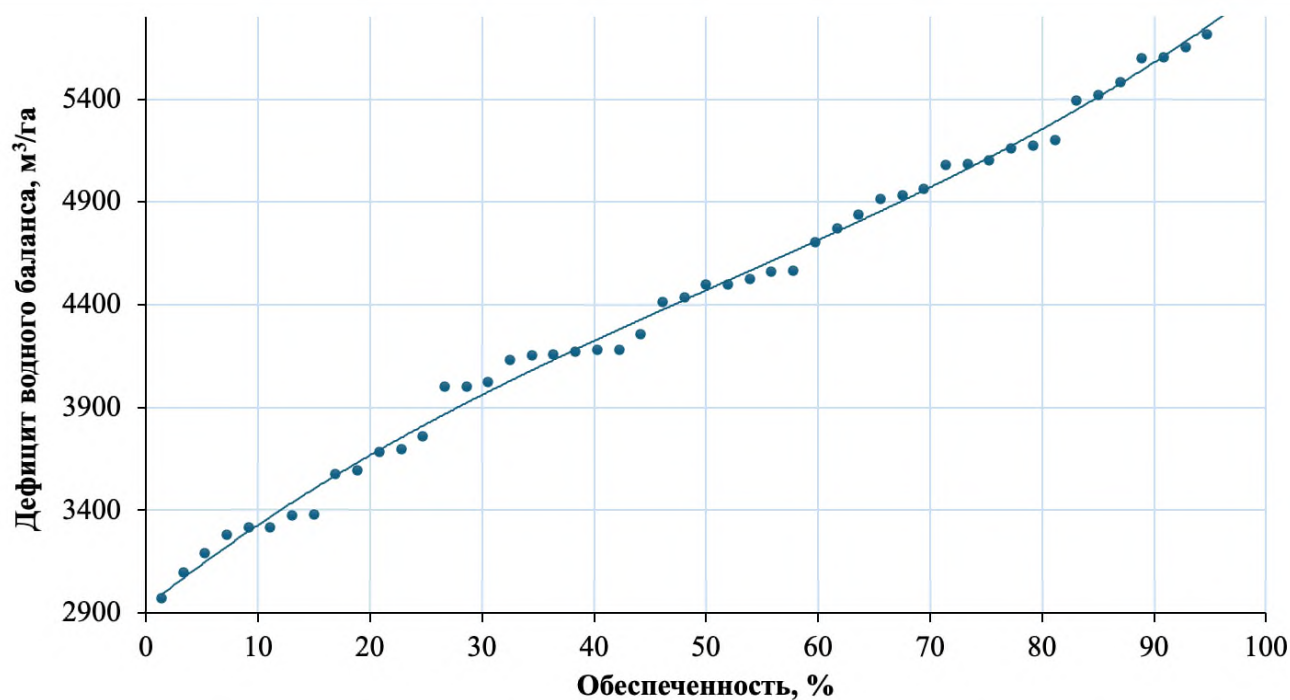


Рисунок Б.29 – Вероятностные значения дефицита водного баланса томата в Иловлинском районе

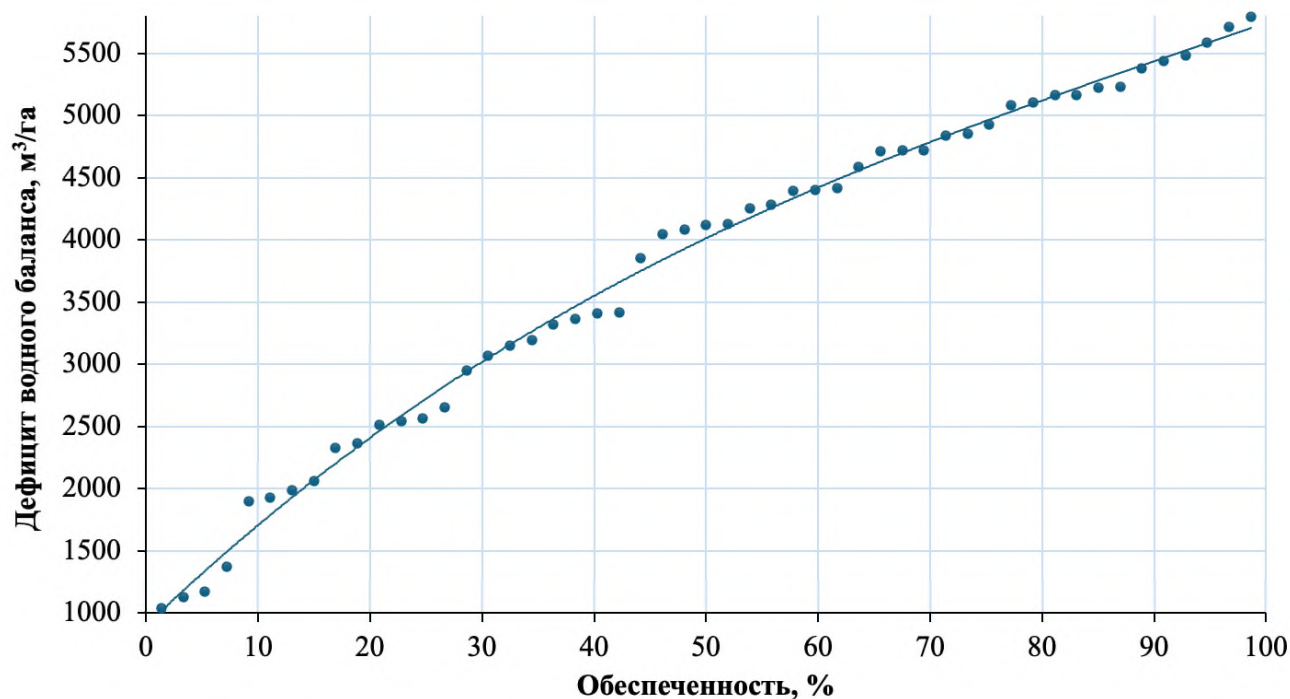


Рисунок Б.30 – Вероятностные значения дефицита водного баланса томата в Котельниковском районе

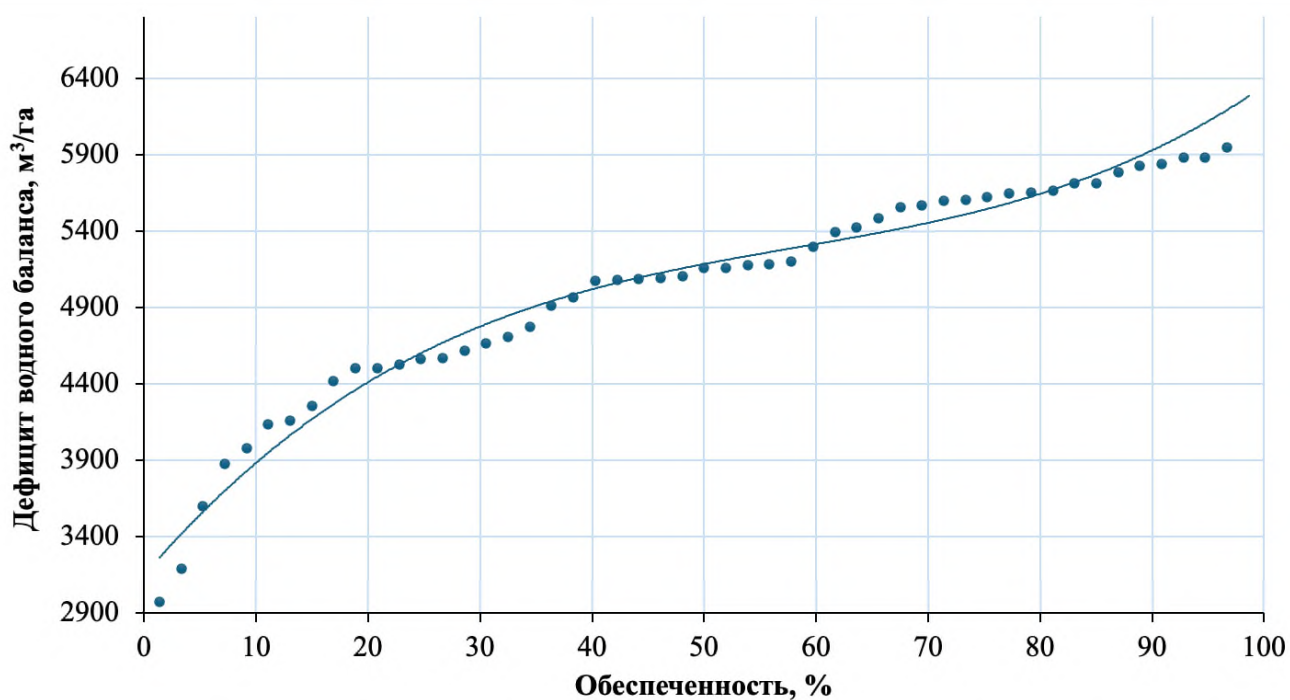


Рисунок Б.31 – Вероятностные значения дефицита водного баланса томата в Палласовском районе

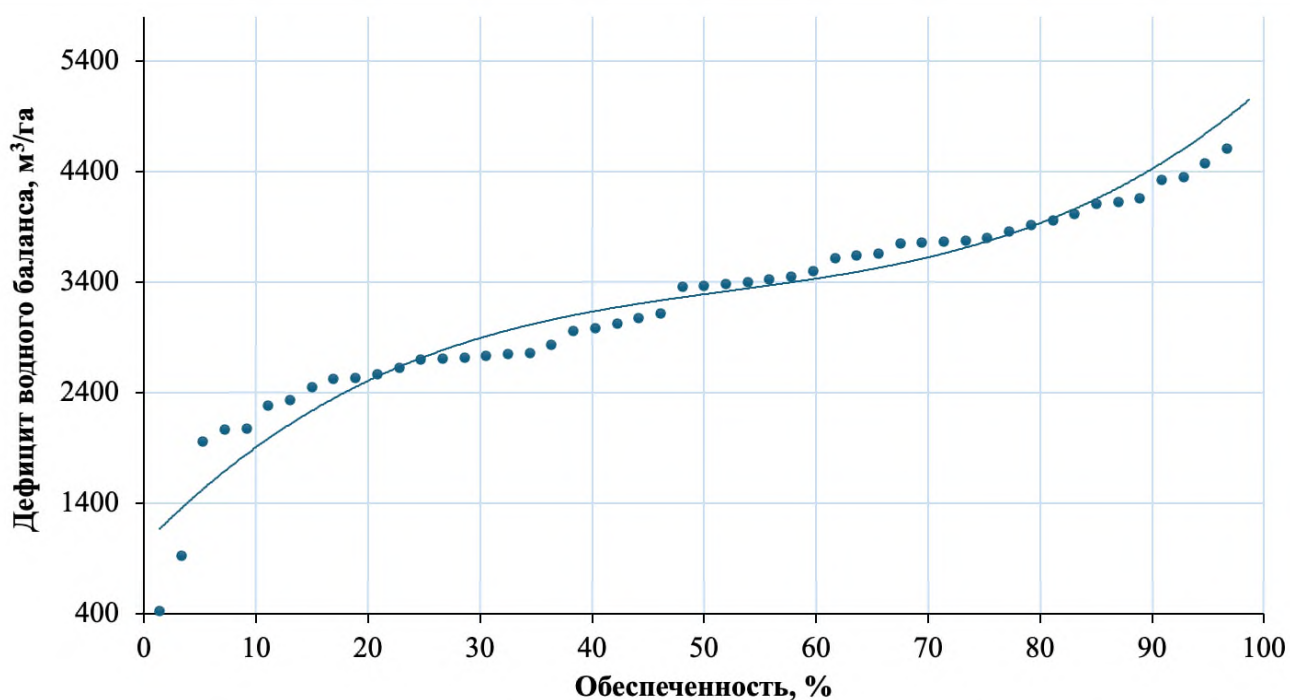


Рисунок Б.32 – Вероятностные значения дефицита водного баланса томата в Урюпинском районе

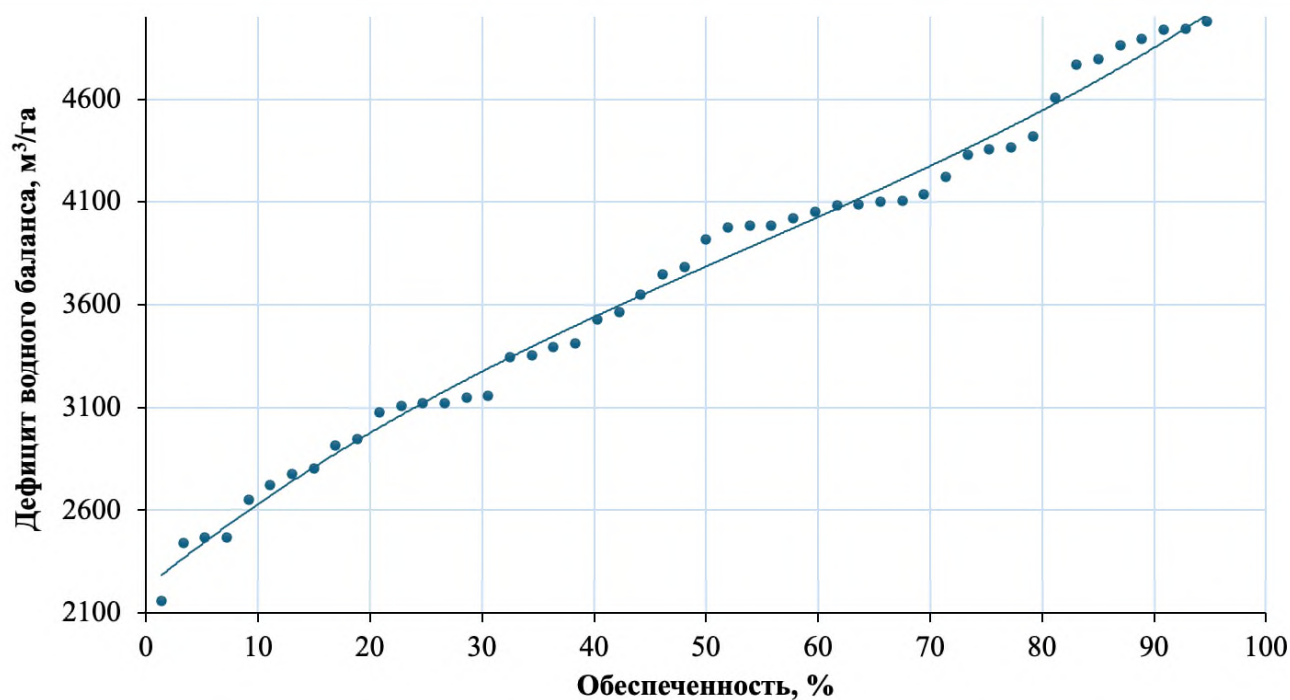


Рисунок Б.33 – Вероятностные значения дефицита водного баланса перца сладкого в Иловлинском районе

