

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА»

На правах рукописи

Калмыкова Екатерина Сергеевна

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ
МОЛОДОГО ВИШНЕВОГО САДА В УСЛОВИЯХ ДЕРНОВО-
ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ
ЗОНЫ РОССИИ**

4.1.5 – Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

академик РАН, доктор
сельскохозяйственных наук, профессор
Н.Н. Дубенок

Москва – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА	10
1.1. Современное состояние садоводства и рынка плодовой продукции	11
1.2. Организация плодового питомника и молодого сада в условиях орошения	20
1.2.1. Климатические условия	30
1.2.2. Выбор участка для сада.....	31
1.2.3. Схема посадки и площадь питания растений	34
1.3. Мелиоративные режимы и способы полива плодовых культур.....	38
1.4. Выращивание плодовых культур в питомниках и садах с применением капельного орошения.....	47
Выводы по главе.....	64
ГЛАВА II. ОБЪЕКТ, МЕТОДЫ И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ	65
2.1. Природно-климатические условия проведения исследования	65
2.1. Объект исследований	68
2.2. Схема опыта и методика проведения исследований	70
2.3. Обоснование применения орошения	81
2.3.1. Влагообеспеченность территории	81
2.4. Характеристика системы капельного орошения	88
Глава III. МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И АГРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ОПЫТНОГО УЧАСТКА	92
3.1. Морфологические, агрохимические и водно-физические свойства почвы ..	92
3.2. Плотность и пористость почвы при различных вариантах орошения	101
3.3. Пористость аэрации при различных вариантах опыта.....	104
3.4. Содержание тяжелых металлов и других химических элементов в почве .	111
3.5. Динамика агрохимических показателей опытного участка	113
Выводы по главе.....	119
ГЛАВА IV. ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ И РЕЖИМЫ ОРОШЕНИЯ МОЛОДОГО ВИШНЕВОГО САДА ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ	121
4.1. Режимы орошения.....	121

4.2. Запасы влаги в почве	138
4.3. Распределение влаги по почвенному профилю	149
4.4. Особенности водопотребления молодых деревьев вишни	155
Выводы по главе.....	179
ГЛАВА V. БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОЛОДОГО ВИШНЕВОГО САДА	182
5.1. Развитие надземной части вишни	182
5.2. Развитие корневой системы вишни	190
Выводы по главе.....	193
ГЛАВА VI. УРОЖАЙНОСТЬ И БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛОДОВ ВИШНИ.....	194
6.1. Урожайность вишни сортов «Волочаевка» и «Молодежная».....	194
6.2. Биохимический состав плодов вишни сортов «Волочаевка» и «Молодежная»	197
Выводы по главе.....	207
ГЛАВА VII. ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ	208
7.1. Система капельного орошения с дистанционным управлением	208
7.2 Автоматическая самодиагностируемая система капельного орошения	217
7.3. Расчет времени работы капельниц.....	225
Выводы по главе.....	231
ГЛАВА VIII. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ МОЛОДОГО ВИШНЕВОГО САДА ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ	233
Выводы по главе.....	238
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	241
ПРИЛОЖЕНИЯ	264

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В Центральном районе Нечерноземной зоны основной косточковой культурой была и остаётся вишня, получившая признание и широкое распространение благодаря высоким вкусовым и пищевым качествам плодов, скороплодности и урожайности. В связи с необходимостью увеличения производства сельскохозяйственной продукции для решения проблемы импортозамещения фруктов и ягод особую значимость приобретает внедрение инновационных элементов при выращивании плодовых культур.

Современное развитие садоводства ориентировано на сокращение ресурсных затрат при одновременном повышении продуктивности насаждений, в связи с чем эффективность использования оросительной воды становится одним из важных критериев совершенствования технологий выращивания плодовых культур. Одним из способов решения данной задачи является применение капельных систем, позволяющих локально увлажнять корнеобитаемую зону и регулировать поступление воды в соответствии с потребностями растений. Возможность точного управления водоподачей и автоматизации технологических операций создаёт условия для поддержания необходимого водного режима почвы при снижении затрат воды и труда.

Эффективность капельного орошения во многом определяется тем, насколько точно параметры полива соответствуют биологическим особенностям культуры и условиям её выращивания. Поэтому достижение высокой продуктивности при минимально необходимом расходе оросительной воды требует научного обоснования режимов увлажнения применительно к конкретным почвенно-климатическим условиям. Для плодовых насаждений Нечерноземной зоны России данный вопрос остаётся недостаточно изученным. Ограниченность экспериментальных данных о рациональных пределах регулирования влажности почвы и недостаточная теоретическая проработка особенностей функционирования капельных систем сдерживают более широкое применение этой технологии в регионе.

Цель работы – разработка научно-обоснованной технологии орошения при капельном поливе молодого вишневого сада в условиях дерново-подзолистых почв Центрального района Нечерноземной зоны России.

Задачи исследования:

1. Выявление влияния орошения на морфологические, агрохимические и водно-физические свойства дерново-подзолистой почвы, изучение особенностей формирования и динамики контуров увлажнения при различных режимах капельного орошения молодого вишневого сада.

2. Изучение влияния водного режима почвы на биометрические характеристики деревьев молодого вишневого сада и биохимические свойства плодов.

3. Разработка и обоснование технологии орошения при капельном поливе, оценка суммарного водопотребления, получение математической модели определения суммарного водопотребления, определение биоклиматических коэффициентов водопотребления при различных режимах капельного орошения молодого вишневого сада.

4. Разработка новых технологических решений по дистанционному управлению, автоматизации и самодиагностике системы капельного орошения молодого вишневого сада, выявление формулы для расчета времени работы капельниц путем модернизации формулы А.Н. Костякова.

5. Оценка экономической эффективности мелиоративных мероприятий при выращивании молодого вишневого сада в условиях дерново-подзолистых почв Центрального района Нечерноземной зоны России на фоне органических удобрений.

Объектом исследования являются деревья вишни сортов «Молодежная» и «Волочаевка», выращиваемые на дерново-подзолистой почве с применением технологии капельного орошения.