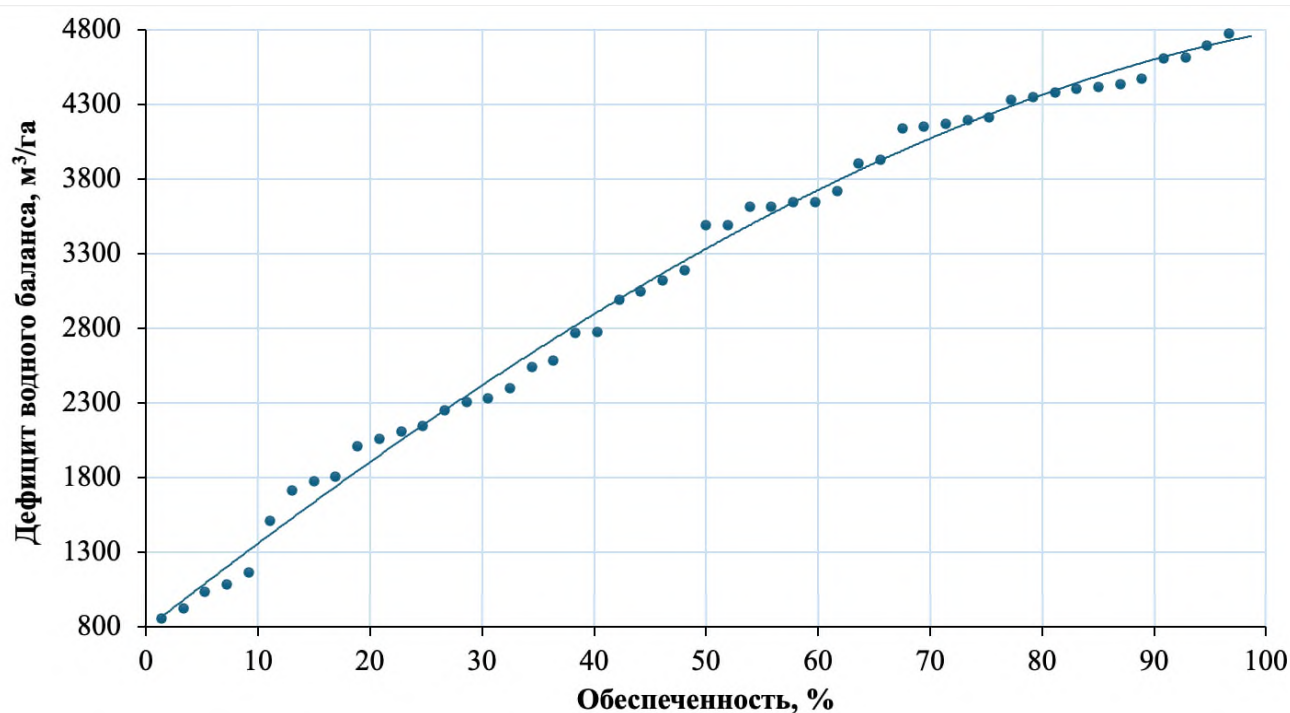


Рисунок Б.34 – Вероятностные значения дефицита водного баланса перца сладкого в Котельниковском районе

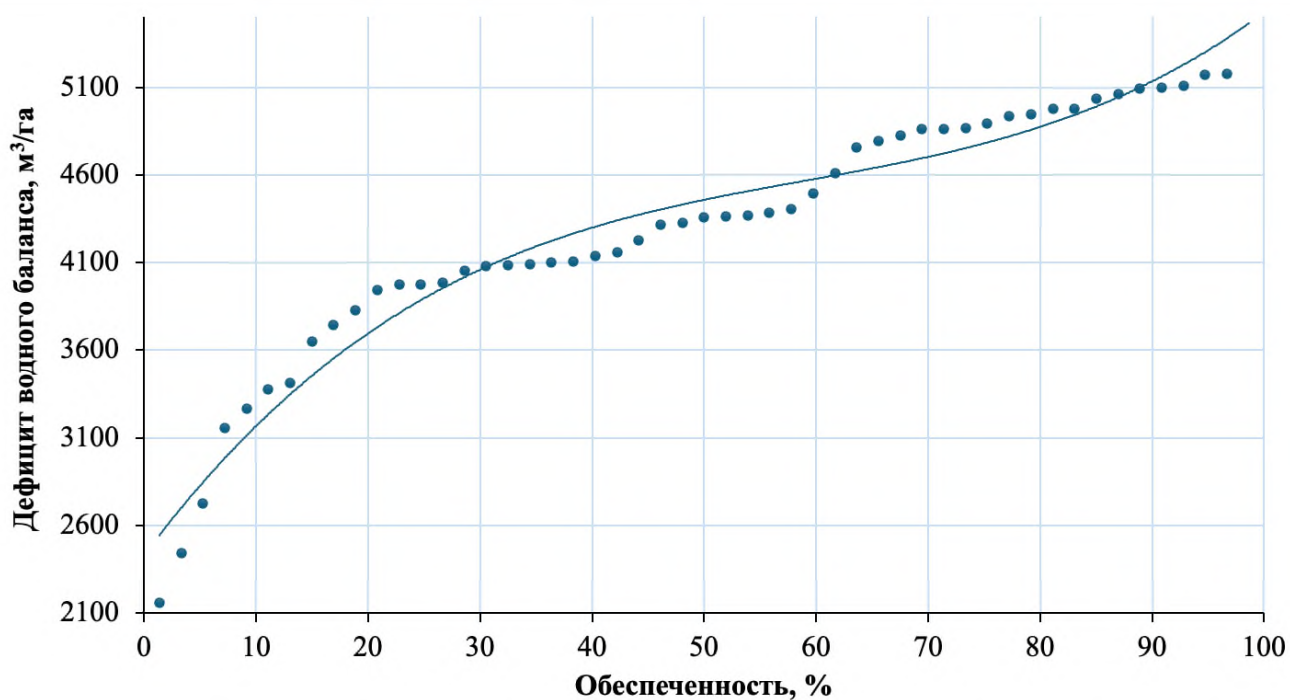


Рисунок Б.35 – Вероятностные значения дефицита водного баланса перца сладкого в Палласовском районе

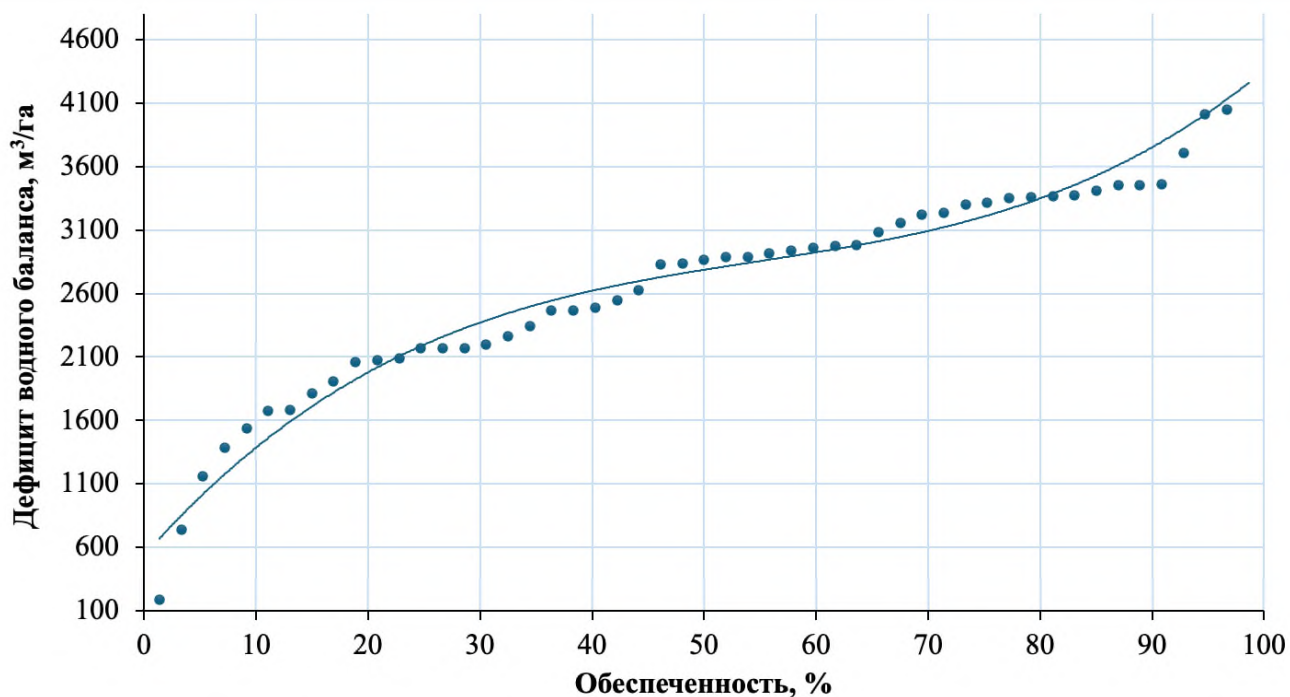


Рисунок Б.36 – Вероятностные значения дефицита водного баланса перца сладкого в Урюпинском районе

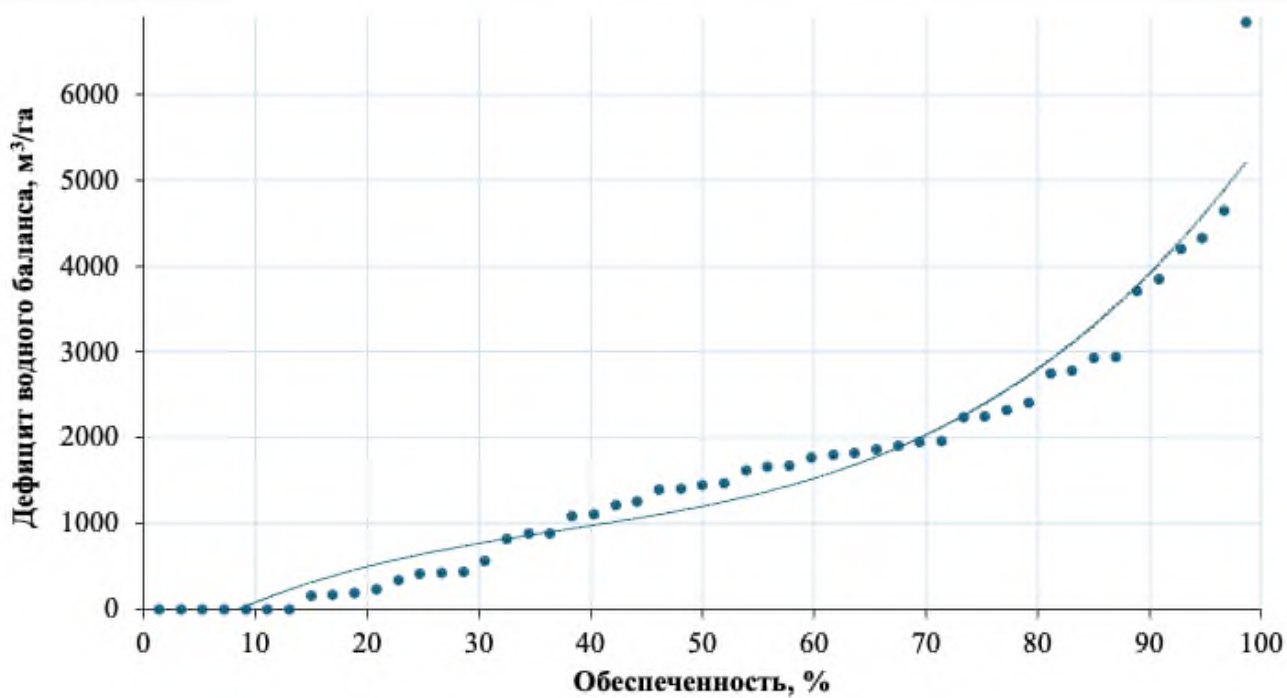


Рисунок Б.37 – Вероятностные значения дефицита водного баланса сои в Иловлинском районе

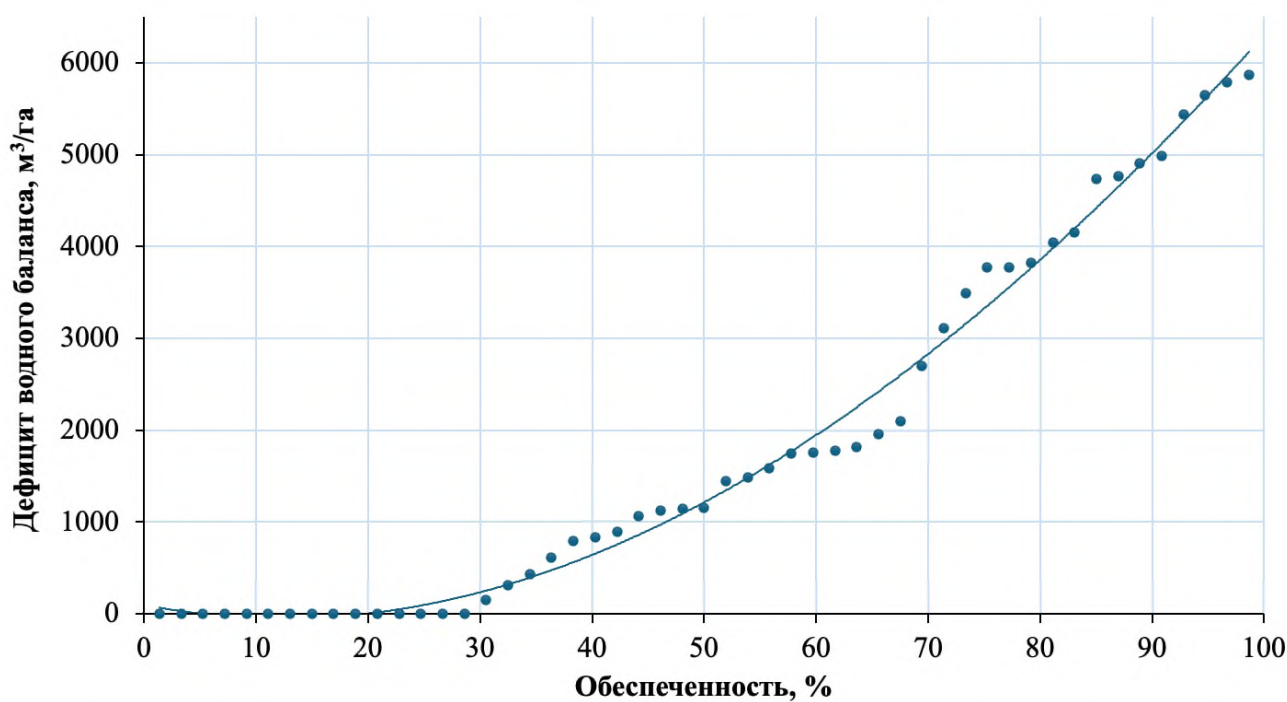


Рисунок Б.38 – Вероятностные значения дефицита водного баланса сои в Котельниковском районе