Предметом исследования являются элементы технологии орошения при капельном поливе молодого вишневого сада в условиях дерново-подзолистых

почв Центрального района Нечерноземной зоны России на фоне органических удобрений.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Методы оценки влияния системы капельного орошения в сочетании с агротехникой выращивания молодого вишневого сада и новые данные по их влиянию на морфологические, агрохимические и водно-физические свойства дерново-подзолистой почвы и параметры контуров увлажнения.

2. Оценка разработанной технологии капельного орошения на биометрические характеристики деревьев молодого вишневого сада и биохимические свойства плодов.

3. Технология орошения при капельном поливе молодого вишневого сада; оценка и математические модели определения суммарного водопотребления молодых деревьев вишни, биоклиматические коэффициенты водопотребления при различных режимах капельного орошения молодого вишневого сада.

4. Новые технологические решения по дистанционному управлению, автоматизации и самодиагностике системы капельного орошения молодого вишневого сада, формула для расчета времени работы капельниц.

5. Экономическая эффективность мелиоративных мероприятий при выращивании молодого вишневого сада в условиях дерново-подзолистых почв Центрального района Нечерноземной зоны России на фоне органических удобрений при разработанной технологии капельного полива.

Научная новизна работы. Проведенные исследования для условий Центрального района Нечерноземной зоны России позволили разработать и обосновать рациональную технологию орошения при капельном поливе молодого вишневого сада. Получено подтверждение, что даже в зоне избыточного увлажнения в отдельные периоды вегетации необходимо проводить оросительные мероприятия. Впервые для молодого вишневого сада, выращиваемого в Центральном районе Нечерноземной зоны России, в зависимости от обеспеченности года и варианта опыта были получены значения водопотребления в пределах 3138–3881 м³/га и оросительные нормы в пределах 440,7–1185,6 м³/га.

Показано влияние различной влагообеспеченности на биометрические показатели молодых вишневых деревьев на фоне органических удобрений. На основании экспериментальных данных и зависимости водопотребления от температуры воздуха и фазы развития растения получена математическая модель определения суммарного водопотребления. Проведен биохимический анализ плодов вишни по вариантам опыта на содержание веществ, влияющих на вкус и питательную ценность плода. Разработана система дистанционного управления, автоматизации и самодиагностики системы капельного орошения молодого вишневого сада.

Теоретическая и практическая значимость исследования состоит в том, что научно обоснован, теоретически и экспериментально подтвержден оптимальный режим орошения молодых деревьев вишни при капельном поливе на фоне органических удобрений. Доказано, что капельное орошение оказывает благоприятное воздействие на рост и развитие растений. Так за годы исследований прирост деревьев вишни по диаметру по исследуемым сортам в среднем по вариантам опыта составил 11,8 мм, по высоте – 368 мм. По результатам экспериментальных исследований получены контуры увлажнения почвы, выявлены особенности водопотребления молодых деревьев вишни при различных режимах капельного орошения, получены коэффициенты и уравнения регрессии водопотребления молодых деревьев вишни. Практическая значимость подтверждается тем, что проведенные исследования завершены разработкой конкретной технологией орошения при капельном поливе молодых деревьев вишни в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России. Результаты исследований внедрены в учебный процесс и производственную деятельность в ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Методология и методы исследования характеризуются корректной, научно-обоснованной постановкой проблемы исследования, построением предмета и теории исследований на основании использования известных законов и методов статистического анализа данных полевого опыта. Экспериментальные методы включали полевые и лабораторные исследования по изучению агрохимических, водно-физических свойств почвы, биохимических свойств

плодов, водопотребления и динамики морфометрических характеристик молодых деревьев вишни, выращиваемых при капельном орошении на фоне органических удобрений.

Обоснованность и достоверность результатов обеспечивается большим объемом экспериментальных данных, полученных в результате трехлетнего полевого опыта. Полученные данные согласуются с общими представлениями в данной отрасли научных знаний. Выводы базируются на широком применении современных апробированных методик и стандартных методов математико-статистической обработки данных.

Апробация работы. Основные положения и результаты проведенных диссертационных исследований апробированы на конференциях различного уровня: Международный форум молодых ученых "Мелиорация будущего: тренды, инновации и технологии в сельском хозяйстве (Москва, 2024); Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича (Москва, 2024); Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 160-летию Тимирязевской академии (Москва, 2025); Международная научно-практическая интернет-конференция "Мелиорация: история и современность" (Москва, 2025); Всероссийская с международным участием научная конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 155-летию со дня рождения выдающегося учёного в области животноводства, академика ВАСХНИЛ Михаила Фёдоровича Иванова (Москва, 2026).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 научных работ, в том числе 6 статей в рецензируемых журналах, включенных в «Перечень...» ВАК, 2 статьи в международных библиографических базах данных и 4 патента на изобретение.

Личный вклад автора заключается в личном участии в разработке программы исследования, постановке цели и задач исследования, планировании экспериментов и участии на всех этапах проведения и обобщении полученных результатов, в написании научных статей (совместно с соавторами),

формулировании основных положений и выводов.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, восьми глав основного текста, заключения и списка литературы, включающего 204 наименования, в том числе 15 на иностранном языке. Содержание изложено на 275 страницах и включает 73 рисунка, 51 таблицу. Дополнительный материал представлен 15 приложениями.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному консультанту, академику РАН, доктору сельскохозяйственных наук, профессору Дубенку Николаю Николаевичу за ценные советы и помощь, оказанную на всех этапах подготовки настоящей работы, доктору сельскохозяйственных наук, доценту Гемонову Александру Владимировичу, а также аспирантам и студентам ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева за помощь на этапах заложения полевых опытов и получения экспериментальных материалов.

ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Плодовые культуры, включая косточковые, семечковые и ягодные растения, имеют значительный потенциал для возделывания в природно-климатических условиях центральной части России. В соответствии с задачами, предусмотренными Государственной программой «Эффективное вовлечение в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса» на 2021–2030 годы и Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017–2030 годы, особое значение приобретает совершенствование технологий выращивания посадочного материала. Применение научно обоснованных режимов орошения, адаптированных к условиям конкретной зоны выращивания, способствует повышению качества саженцев и увеличению выхода стандартного посадочного материала в питомниководческих хозяйствах. Это позволяет более эффективно обеспечивать садоводческие предприятия районированными сортами, приспособленными к местным условиям. В связи с этим изучение и разработка оптимальных режимов капельного орошения саженцев плодовых и ягодных культур в условиях питомников имеет высокую научную значимость и практическую ценность.