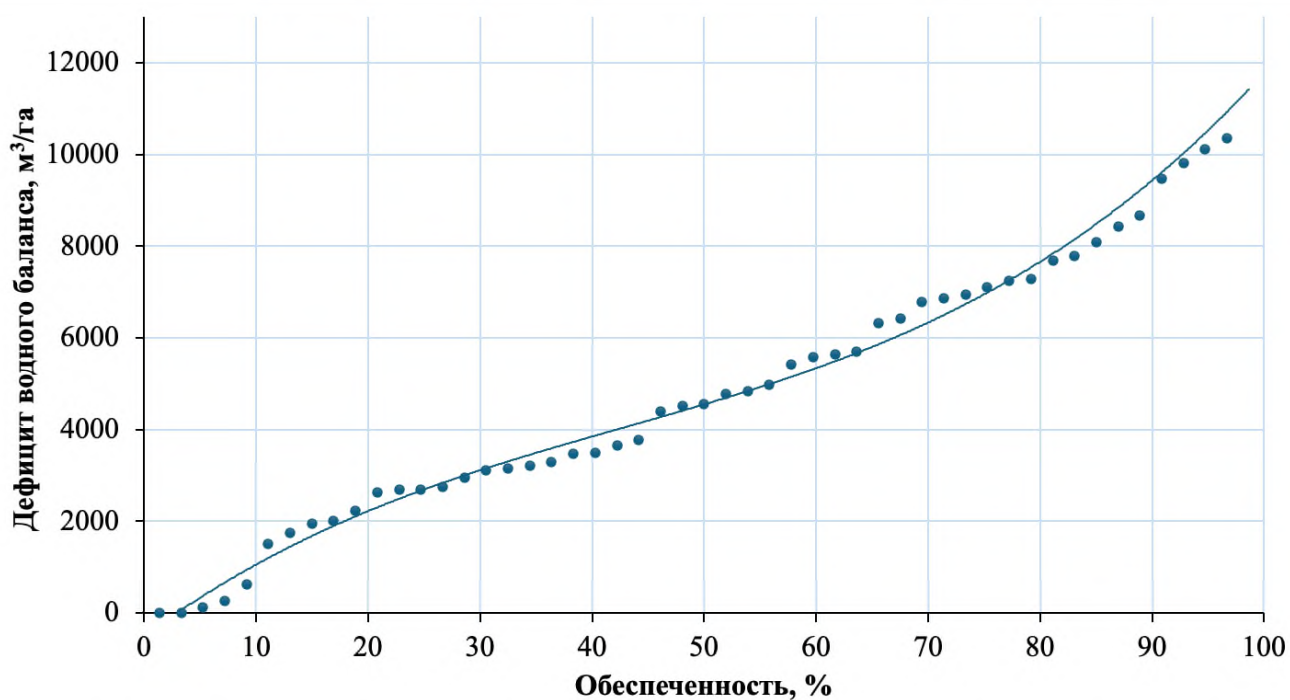


Рисунок Б.39 – Вероятностные значения дефицита водного баланса сои в Палласовском районе

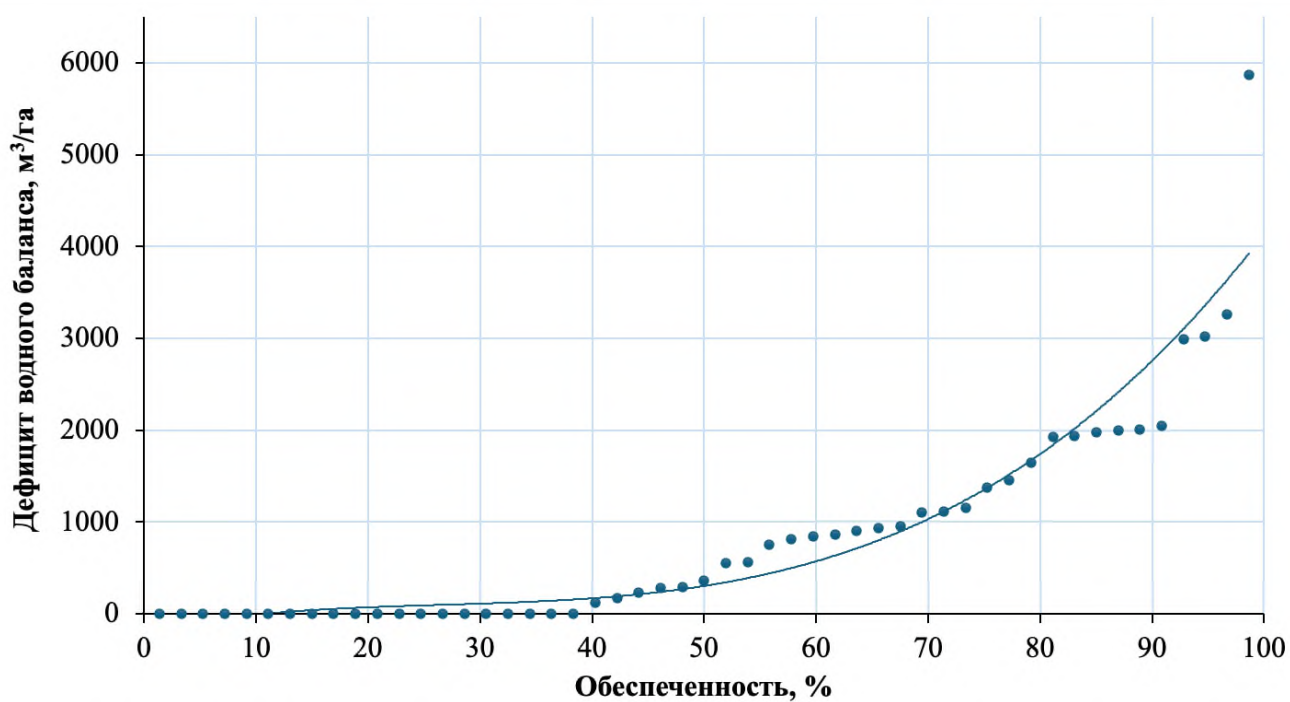


Рисунок Б.40 – Вероятностные значения дефицита водного баланса сои в Урюпинском районе

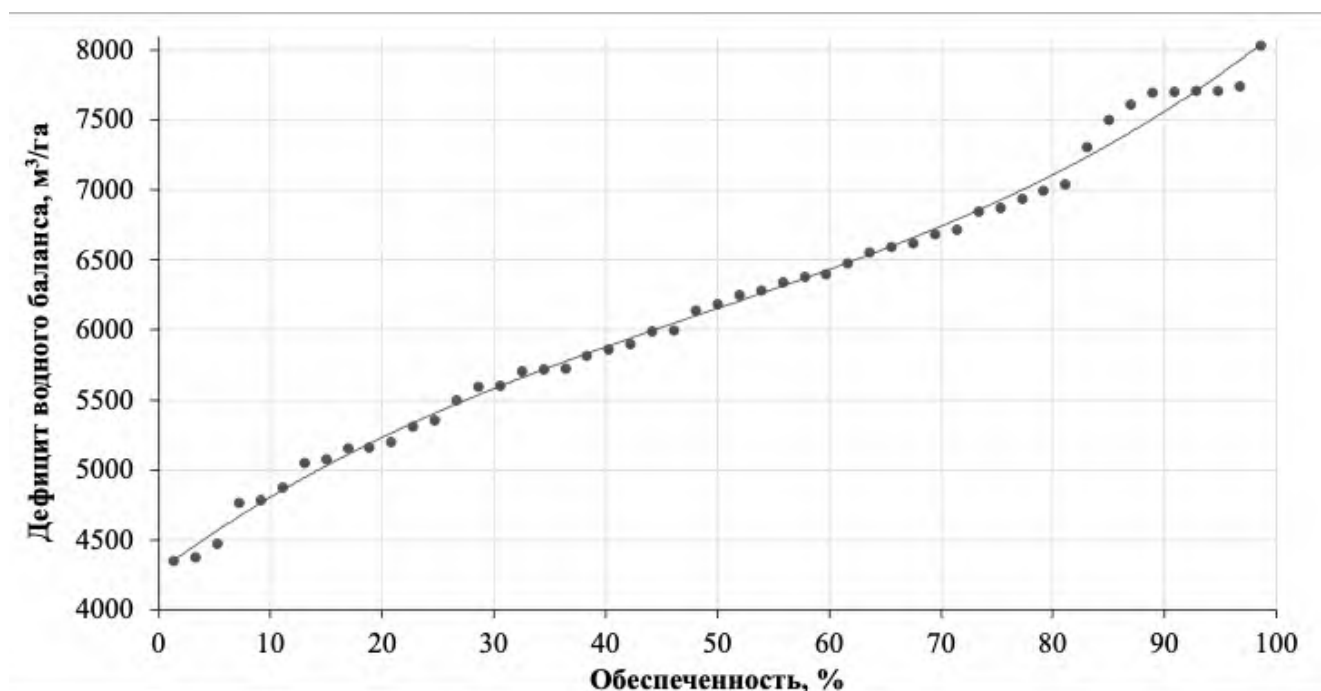


Рисунок Б.41 – Вероятностные значения дефицита водного баланса риса в Иловлинском районе

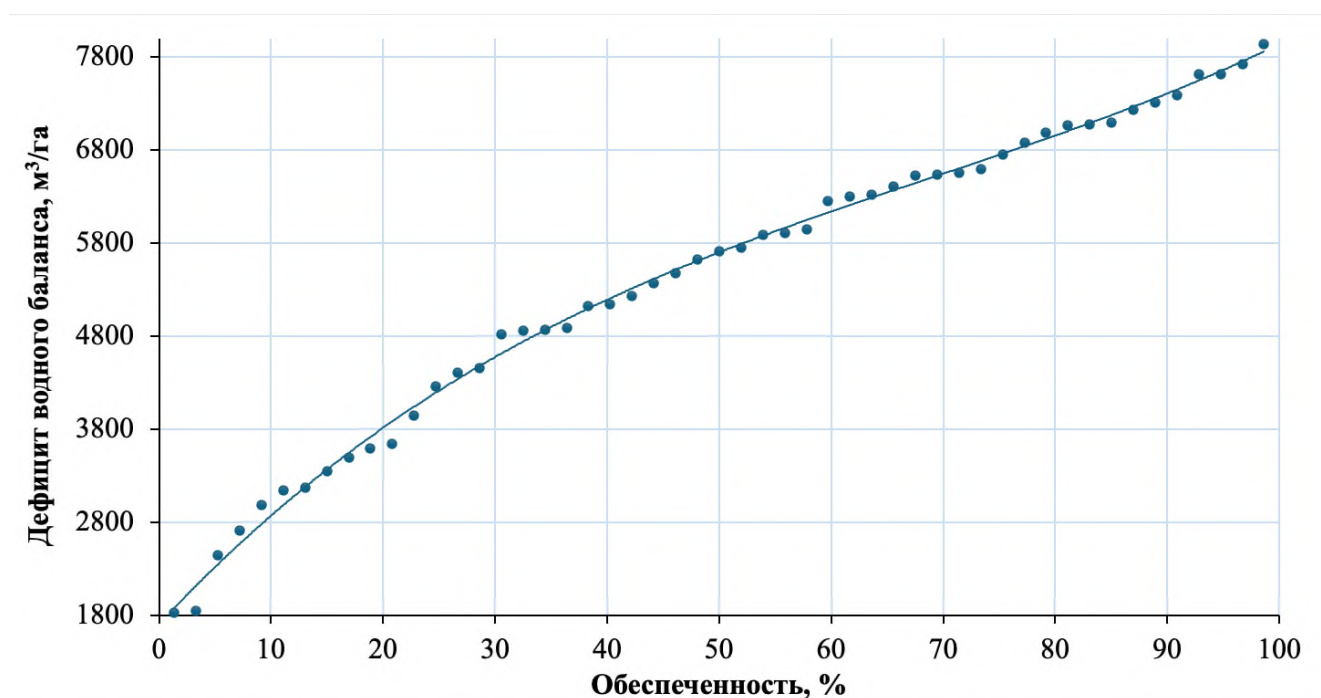


Рисунок Б.42 – Вероятностные значения дефицита водного баланса риса в Котельниковском районе

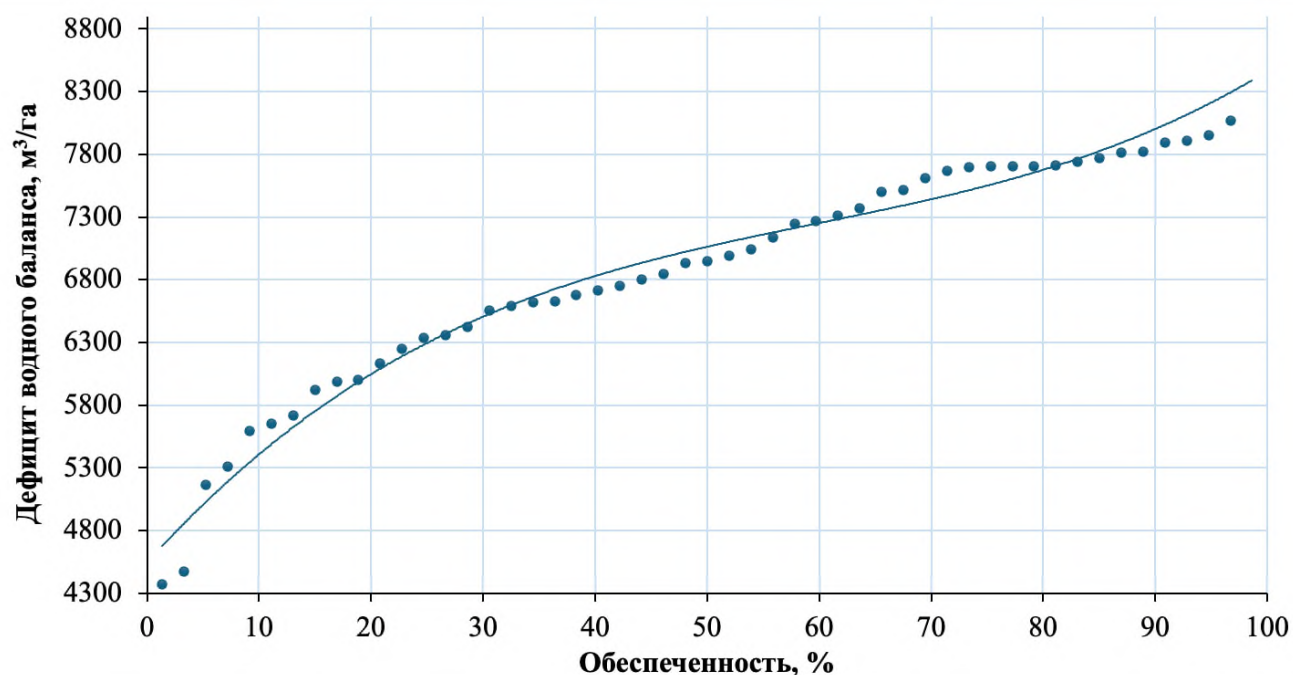


Рисунок Б.43– Вероятностные значения дефицита водного баланса риса в Палласовском районе

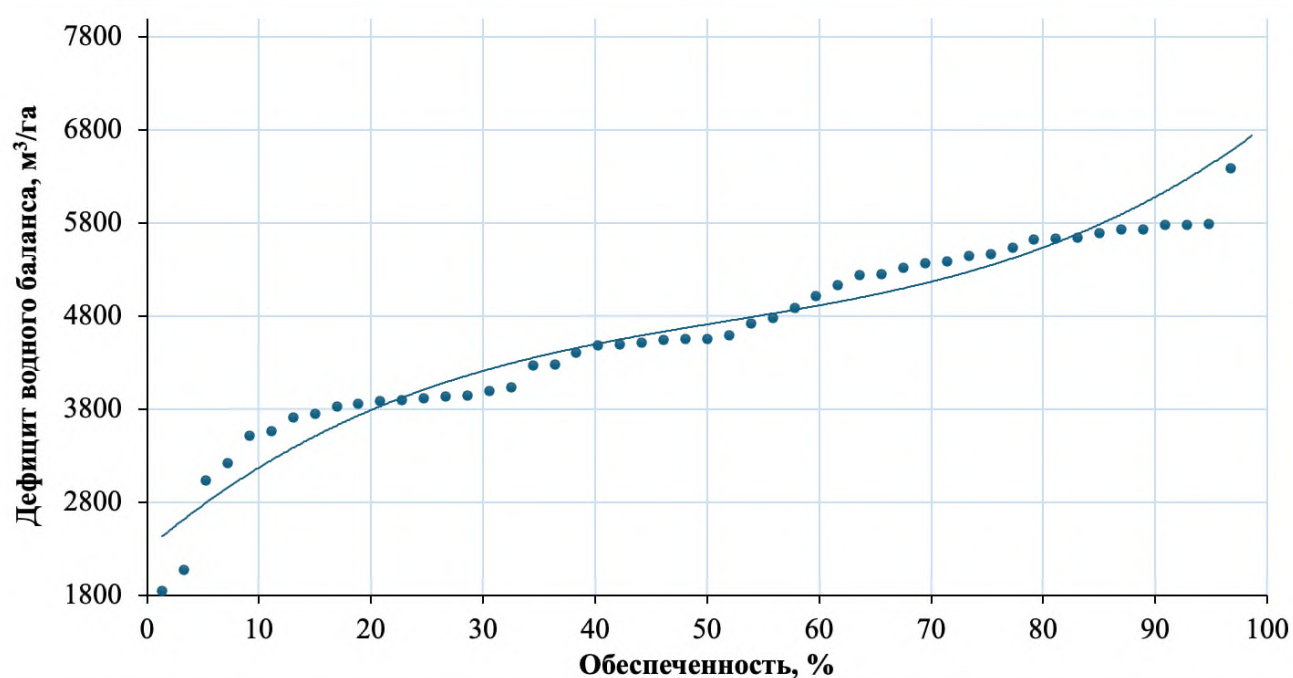


Рисунок Б.44 – Вероятностные значения дефицита водного баланса риса в Урюпинском районе

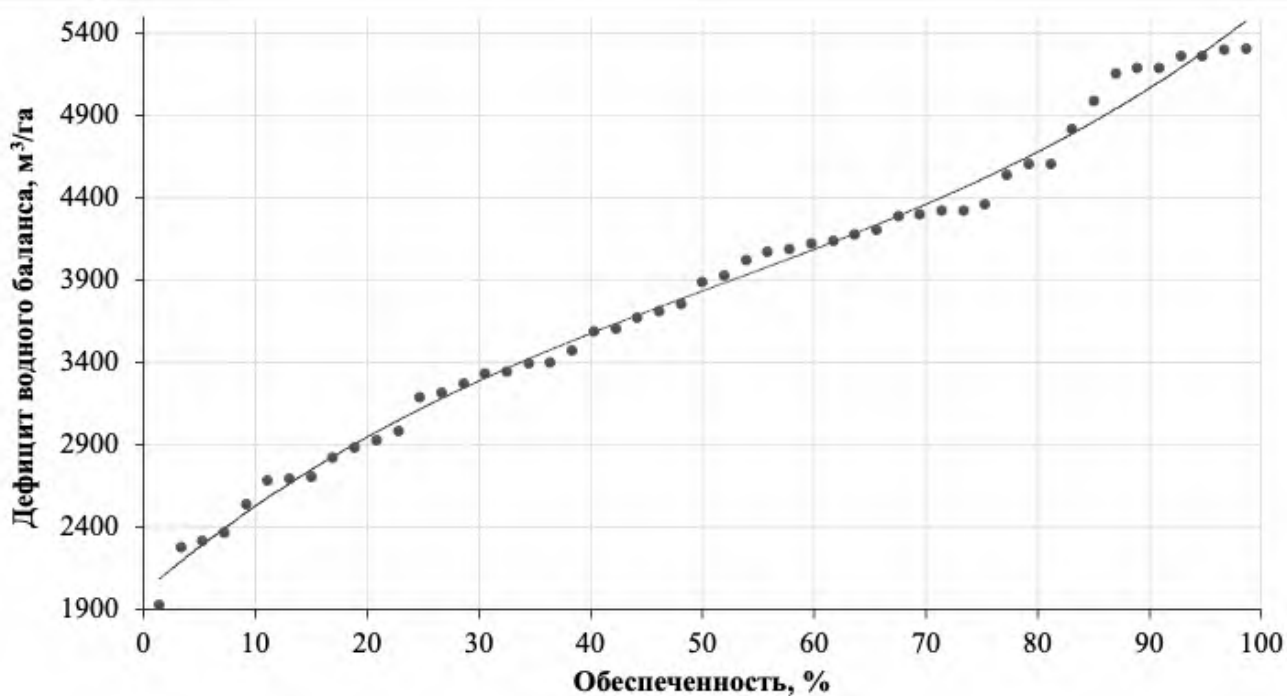


Рисунок Б.45 – Вероятностные значения дефицита водного баланса кукурузы зерновой в Иловлинском районе

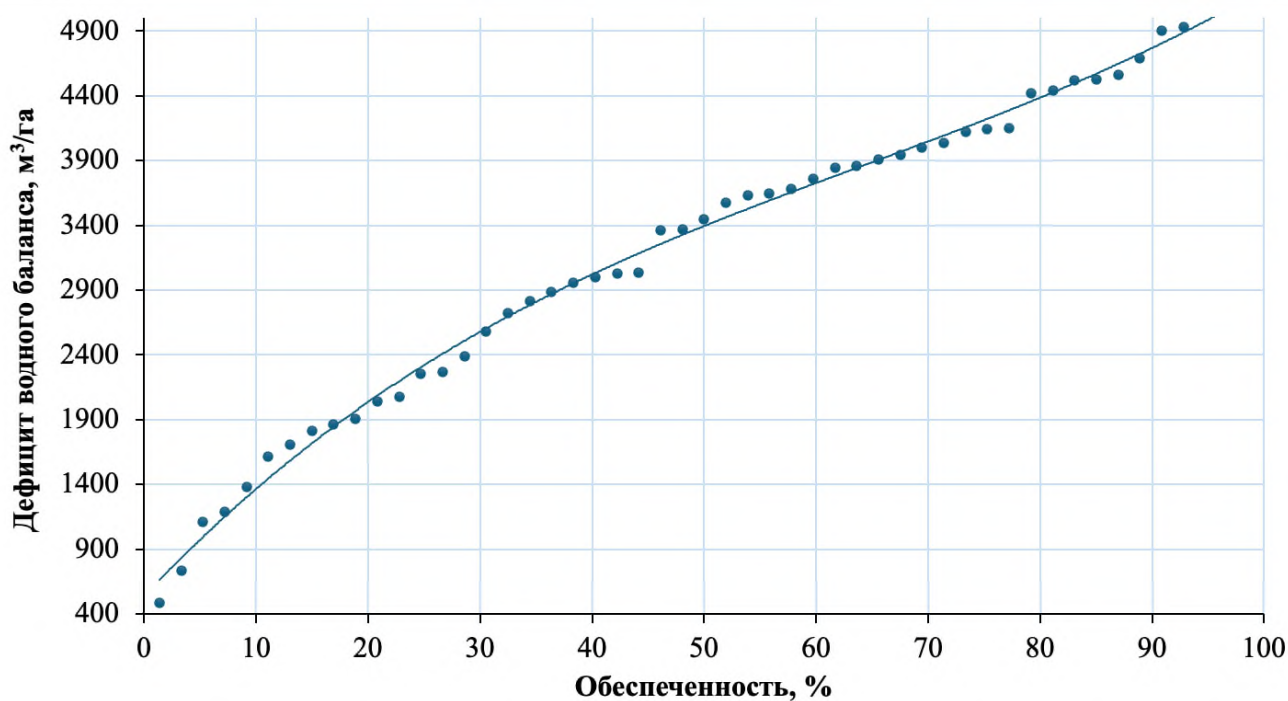


Рисунок Б.46 – Вероятностные значения дефицита водного баланса кукурузы зерновой в Котельниковском районе

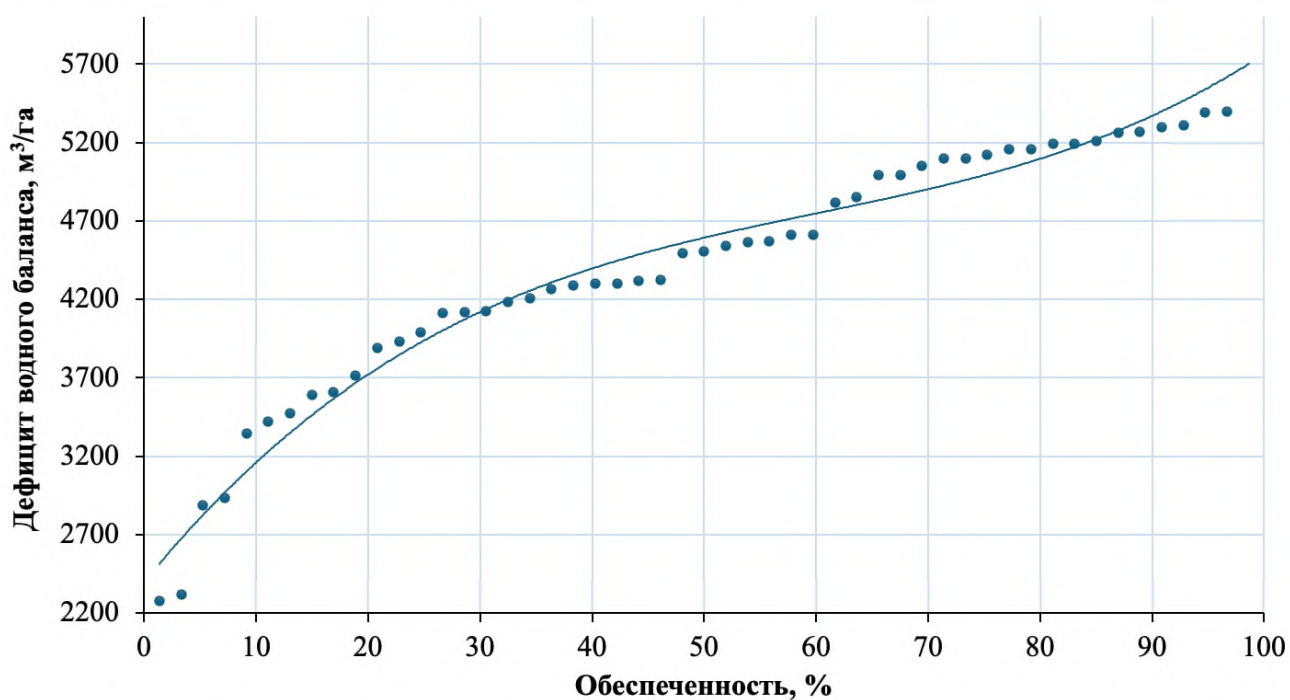


Рисунок Б.47– Вероятностные значения дефицита водного баланса кукурузы зерновой в Палласовском районе

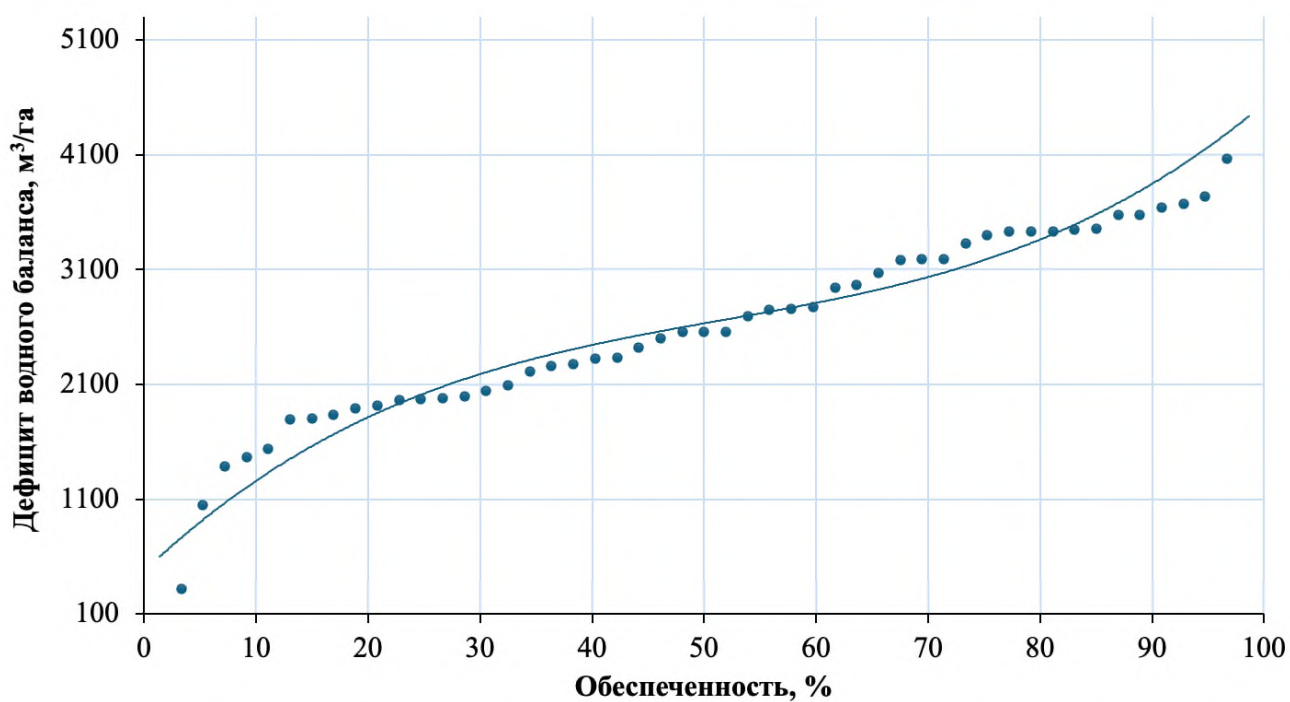


Рисунок Б.48 – Вероятностные значения дефицита водного баланса кукурузы зерновой в Урюпинском районе