Процесс выращивания плодовых культур происходит довольно длительное время, поэтому важным аспектом в садоводстве является создание благоприятных условий для произрастания возделываемой культуры. Рост и плодоношение плодовых культур взаимосвязаны с биотическими и абиотическими условиями природной среды, такими как водный, тепловой и питательный режимы почвы, которые непрерывно изменяются в пространстве и времени. Эффект от неблагоприятных условий не ограничивается одним годом, а продолжается длительное время. К примеру, от недостатка влаги в корнеобитаемом слое почвы снижаются темпы роста и развития растений, а также устойчивость возделываемой культуры к болезням, вредителям и зимним заморозкам. Плодовые культуры – многолетние растения, поэтому недостаток влаги длительное время негативно влияет на развитие и плодоношение выращиваемых культур. Для уменьшения риска иссушения почвы в течение вегетативного

периода необходимо производить полив. Потребность плодовых культур в орошении зависит от сортовых особенностей, метеорологических и почвенно-грунтовых характеристик территории, на которой они произрастают. Поэтому к выбору метода и способа орошения нужно подходить ответственно и учитывать водно-физические характеристики почвы, рельеф и мелиоративные условия орошаемой территории, а также сортовой состав растений. Способы полива должны исключать возможность водной эрозии, минимизировать энергетические и водные ресурсы, создавать условия для механизации работ, иметь возможность внесения удобрений с поливной водой, а также стремиться к автоматизации процесса орошения. Учитывая вышеизложенные факторы, а также опираясь на результаты проанализированных исследований в области выращивания плодовых культур, создаются оптимальные условия для роста и развития плодовых культур, что приводит к высокому урожаю и качественным плодам.

1.1. Современное состояние садоводства и рынка плодовой продукции

Одним из важнейших направлений государственной политики является создание условий для стабильного производства основных видов продовольственной продукции, необходимых для удовлетворения внутренних потребностей населения. Решение данной задачи является основой обеспечения продовольственной безопасности и способствует устойчивому социально-экономическому развитию страны. В связи с этим достижение высокого уровня самообеспечения основными видами сельскохозяйственной продукции рассматривается как один из приоритетов развития аграрного сектора.

В современных условиях, связанных с ограничением поставок отдельных категорий продукции и изменением внешнеэкономической ситуации, особую актуальность приобрело развитие отечественного производства и реализация мероприятий по импортозамещению в сельском хозяйстве. Это обусловило усиление государственной поддержки отрасли, направленной на стимулирование наиболее значимых направлений агропромышленного комплекса.

В рамках реализации политики импортозамещения были расширены меры финансовой поддержки сельхозпроизводителей, увеличены объемы

финансирования отдельных программ, а также усовершенствованы механизмы государственного регулирования отраслей, характеризующихся высокой зависимостью от импортной продукции. Одним из ключевых направлений развития аграрного сектора определено садоводство, поскольку обеспечение населения отечественной плодовой продукцией на протяжении длительного времени остается недостаточным (Добренко, 2022).

По данным FAOSTAT тенденция производства в России фруктов и ягод за период 1992-2023 г. существенно менялась (рисунок 1.1). Резкий спад производства в 2006 году был обусловлен сильными морозами, которые оказались серьезной проблемой для сельского хозяйства страны. До 30% озимых посевных площадей (примерно 3,5-4 млн. га) и до 10% виноградников и садов погибли. В последующие годы производство страны увеличивало свои объемы и продолжает данную тенденцию в настоящее время. В 2023 году в России собрали: абрикосов- 74,5 тыс. тонн, вишни – 268 тыс. тонн, черешни – 56,6 тыс. тонн, слив и терна - 189 тыс. тонн., персиков и нектаринов – 43 тыс. тонн (Калабеков, 2025).

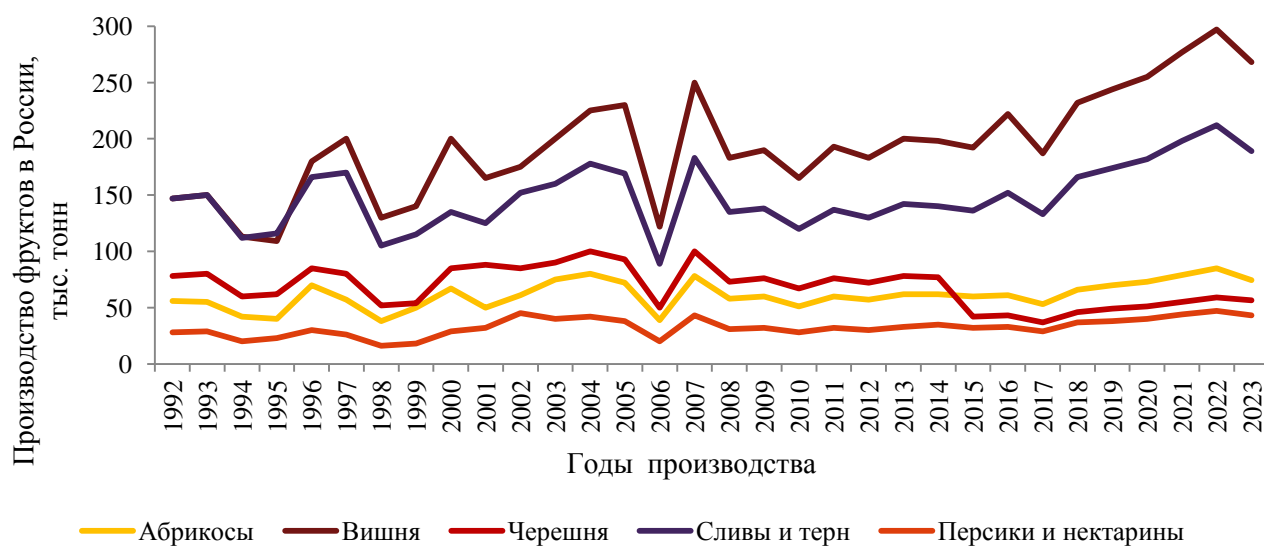


Рисунок 1.1 – Производство фруктов в России (в хозяйствах всех категорий),
тысяч тонн

Анализ динамики производства косточковых культур в России за период 1992–2023 гг. показывает, что вишня на протяжении всего рассматриваемого интервала сохраняет ведущие позиции по объёму производства и оказывает

определяющее влияние на общую динамику данной группы культур.