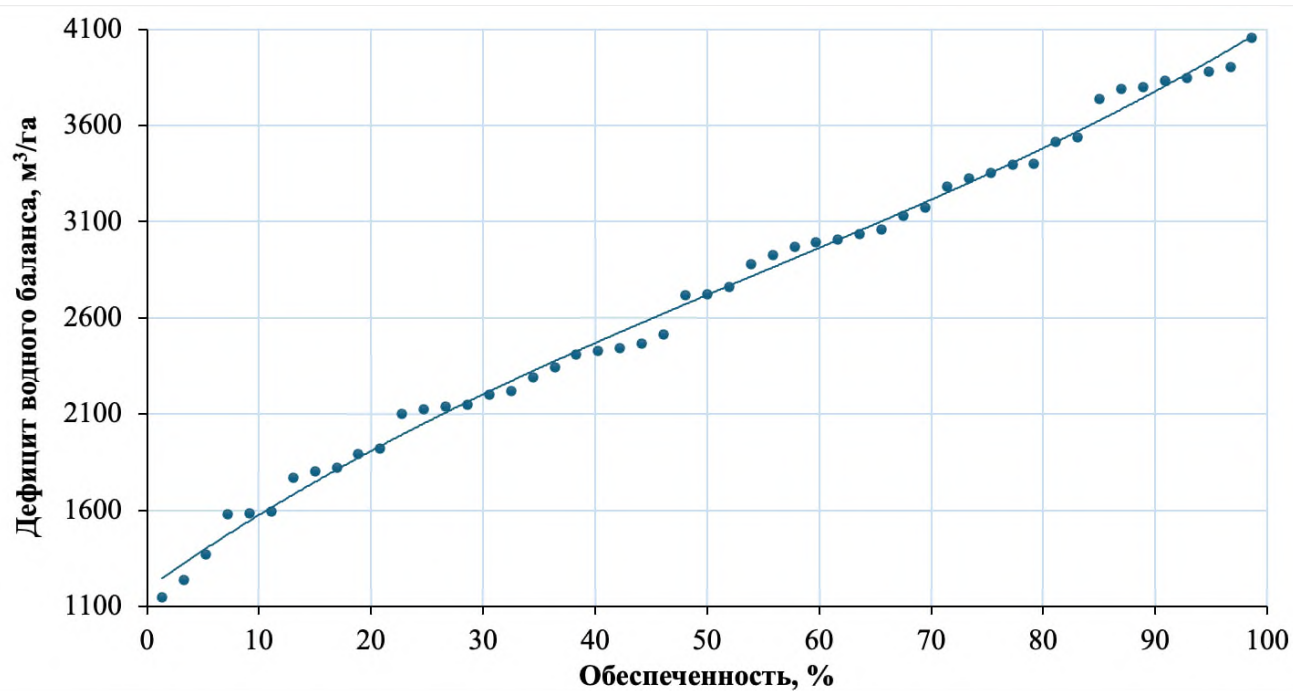


Рисунок Б.45 – Вероятностные значения дефицита водного баланса сорго зернового в Иловлинском районе

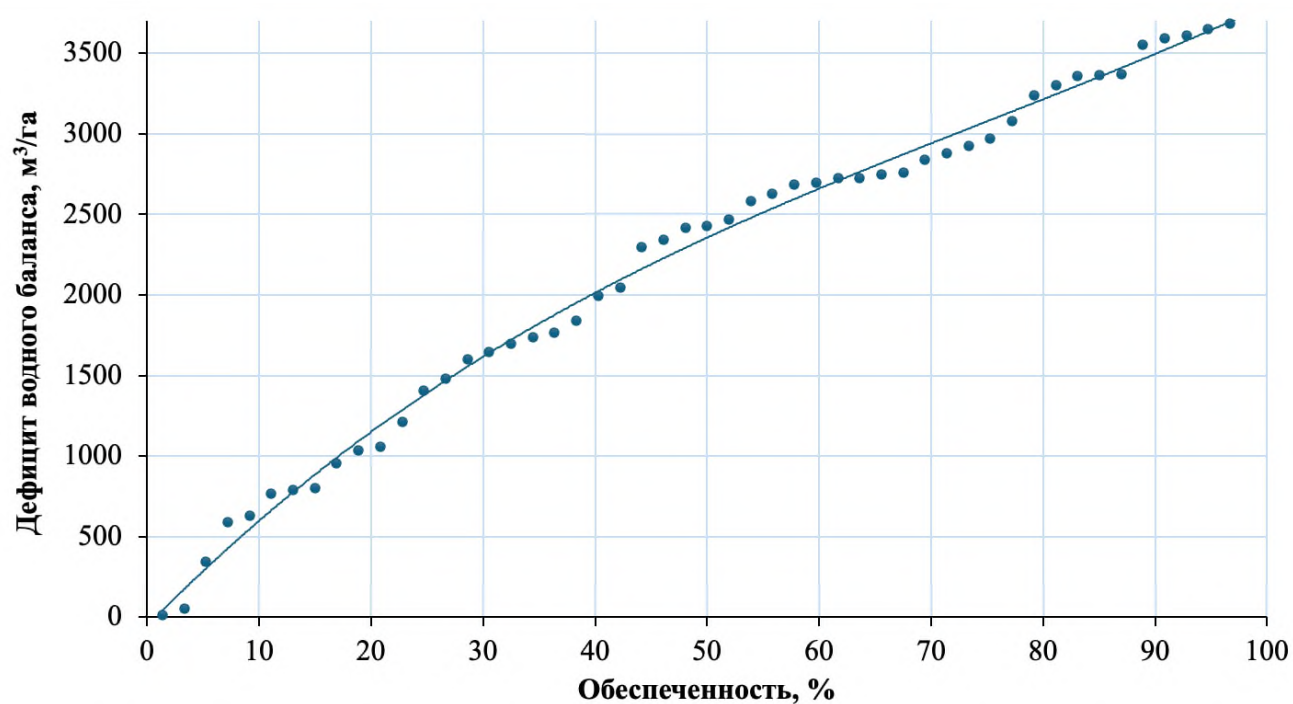


Рисунок Б.46 – Вероятностные значения дефицита водного баланса сорго зернового в Котельниковском районе

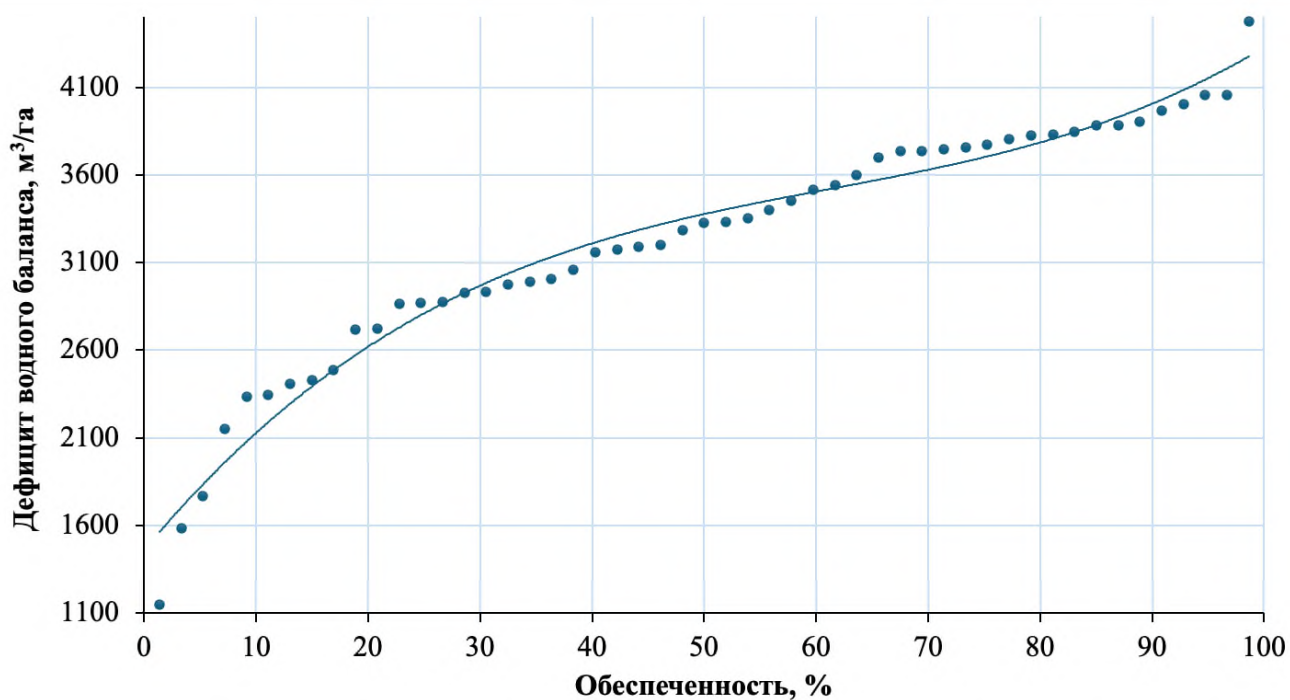


Рисунок Б.47– Вероятностные значения дефицита водного баланса сорго зернового в Палласовском районе

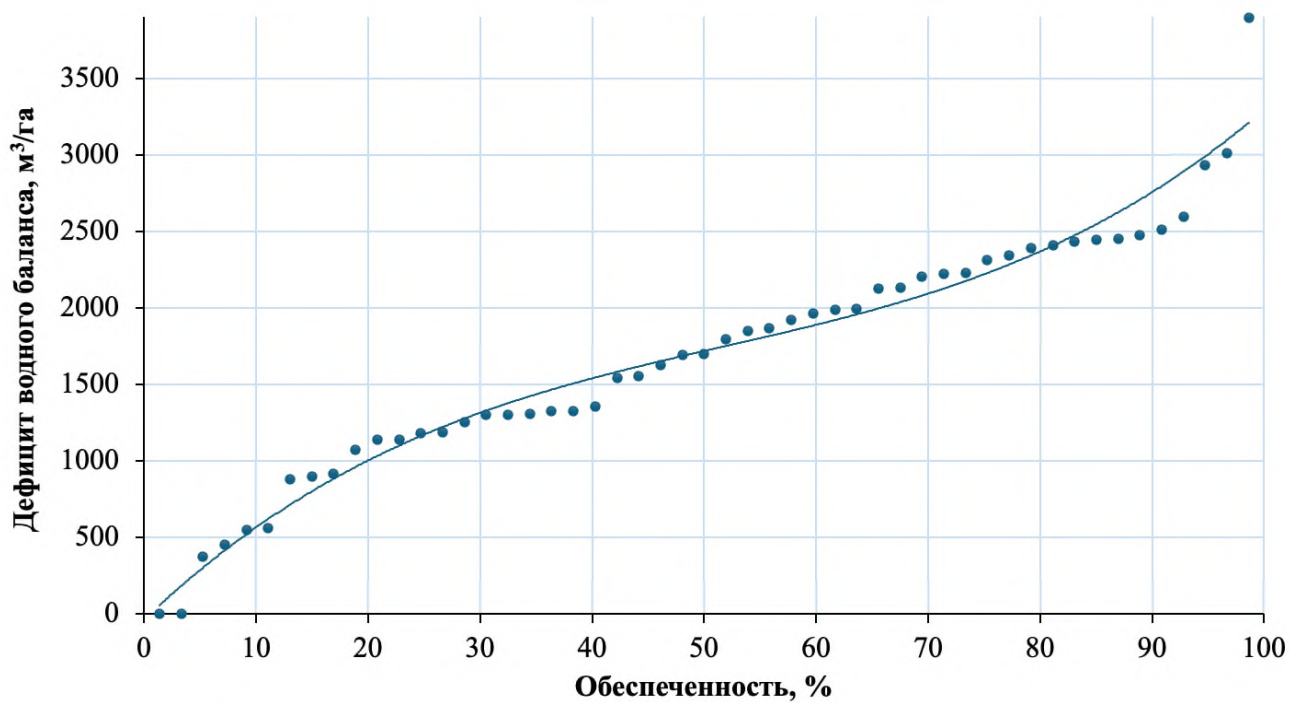


Рисунок Б.48 – Вероятностные значения дефицита водного баланса сорго зернового в Урюпинском районе

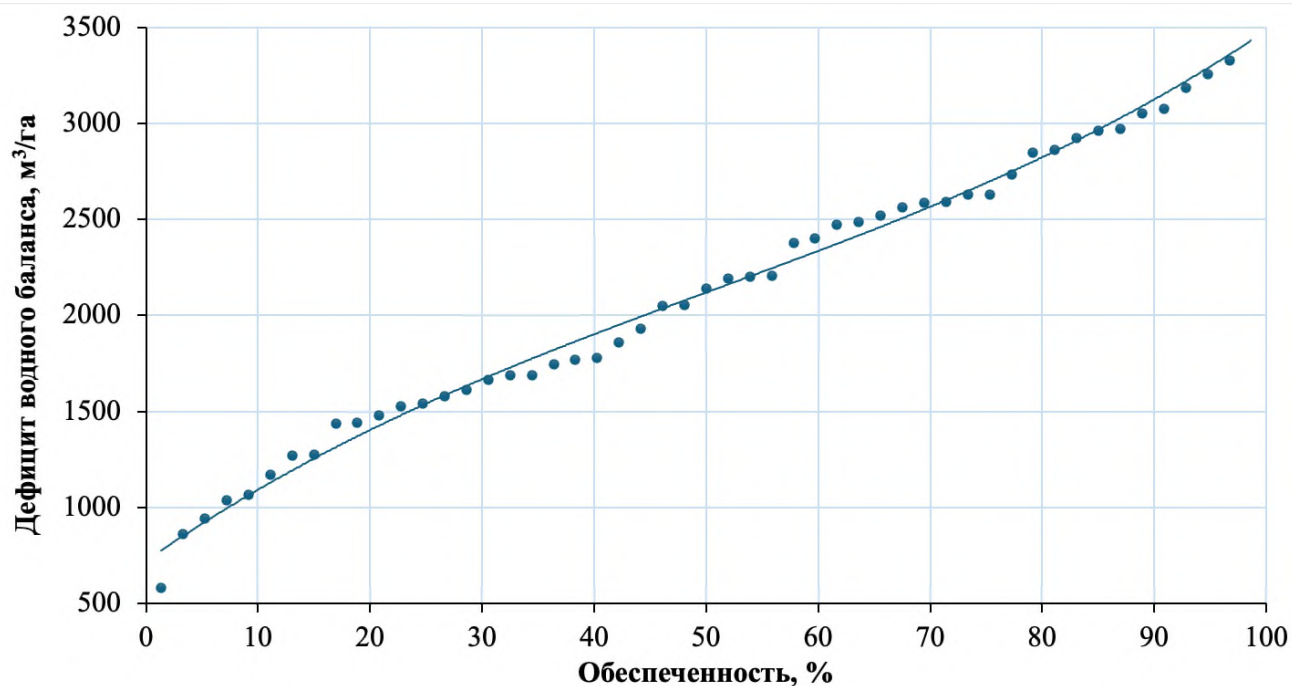


Рисунок Б.53 – Вероятностные значения дефицита водного баланса однолетних кормовых культур в Иловлинском районе

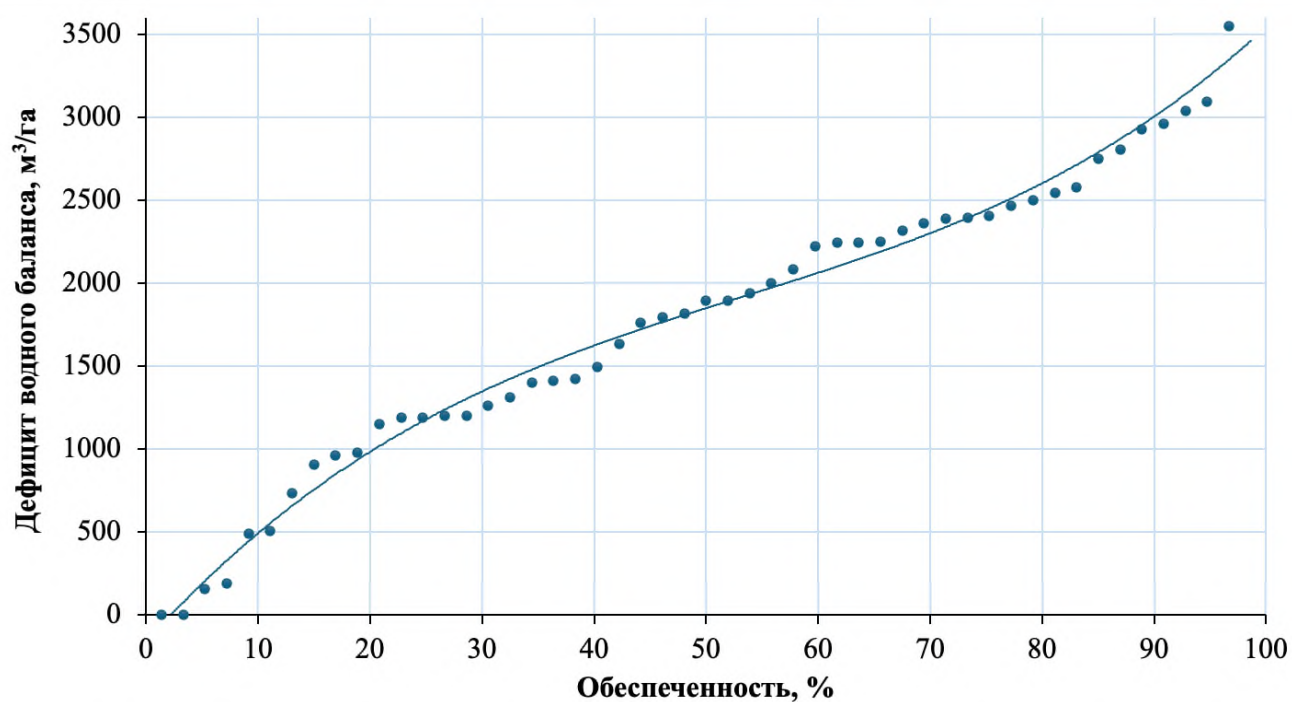


Рисунок Б.54 – Вероятностные значения дефицита водного баланса однолетних кормовых культур в Котельниковском районе

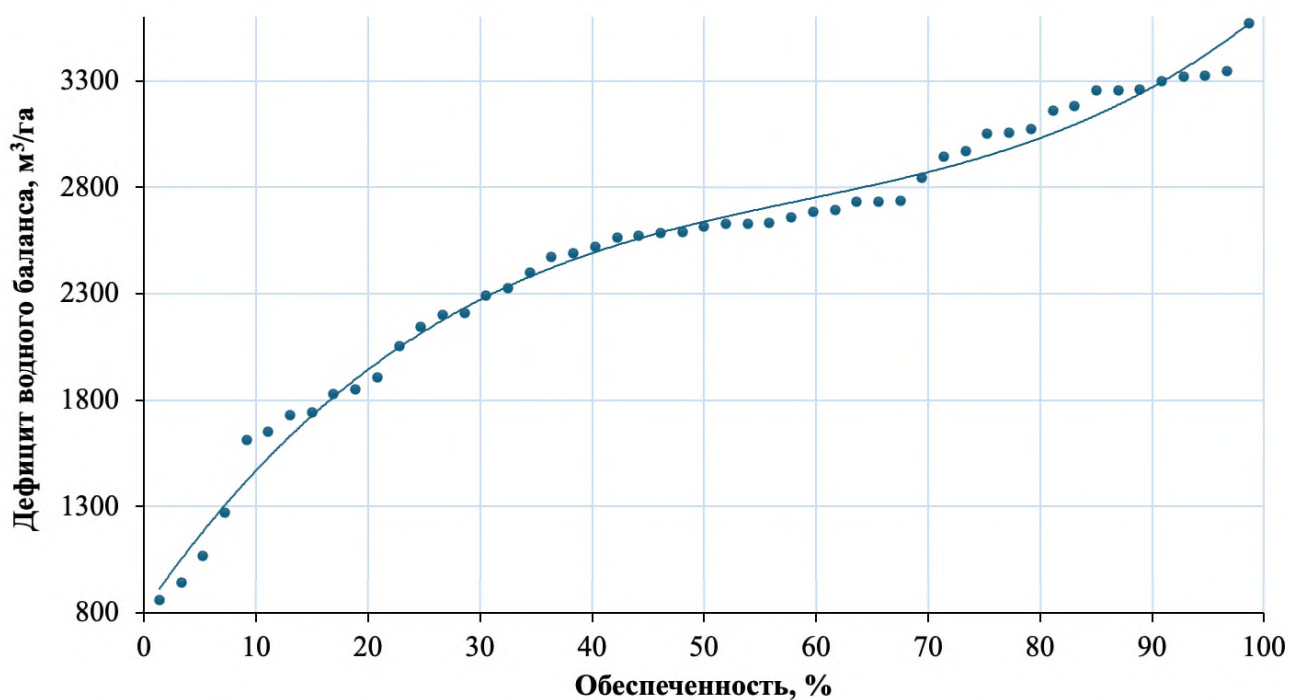


Рисунок Б.55 – Вероятностные значения дефицита водного баланса однолетних кормовых культур Палласовском районе

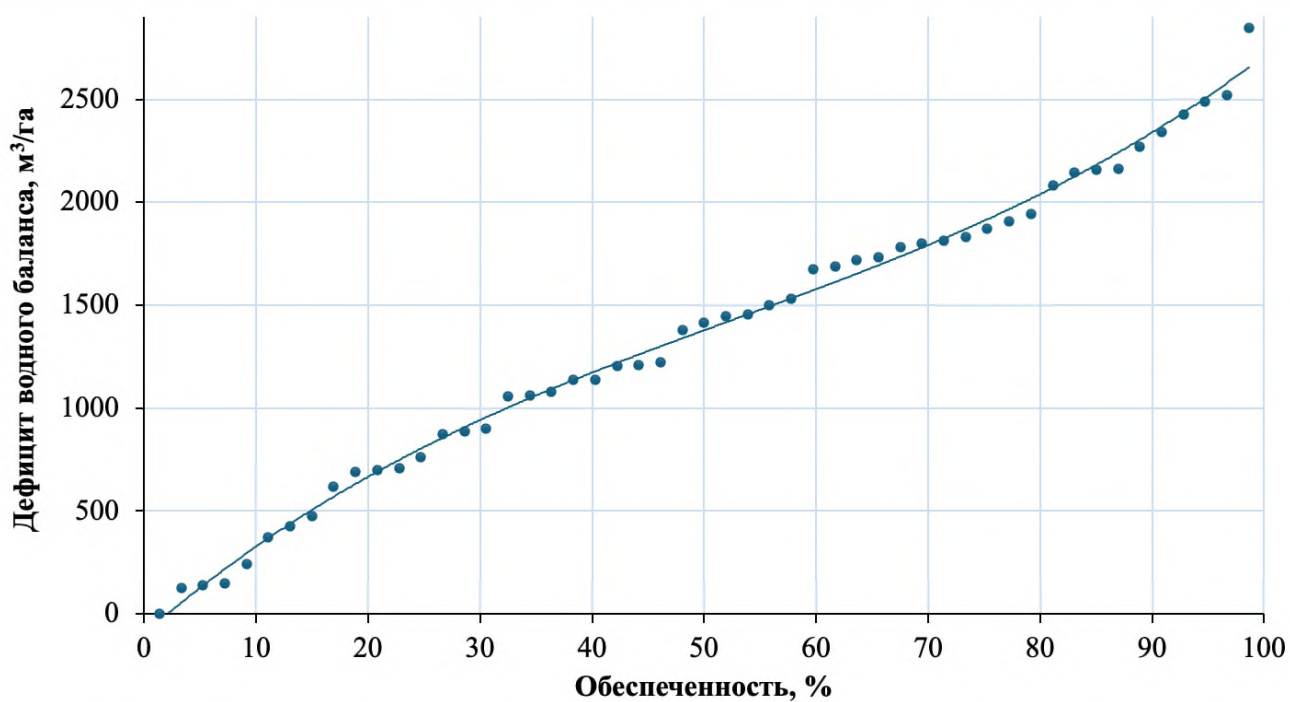


Рисунок Б.56 – Вероятностные значения дефицита водного баланса однолетних кормовых культур в Урюпинском районе

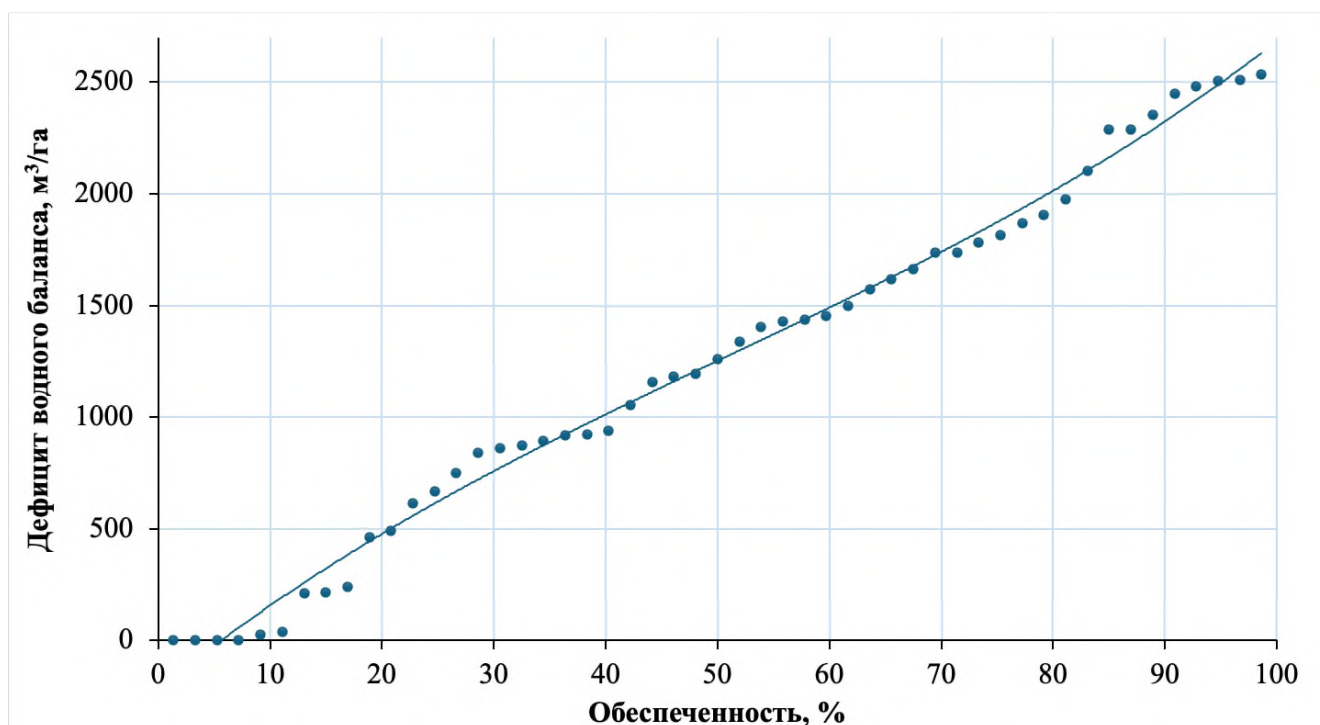


Рисунок Б.57 – Вероятностные значения дефицита водного баланса хлопчатника в Иловлинском районе