В 1992–1997 гг. производство вишни характеризовалось умеренным ростом, достигнув локального максимума к 1997 г., что отражает относительную стабилизацию отрасли в этот период. В 1998–1999 гг. наблюдается резкое снижение объёмов производства, связанное с общими экономическими и организационными трудностями сельского хозяйства, однако уже к 2001–2004 гг. фиксируется восстановительный рост.

Наиболее выраженное кратковременное падение производства вишни приходится на 2006 г., после чего в 2007 г. отмечается резкий рост, свидетельствующий о высокой способности культуры к восстановлению. В период 2008–2014 гг. динамика остаётся неустойчивой, с колебаниями, однако без возвращения к минимальным значениям начала 2000-х годов.

Начиная с 2015 г., производство вишни демонстрирует устойчивую положительную тенденцию. Особенно заметный рост наблюдается в 2018–2022 гг., когда объёмы достигают максимальных значений за весь период наблюдений. В 2023 г. фиксируется некоторое снижение, однако уровень производства остаётся существенно выше средних показателей предыдущих десятилетий.

По сравнению с другими косточковыми культурами вишня отличается наибольшей стабильностью и наивысшими абсолютными объёмами производства. Это подтверждает её ключевую роль в структуре косточкового садоводства России и подчёркивает значительный потенциал дальнейшего развития культуры за счёт совершенствования сортового состава и технологий возделывания.

Эффективное развитие отрасли садоводства во многом определяется уровнем развития питомниководства, являющегося основным источником получения качественного сертифицированного посадочного материала для создания промышленных садов и ягодных культур. Однако отечественное производство саженцев в настоящее время не полностью обеспечивает существующие потребности отрасли. Доля посадочного материала российского производства остается ограниченной и составляет не более 5–10% в мире. В

результате питомниководческая отрасль России сохраняет высокую зависимость от импортных поставок: согласно экспертным данным, ежегодно на территорию страны завозится около 13 млн. саженцев (Южанинова, 2018). При этом импортируемый посадочный материал не всегда соответствует необходимым требованиям качества, может быть недостаточно приспособлен к разнообразным природно-климатическим условиям регионов России, а также требует строгого контроля в отношении карантинной безопасности.

Анализ сортового состава плодовых и ягодных культур показывает существенные различия в соотношении отечественных и зарубежных сортов, а также доле несортовых посадок в зависимости от биологических особенностей культуры и степени её адаптированности к местным условиям. Наиболее показательной в этом отношении являются вишня и смородина черная, они имеют преимущественно отечественную селекцию, а яблоня, груша, слива, черешня и земляника – зарубежную. Среди несортовых посадок наибольшая доля приходится на вишню, черешню и землянику (таблица 1.1)

Таблица 1.1 – Сортосостав плодовых и ягодных культур

Культура	Сорта		Несортовые посадки
	отечественные	зарубежные	
Яблоня	32,9	50,0	17,1
Груша	30,9	52,2	16,9
Вишня	57,2	2,4	40,4
Слива	32,5	44,2	23,3
Черешня	16,1	51,9	32,0
Смородина черная	61,3	21,1	17,6
Земляника	18,0	47,2	34,8

Для вишни характерна высокая доля отечественных сортов, превышающая половину всех насаждений. Это свидетельствует о хорошей приспособленности отечественного сортимента к почвенно-климатическим условиям возделывания, а также о длительной истории селекционной работы, ориентированной на зимостойкость, устойчивость к неблагоприятным факторам среды и стабильность плодоношения. В то же время удельный вес зарубежных сортов в насаждениях

вишни остаётся крайне низким, что указывает на ограниченную адаптацию импортного посадочного материала к условиям региона и более высокий риск его использования в производственных садах.

Обращает на себя внимание и значительная доля несортовых посадок в культуре вишни. Это может быть связано как с использованием корнесобственных растений и порослевых форм, так и с закладкой насаждений без строгого соблюдения сортового подбора. Подобная структура снижает однородность насаждений, усложняет агротехнический уход и, как следствие, отрицательно отражается на уровне и стабильности урожайности, а также на качестве получаемой продукции.

В сравнении с вишней семечковые культуры, такие как яблоня и груша, характеризуются более высокой долей зарубежных сортов и меньшим участием несортовых посадок. Это отражает более высокий уровень стандартизации посадочного материала и активное внедрение интенсивных технологий в их возделывании (Чекмарев, 2018). Таким образом, повышение объемов производства плодовой и ягодной продукции, а также обеспечение населения качественной отечественной продукцией требует внедрения комплекса мероприятий, направленных на формирование эффективной и конкурентоспособной системы садоводства и питомниководства в России.

Современные технологии интенсивного выращивания садов, виноградников и ягодных культур предусматривают соблюдение целого комплекса агротехнических мероприятий, начиная с подбора адаптированных к конкретным условиям возделывания высокопродуктивных сортов, обладающих устойчивостью к неблагоприятным факторам среды и болезням, и заканчивая технологиями уборки, хранения и реализации урожая. Выполнение всех элементов технологии связано со значительными производственными затратами, включающими расходы на материальные, энергетические и трудовые ресурсы. В условиях постоянного увеличения стоимости производственных ресурсов получение высоких урожаев без учета экономической эффективности не всегда является оправданным. Поэтому одной из основных задач современного

садоводства становится разработка и внедрение технологий, позволяющих обеспечить получение стабильной урожайности высокого качества при снижении себестоимости производимой продукции.