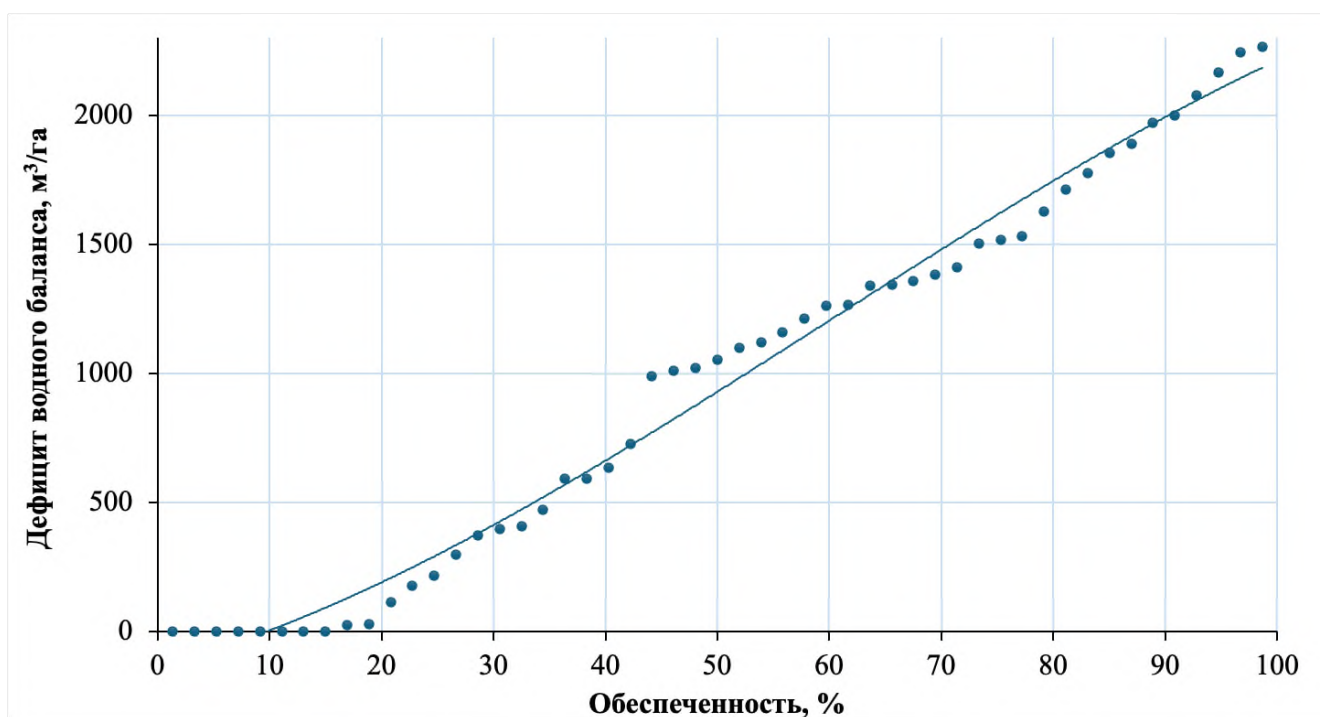


Рисунок Б.58 – Вероятностные значения дефицита водного баланса хлопчатника в Котельниковском районе

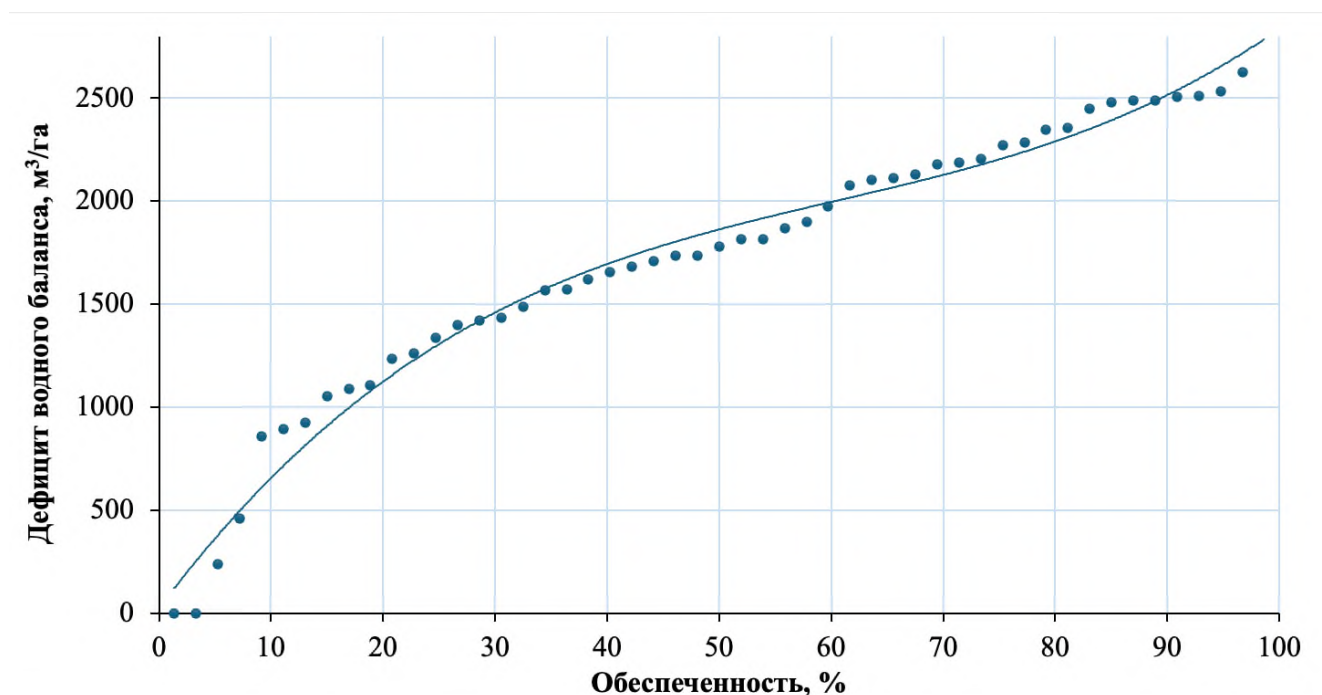


Рисунок Б.59 – Вероятностные значения дефицита водного баланса хлопчатника
Палласовском районе

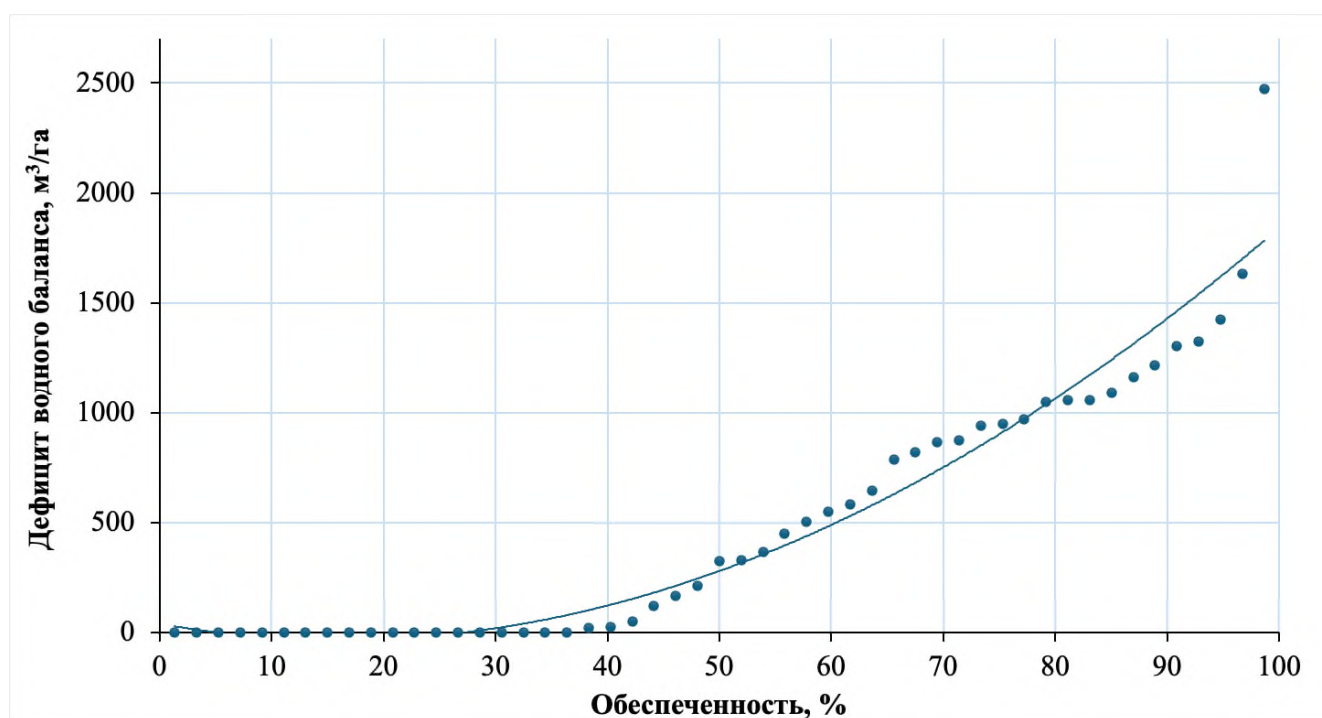


Рисунок Б.60 – Вероятностные значения дефицита водного баланса хлопчатника в
Урюпинском районе

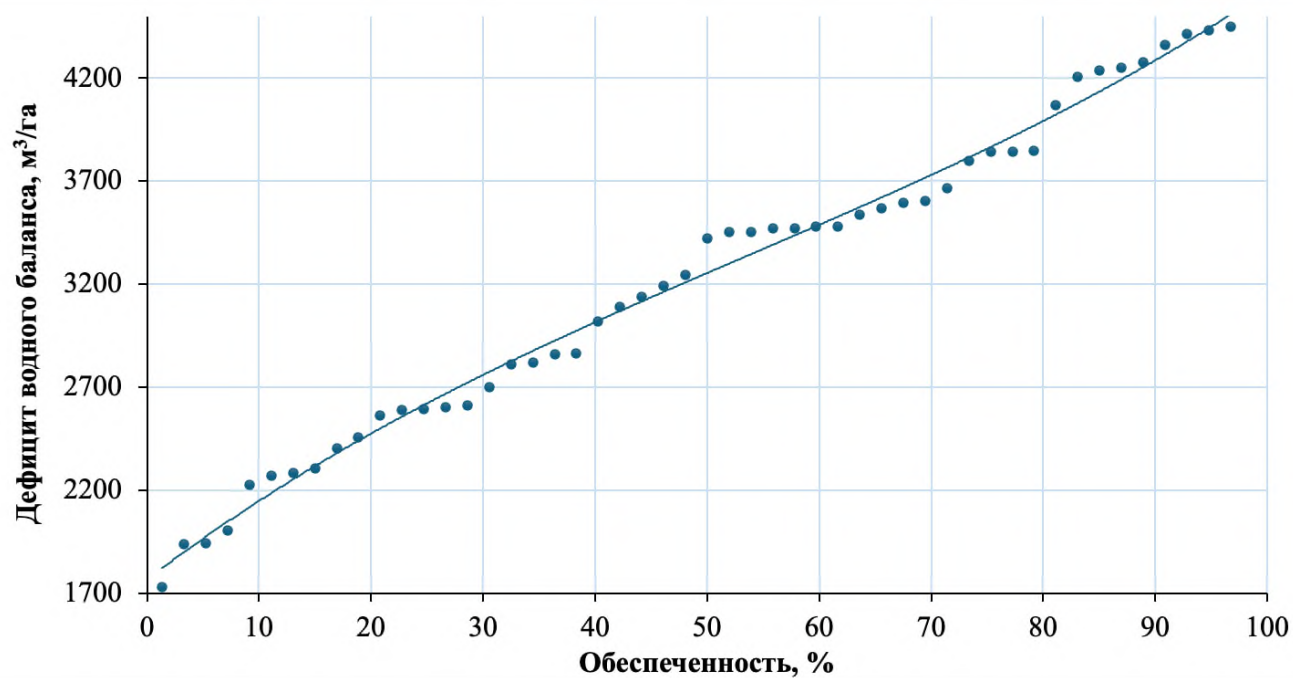


Рисунок Б.61 – Вероятностные значения дефицита водного баланса арбуза в Иловлинском районе

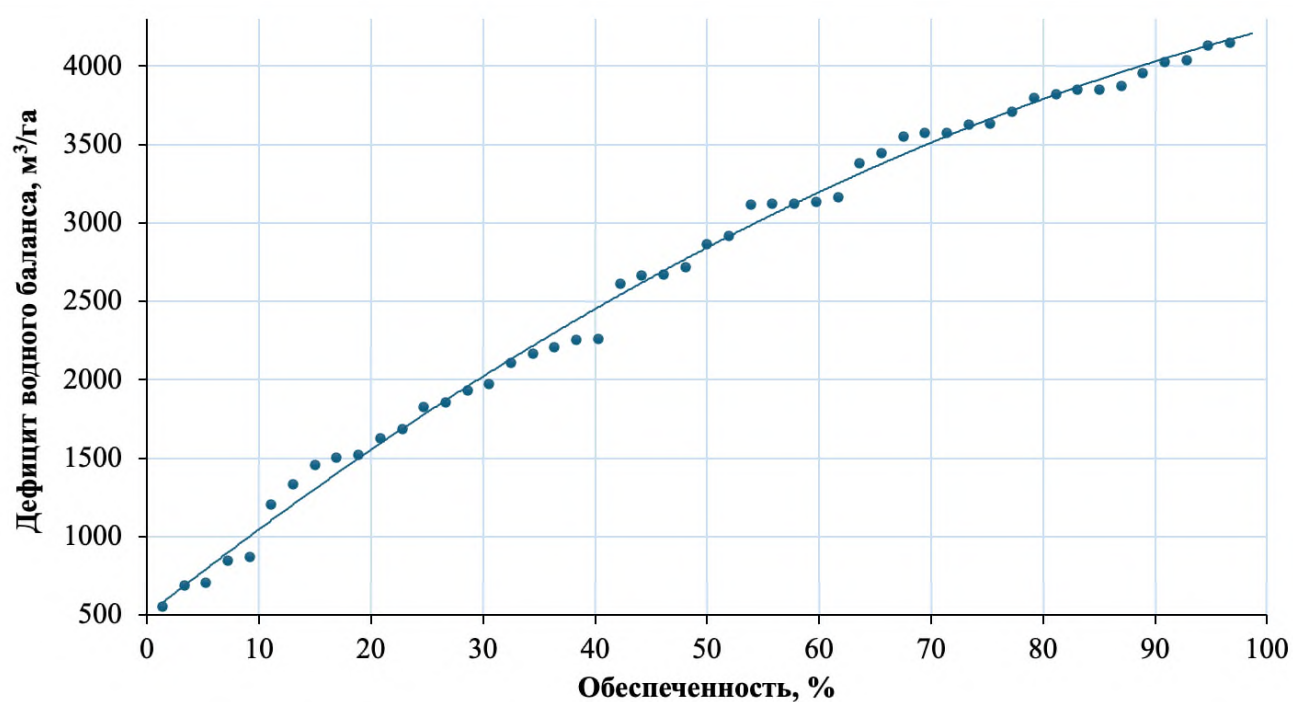


Рисунок Б.62 – Вероятностные значения дефицита водного баланса арбуза в Котельниковском районе