Современные интенсивные технологии выращивания плодовых насаждений и виноградников ориентированы на получение стабильной высокой продуктивности при рациональном использовании производственных ресурсов. Достижение данных результатов возможно только при поддержании оптимального уровня почвенного плодородия, сохранении устойчивости агроэкосистем и создании благоприятных условий для роста и развития растений. Одним из важнейших факторов повышения эффективности садоводства в зонах с недостаточным и нестабильным увлажнением является применение орошения. При этом наибольшая результативность оросительных мероприятий достигается при соблюдении оптимальных сроков проведения поливов и поддержании необходимого уровня влажности почвы в зоне расположения активной части корневой системы растений.

В современном садоводстве применяются различные способы подачи воды: дождевание, капельное и внутрипочвенное орошение, а также поверхностные способы полива. Эффективность каждого метода определяется почвенно-климатическими условиями территории, биологическими особенностями выращиваемой культуры и технологией возделывания. Традиционные способы орошения предусматривают периодическое пополнение запасов влаги в почве, при котором объем поступающей воды значительно превышает текущие потребности растений в водопотреблении. В связи с необходимостью повышения эффективности использования водных ресурсов в мировой практике широкое распространение получили технологии малоинтенсивного орошения. Развитие данного направления связано не только с высокой эффективностью применения таких систем, но и с возможностью использования оросительных сетей из труб малого диаметра, способных обеспечивать практически непрерывную подачу воды растениям в течение всего периода вегетации (Терпигорев с соавт., 2009).

На территории Российской Федерации выращивается широкий ассортимент плодовых и ягодных культур, среди которых основное значение имеют яблоня, груша, слива, вишня, черешня, абрикос, персик, смородина, малина и земляника. Размещение плодовых насаждений по регионам страны характеризуется значительной неравномерностью и определяется особенностями природно-климатических условий. В связи с этим в каждой зоне преимущественно возделываются культуры и сорта, наиболее адаптированные к конкретным условиям выращивания.

Производство свежих фруктов и ягод, включая виноград, в России за четыре года выросло почти на треть и в 2020 году составило 4,3 млн.т. (против 3,3 млн т в 2017 году), или 0,5% от мирового объема (рисунок 1.2).

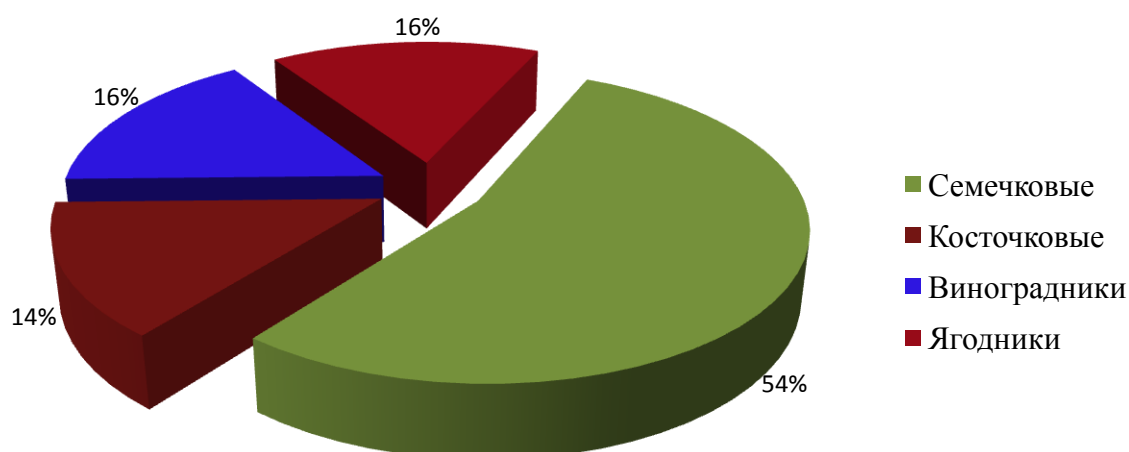


Рисунок 1.2 – Структура производства фруктов и ягод в России, 2020 г.

Анализ структуры производства фруктов и ягод в России показывает, что ведущую позицию занимают семечковые культуры, доля которых превышает половину общего объёма производства. Это отражает их традиционно высокую хозяйственную значимость, устойчивый спрос и сравнительно высокий уровень технологической отработанности производства. Вместе с тем существенную роль в формировании валового сбора играют и другие группы культур, в том числе косточковые и ягодные культуры. Доля косточковых культур в общей структуре производства подчёркивает их важность для отечественного садоводства.

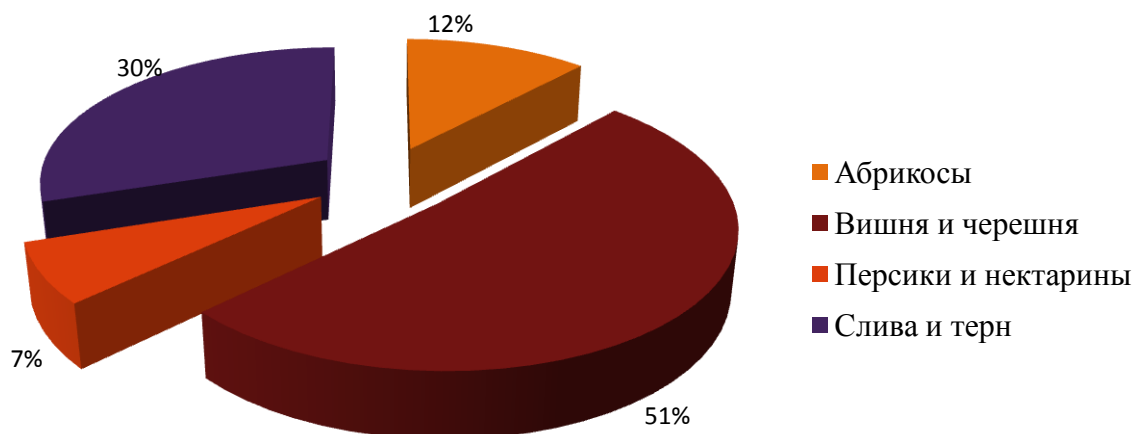


Рисунок 1.3 – Доля производства, отведенная косточковым культурам, 2020 г.

Анализ структуры производства косточковых культур показывает (рисунок 1.3), что ведущая роль в данной группе принадлежит вишне и черешне, на долю которых приходится более половины общего объёма производства. Такое доминирующее положение обусловлено, прежде всего, высокой адаптацией этих культур к почвенно-климатическим условиям большинства регионов России, а также их сравнительно стабильным плодоношением по сравнению с другими косточковыми породами. Слива и терн занимают второе место по объёму производства среди косточковых культур. Их значительная, но уступающая вишне доля объясняется более узкой зоной промышленного возделывания и большей зависимостью от почвенных и климатических условий. Абрикосы также представлены в структуре производства, однако их удельный вес остаётся сравнительно невысоким, что связано с повышенной чувствительностью культуры к возвратным заморозкам и зимним повреждениям.

На рисунке 1.4 представлена динамика производства косточковых культур за период с 2014 по 2019 годы. Анализ данной динамики свидетельствует о неоднородности развития отдельных культур и различной степени их устойчивости к внешним факторам. Наиболее выраженные и стабильные изменения наблюдаются в группе «вишня и черешня», которая на протяжении

всего периода сохраняет лидирующие позиции по объёму производства и демонстрирует положительную долгосрочную тенденцию.

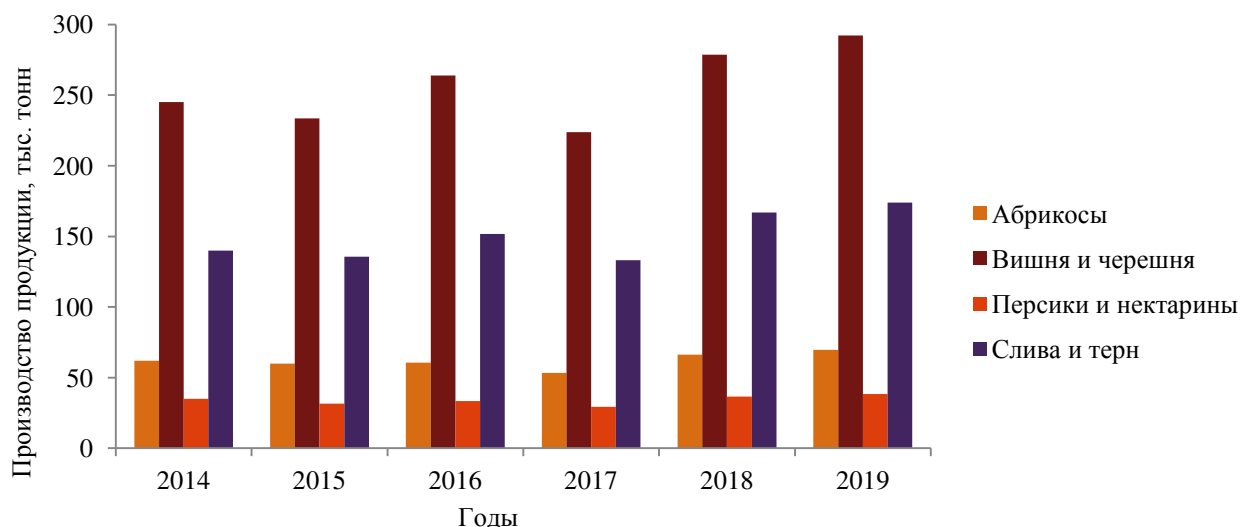


Рисунок 1.4 – Динамика производства, отведенная косточковым культурам

Производство вишни и черешни характеризуется общей направленностью к росту, несмотря на отдельные колебания в отдельные годы. Наличие временного снижения объёмов не нарушает общей восходящей динамики, что указывает на относительную устойчивость данной культуры к неблагоприятным погодным условиям и колебаниям агротехнического характера. К концу анализируемого периода объёмы производства достигают максимальных значений, что подтверждает возрастающую роль вишни в структуре косточкового садоводства.

Сравнительный анализ показывает, что вишня и черешня существенно опережают другие косточковые культуры как по абсолютным объёмам производства, так и по темпам роста. Так, слива и терн также демонстрируют положительную динамику, однако их вклад остаётся заметно ниже. Производство абрикосов и особенно персиков и нектаринов отличается меньшей стабильностью и более низкими объёмами, что связано с их повышенной зависимостью от тепловых ресурсов и более узкой зоной промышленного возделывания.

Таким образом, представленная гистограмма подтверждает, что вишня занимает ключевое место в системе косточкового садоводства и выступает основной культурой, формирующей динамику производства в данной группе.

Полученные данные свидетельствуют о целесообразности дальнейшего развития вишнёвых насаждений, совершенствования технологий их возделывания и перехода к более интенсивным формам производства, что позволит укрепить положительную тенденцию и повысить вклад культуры в общий объём продукции садоводства (Чекмарев., 2018; ФГБУ «Центр Агроаналитики, 2021).

1.2. Организация плодового питомника и молодого сада в условиях орошения

В современных условиях питомник следует рассматривать не только как хозяйство по размножению растений, но и как ключевое звено системы интенсивного садоводства, без которого невозможно развитие отрасли. Это специализированное подразделение сельскохозяйственного производства, которое формирует базу для закладки садов и обеспечивает рынок качественным посадочным материалом.

Эффективность работы питомника напрямую отражается на перспективах садоводства региона. Здесь не просто выращиваются плодовые и ягодные культуры, но и проводится селекционный отбор наиболее продуктивных сортов и пород, создаются новые сортоподвойные комбинации, отличающиеся скороплодностью и слаборослостью, что особенно важно для интенсивных технологий садоводства. Таким образом, питомник выступает не только производственным объектом, но и площадкой для внедрения инноваций, где проверяются современные методы размножения, включая микроклональное и корнесобственное.

Для повышения производительности таких хозяйств требуется использование цифровых технологий управления, систем точного земледелия и автоматизированного контроля за состоянием растений. Всё большее распространение получают хозрасчётные формы организации труда – арендные отношения, кооперативные и индивидуальные формы подряда, что позволяет повышать мотивацию работников. Одновременно внедрение различных способов

размножения расширяет ассортимент культур и снижает зависимость от сезонных колебаний, делая производство более устойчивым.