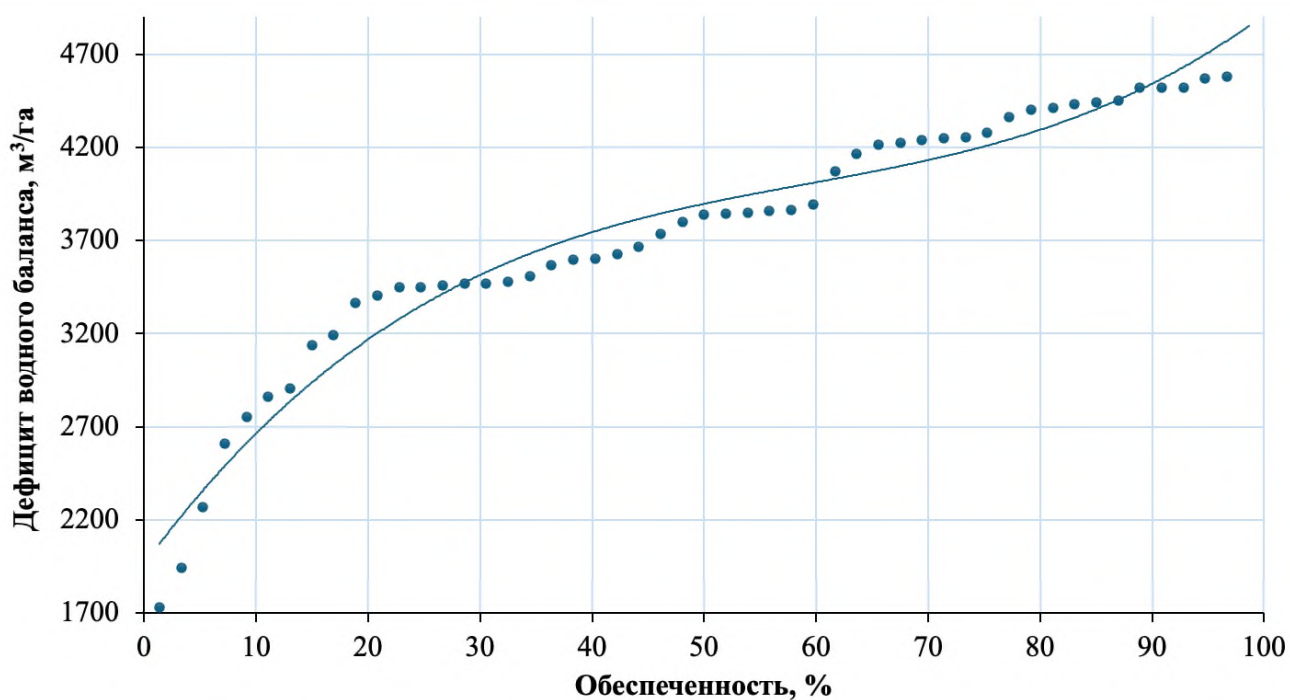


Рисунок Б.63 – Вероятностные значения дефицита водного баланса арбуза
Палласовском районе

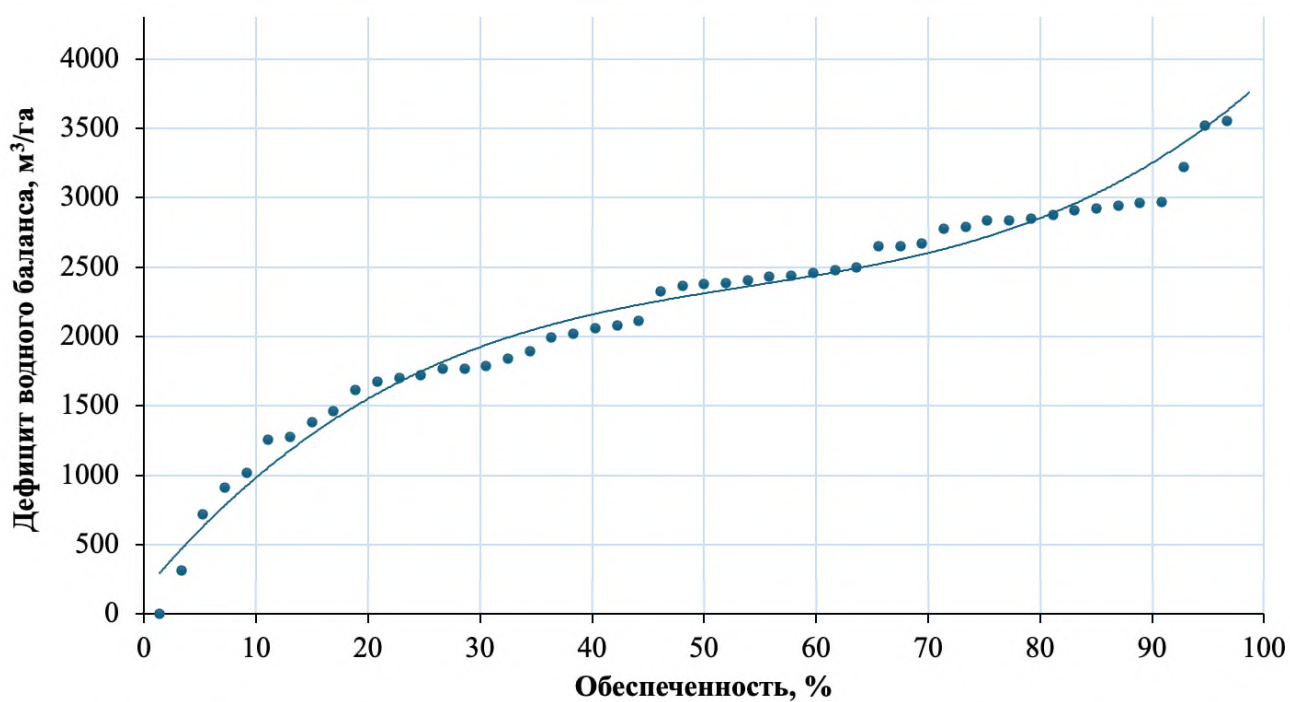


Рисунок Б.64 – Вероятностные значения дефицита водного баланса арбуза в
Урюпинском районе

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2026622934

Метеорологическое обеспечение мелиорации

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова» (RU)*

Авторы: *Новиков Андрей Евгеньевич (RU), Лытов Михаил Николаевич (RU), Пенькова Раиса Ивановна (RU), Богомолова Наталья Владимировна (RU)*

Заявка № 2026623003

Дата поступления 25 июня 2026 г.

Дата государственной регистрации
в Реестре баз данных 09 июля 2026 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2026624921

**Биоклиматические коэффициенты
сельскохозяйственных культур**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Федеральный научный центр
гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова» (RU)*

Авторы: *Новиков Андрей Евгеньевич (RU), Богомолова
Наталья Владимировна (RU), Лытов Михаил
Николаевич (RU), Пенькова Раиса Ивановна (RU)*



Заявка № 2026624455

Дата поступления **23 сентября 2026 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных **12 октября 2026 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Документ подписан электронной подписью
Сертификат 00a570e4f7ad3a8531b4b8818e7572906
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 04.09.2025 по 26.11.2026

Ю.С. Зубов



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ГИДРОТЕХНИКИ И МЕЛИОРАЦИИ ИМ. А.Н. КОСТЯКОВА»



ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

СЕРТИФИКАТ

участника

Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию со дня рождения
академика РАН Ивана Пантелеевича Кружилина

«Мелиорация сельскохозяйственных земель для устойчивого обеспечения продовольствием»

Богомолова Н.В.

«СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ОЖИДАЕМЫХ ЗАТРАТ ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ
ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ВОДОПОДАЧИ В ОРОШАЕМОМ
ЗЕМЛЕДЕЛИИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ»

Директор ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»,
академик РАН, д. с.-х. н., профессор

В.А. Шевченко

Волгоград 2025



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН»
(ФГБНУ «ФАНЦ РД»)

СЕРТИФИКАТ

выдан участнику
IV Международной научно-практической конференции
«Современное состояние и инновационные пути развития мелиорации и орошаемого земледелия»,
посвященной 60-летию «Масштабной программы развития мелиорации»

Богомоловой Наталье Владимировне

Временно исполняющий обязанности
директора ФГБНУ «ФАНЦ РД»



А.С. Хункаров

24-26 сентября 2026 года
г. Махачкала

20
26



РУДН

БЛАГОДАРСТВЕННОЕ ПИСЬМО

Богомоловой Наталье Владимировне

ассистенту агроинженерного департамента

За активное участие
в XVIII Международной научно-
практической конференции молодых
ученых “Инновационные процессы в АПК”

Председатель
организационного
комитета
Директор АТИ РУДН



Довлетярова Э.А.

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ВОЛЖСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГИДРОТЕХНИКИ И МЕЛИОРАЦИИ»
(ФГБНУ «ВолжНИИГиМ»)



СЕРТИФИКАТ

участника научно-практической конференции с международным участием
«ГЛОБАЛЬНЫЕ ВЫЗОВЫ И ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В МЕЛИОРАТИВНОМ КОМПЛЕКСЕ»,
посвященной 60-летию образования Волжского НИИ гидротехники и мелиорации

Богомолова Наталья Владимировна

Врио Директора ФГБНУ «ВолжНИИГиМ»)

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ю. А. Гопкалов'.

Ю. А. Гопкалов

Россия, г. Энгельс
26 мая 2026 г.



Федеральное государственное
бюджетное научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский институт
систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга»

СЕРТИФИКАТ

ВРУЧАЕТСЯ

БОГОМОЛОВОЙ НАТАЛЬЕ ВЛАДИМИРОВНЕ

*за участие в международной научно-практической конференции
молодых ученых и специалистов «Научно-техническое и инновационное
обеспечение развития мелиорации», приуроченной к празднованию
60-летия со дня основания ФГБНУ ВНИИ «Радуга» с докладом на
тему: «Почвенно-климатическое зонирование орошаемых земель
Волгоградской области для обоснования норм водопотребности
сельскохозяйственных культур».*

Врио директора



С.С. Турапин

«06» октября 2026 г.





Утверждаю Глава КФХ Выборнова В.Д.
404670, Волгоградская область,
Ленинский район, ул. Пионерская, д. 13/1
ИНН 3415002473, КПП 341501001
Выборнов В.Д.
«01» октября 2026 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НИР

Объект внедрения: «Нормы водопотребности овощных культур для перспективного планирования водоподачи в полупустынной зоне светло-каштановых почв Волгоградского Заволжья».

Вид и форма внедрения результатов НИР: «Нормы водопотребности ...» являются результатом многолетних научных исследований, переданы крестьянско-фермерскому хозяйству для использования при создании оптимизированных проектов производства овощных культур с использованием систем капельного орошения на общей площади 65 га.

Разработчики: чл.-корр. РАН, д-р техн. наук А.Е. Новиков, аспирант Н.В. Богомолова, ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова.

Основная характеристика объекта внедрения: Нормы водопотребности разработаны в результате теоретических обобщений, оценки многолетних трендов агрометеорологических показателей и данных практического водопользования при возделывании культур овощного севооборота, включая лук репчатый, морковь, свеклу столовую. Предназначены для ограничения водных нагрузок сообразно с природным потенциалом региона для сохранения агроэкологической устойчивости территории и обеспечения планируемых уровней продуктивности посевов: лука репчатого на уровне 80-90 т/га, моркови – 70-80 т/га, свеклы – 60-65 т/га.

Рекомендации по оросительным нормам культур овощного севооборота

Показатель	Обеспеченность, %				
	5 (влажный)	25 (средне- влажный)	50 (средний)	75 (средне- сухой)	95 (сухой)
Осадки, мм	265	161	110	90	58
Коэффициент природного увлажнения	0,37	0,25	0,24	0,22	0,21
Дефицит водного баланса, м ³ /га					
Лук репчатый	2500	3800	4230	4760	5050
Морковь	2940	4250	4660	5200	5500
Свекла	1560	2900	3230	3800	4000

Технико-экономическая эффективность: Использование научно обоснованных норм водопотребности позволяет рационально расходовать водные ресурсы для орошения культур овощного севооборота, оптимизировать работу систем орошения, включая силовое оборудование, снизить риски засоления и осолонцевания почвы. Годовой экономический эффект от экономии водных ресурсов составляет 17 тыс. руб./га, с площади внедрения 1,1 млн руб.

Разработчики:

Чл.-корр. РАН, д-р техн. наук А.Е. Новиков

Аспирант Богомолова Н.В.

Новиков А.Е.
Богомолова Н.В.

СОГЛАСОВАНО:

Директор ВНИИОЗ – филиал
ФГБНУ «ФНЦ гидротехники и
мелиорации им. А. Н. Костякова»



А.Е. Новиков

2026 г.

УТВЕРЖДАЮ:

ВРИО директора ФГБУ «Управление
«Волгоградмелиоводхоз»



Т.Г. Екимов

«13» октября 2026 г.

АКТ

об использовании результатов научного исследования в практической деятельности

Мы, нижеподписавшиеся, настоящим актом подтверждаем, что результаты научно-исследовательских работ по теме: «Актуализация данных природной водообеспеченности и обоснование ожидаемых оросительных норм для перспективного планирования водоподачи сельскохозяйственным товаропроизводителям Волгоградской области с учетом почвенно-климатического зонирования региона» используются в практической деятельности Управления «Волгоградмелиоводхоз» на площади 38200 гектаров орошаемых земель.

Основные результаты НИР: выполнен анализ почвенно-климатического зонирования Волгоградской области и размещения гидромелиоративных систем по зонам; проведена оценка фактических параметров водопользования в орошаемом земледелии; определены биологически оптимальные уровни суммарного водопотребления орошаемых сельскохозяйственных культур по почвенно-климатическим зонам Волгоградской области; выполнен анализ методических подходов к обоснованию режимов орошения сельскохозяйственных культур с учетом гидрометеорологической обеспеченности климата региона; получены статистические оценки ожидаемых затрат оросительной воды для перспективного планирования водоподачи в орошаемом земледелии Волгоградской области; определены климатически обеспеченные оросительные нормы сельскохозяйственных культур в зонах развитого орошаемого земледелия Волгоградской области.

Область применения результатов НИР – для актуализации нормативных уровней перспективного планирования водоподачи в интересах орошаемого земледелия Волгоградской области.

Экономический эффект от использования рекомендаций НИР составляет 4870 руб./га.

Разработчики:

Внс, канд. с.-х. наук Лытов М.Н.
Внс, канд. с.-х. наук Родин К.А.
Снс, канд. с.-х. наук Тихонова М.К.
Снс, канд. с.-х. наук Минченко Л.А.
Мнс Сиуков С.С.
Аспирант Богомолова Н.В.

Научный руководитель НИР:

Гнс, д-р с.-х. наук, проф. Семененко С.Я.