Законодательные и нормативные требования также играют важную роль. Каждый питомник обязан иметь паспорт-патент на право выпуска посадочного материала, а также вести строгий учёт сортовой принадлежности и качества продукции на всех этапах выращивания. Эти сведения фиксируются в книге питомника, которая фактически выполняет функции производственного журнала. Дополнительно деятельность регламентируется стандартами качества и карантинными требованиями, что обеспечивает защиту растений от заболеваний и вредителей.

Выращивание саженцев – процесс трудоёмкий и сложный, требующий высокой квалификации. Поэтому в современных питомниках систематически проводятся курсы повышения квалификации, производственные совещания, конкурсы профессионального мастерства среди узких специалистов — окулировщиков, обвязчиков и других. Важное значение имеет и взаимодействие с научными учреждениями: именно через такую кооперацию происходит внедрение новейших технологий и агропромышленных инноваций в практику. В зависимости от объёма производства питомники классифицируются на плодовые, ягодные и смешанные. Такая система позволяет более гибко организовывать хозяйственную деятельность и учитывать специфику различных культур.

Несмотря на то, что промышленные питомники занимают сравнительно небольшие площади, их внутренняя структура отличается высокой сложностью и требует чёткой организации. В основе планировки современного питомника выделяют три ключевых отделения:

1. Маточные насаждения
2. Отделение размножения
3. Отделение формирования (выращивания) саженцев

Каждое из этих звеньев имеет собственное функциональное назначение, но при этом они тесно взаимосвязаны, образуя единую систему производства посадочного материала. Маточные насаждения служат фундаментом всего

питомника. В них закладываются маточно-семенные сады, где получают семена для выращивания подвоев, а также маточно-сортовые насаждения, обеспечивающие черенками разных пород и сортов для проведения прививок.

Если же используется корнесобственный способ размножения, дополнительно создаются специализированные маточники, предназначенные для заготовки зелёных или одревесневших черенков. В случае перехода на клоновые подвои потребность в маточно-семенных садах отпадает, что отражает современные тенденции в питомниководстве, связанные с развитием микроклонального размножения. Второе структурное звено – отделение размножения, включающее «школу сеянцев». Здесь выращивают подвои из семян, а при использовании корнесобственного метода – зелёные и одревесневшие черенки, а также отводки клоновых подвоев. На этом этапе закладывается качество будущего посадочного материала, поэтому именно здесь активно применяются элементы точного земледелия: контроль влажности почвы, мониторинг микроклимата, биологическая защита растений. Третье звено – отделение формирования саженцев, или «школа саженцев». Здесь осуществляется окончательное выращивание растений и их подготовка к реализации. В зависимости от возраста растений это отделение делится на три поля: поле окулянтов (первый год после окулировки), поле однолеток, поле двухлеток.

Особенность выращивания привитых растений состоит в том, что возраст корневой системы часто превышает возраст надземной части на 2–3 года. Это требует точного учёта и грамотной агротехники, чтобы обеспечить гармоничное развитие саженцев (Самощенко, 2026).

Таким образом, современный питомник нельзя рассматривать как простую совокупность участков. Это система взаимосвязанных производственных блоков, каждый из которых выполняет свои задачи и вносит вклад в общий результат. Более того, новые технологии – от автоматизации полива до цифрового учёта посадочного материала – постепенно интегрируются в каждый этап, что делает питомниководство не просто традиционной практикой, а современной высокотехнологичной отраслью.

Организация территории питомника напрямую связана с применяемыми методами размножения и выбранной схемой выращивания саженцев. В большинстве случаев отдельные отделения располагаются на разных участках, что позволяет рационально использовать землю и вести севообороты. Однако в ряде ситуаций их размещение может совпадать. Так, участок размножения одревесневших черенков смородины или крыжовника после укоренения превращается в площадку для дальнейшего выращивания саженцев. Аналогично маточные плантации вертикальных и горизонтальных отводков клоновых подвоев одновременно выполняют функцию участка размножения, совмещая две задачи в одной зоне. В случае выращивания смородины и крыжовника отводками три отделения питомника (маточники, участок размножения и школа саженцев) фактически сосредоточены в одном месте.

Если в питомнике дополнительно выращиваются декоративные или иные растения, то для них закладываются отдельные маточные насаждения и специализированные участки размножения. В большинстве случаев технологии схожи с плодовыми культурами, что облегчает интеграцию таких посадок в общую структуру хозяйства.

Таким образом, размещение отделений питомника не имеет строго фиксированной схемы и зависит от используемых методов размножения, хозяйственных целей и специализации производства. Правильно продуманное расположение позволяет экономить землю, снижать затраты и повышать эффективность работы всего комплекса.

Небольшие питомники, особенно фермерского типа, как правило, не обладают всеми отделениями, характерными для крупных хозяйств. Это связано с тем, что семена, подвои или черенки для прививки они зачастую закупают в специализированных предприятиях или у соседних питомников. Поэтому часть структурных подразделений в их организации может отсутствовать. В отделениях размножения и формирования, где ежегодно осуществляется выкопка подвоев и саженцев, важную роль играют правильно организованные севообороты. Их задача — предотвратить истощение почвенных ресурсов и сохранить плодородие

земли. Дополнительно предусматривается резервная площадь, которую используют для перезакладки маточных насаждений по мере их старения.

В питомниках, где растения проходят обеззараживание от болезней и карантинных вредителей, устанавливают специальные фумигационные камеры. Кроме того, в зависимости от применяемых методов размножения оборудуются прививочные мастерские, помещения для нарезки и хранения черенков, навесы для обработки усов земляники. Существенную роль играют также складские и подвальные помещения, где временно хранят растения и посадочный материал.

Многие современные питомники располагают парниками и теплицами, что позволяет ускорить процесс укоренения и выращивания безвирусного материала. Научные учреждения идут дальше: они создают лаборатории для получения элитного посадочного материала, свободного от вирусных инфекций. Такой материал затем передается в хозяйства для закладки маточных участков. Чтобы сохранить саженцы и подвои в открытом грунте до момента реализации, используют специальные прикопочные участки. Они могут быть временными или постоянными, в зависимости от потребностей производства. Грамотно спланированный питомник всегда представляет собой систему, где все элементы взаимосвязаны. Для достижения максимальной эффективности необходимо учитывать планируемый объем выпуска саженцев, расчет выхода стандартной продукции с одного гектара и потребность в площадях под разные отделения.

Помимо этого, при планировании территории учитываются дороги, хозяйственные постройки и защитные насаждения. В итоге расчетные площади увеличиваются примерно на 15–20 %, что обеспечивает полноценное функционирование всего питомника. При создании питомника одним из ключевых этапов становится правильный выбор земельного участка и его грамотная организация. Наилучшим решением считается размещение хозяйства в центральной части обслуживаемого района, недалеко от основных автомобильных дорог. Такое расположение облегчает подвоз посадочного материала, а также обеспечивает доступ потребителей в периоды реализации саженцев — осенью и ранней весной. Земля, отведенная под питомник, должна

обладать универсальной пригодностью для функционирования всех его отделений. Особое значение имеет рельеф: участок должен быть ровным, без понижений и котловин, где может скапливаться холодный воздух. Наилучший вариант — небольшие склоны (уклон не более $1-3^\circ$). В условиях недостатка тепла выбирают территории с южной или юго-западной экспозицией, тогда как в южных регионах предпочтение отдается северным и северо-западным склонам, поскольку они лучше сохраняют влагу (Трунов, 2019).

Плодородие почвы — ещё один решающий фактор. Земля должна быть рыхлой, воздухо- и водопроницаемой, с оптимальной плотностью $1,30-1,45 \text{ г/см}^3$. Наиболее подходящими считаются легкосуглинистые и среднесуглинистые почвы, а также дерново-подзолистые, серые лесные, бурые, каштановые и черноземные разновидности. Допускаются супесчаные почвы, если они достаточно плодородны. Реакция почвенного раствора должна быть близка к нейтральной, а уровень залегания грунтовых вод не должен подниматься выше 2,5 м в маточных садах и 1,5 м в остальных отделениях. Важнейшим условием организации питомника выступает система водоснабжения. Поскольку участки размножения и доращивания невозможно вести без регулярного полива, наличие источников воды считается обязательным требованием. Открытые водоемы не только обеспечивают хозяйство влагой, но и создают благоприятный микроклимат для нормального роста растений.

Отдельное внимание уделяется размещению школы сеянцев. Обычно её закладывают на лучших землях питомника, где плодородие почвы и условия увлажнения наиболее благоприятны. Такая организация гарантирует качественное выращивание подвоев и высокий выход стандартных саженцев. Непрерывное выращивание одинаковых культур на одном участке неизбежно приводит к ряду отрицательных последствий: в почве накапливаются вредители и возбудители болезней, усиливается утомление почвы. Всё это в комплексе снижает жизнеспособность и замедляет рост саженцев. Чтобы избежать подобных проблем, плодовые культуры возвращают на прежние площади только через определённые промежутки времени. В школах сеянцев повторное выращивание

допускается не ранее чем через три года, а в отделениях формирования и маточных насаждениях — через 4–5 лет. Для реализации этих требований закладываются специальные севообороты, включающие от 4–6 до 6–8 полей. Конкретные схемы чередования подбираются с учётом природных условий зоны и особенностей хозяйства. При этом составляется индивидуальная система удобрения и обработки почвы. Важным элементом севооборота выступает черный пар — лучший предшественник для семян и подвоев, позволяющий одновременно бороться с сорняками и накапливать влагу в грунте (Самощенко, 2026).

Категорически недопустимо включать в севооборот культуры, поражающиеся теми же болезнями или вредителями, что и плодовые растения. Зато введение бобовых культур как сидератов значительно улучшает плодородие, так как при запахивании они обогащают почву органическим веществом и азотом.

В практике садоводства используется классификация плодовых насаждений, основанная на совокупности биологических и технологических признаков. К числу определяющих факторов относятся видовой состав культур, применяемые подвои, сила роста деревьев, конструктивные особенности насаждений, а также степень их интенсивности. Подобный подход позволяет учитывать как природные условия региона, так и экономические задачи хозяйства, что особенно актуально в условиях перехода к ресурсосберегающим и высокоэффективным технологиям.

С точки зрения ботанико-производственной структуры сады формируются как специализированные либо комбинированные. В первом случае преобладают насаждения семечковых культур, включая яблоню, грушу и айву, либо косточковых — вишню, сливу, черешню, абрикос и персик. Отдельную группу образуют ягодные насаждения, где возделываются земляника, смородина, крыжовник, малина и облепиха. Наряду с этим в ряде хозяйств применяются смешанные посадки.

Важным классификационным признаком является сила роста деревьев, напрямую связанная с типом подвоя. В зависимости от этого выделяют сильнорослые, среднерослые и слаборослые сады. Использование семенных либо

мощных вегетативных подвоев приводит к формированию высокорослых деревьев, высота которых, как правило, превышает 3,5 м. Применение средне- и слаборослых вегетативных подвоев позволяет ограничить рост кроны до 2,5–3,5 м или 1,5–2,5 м соответственно, что создает предпосылки для более рационального использования площади и упрощения агротехнических операций.

Традиционные сильнорослые сады характеризуются разреженными схемами размещения растений, при которых ширина междурядий достигает 7–8 м, а расстояние между деревьями в ряду составляет 3–4 м. Существенным ограничением данного типа является позднее вступление в плодоношение: экономически значимый урожай формируется, как правило, лишь на 7–8-й год после посадки. При этом эксплуатационный период таких насаждений может превышать три десятилетия, что объясняет их широкое распространение в российских специализированных хозяйствах, ориентированных на долгосрочное использование садов (Трунов, 2019).

В противоположность этому сады на карликовых и полукарликовых подвоях демонстрируют иную производственную модель. Они вступают в плодоношение значительно раньше — уже на 3–5-й год, что позволяет быстрее окупать капитальные вложения. Более плотные схемы посадки, при которых междурядья сокращаются до 4–6 м, а расстояние между деревьями — до 1,5–4 м, обеспечивают высокую отдачу с единицы площади. Несмотря на более короткий срок эксплуатации (около 18 лет для карликовых и до 25 лет для среднерослых деревьев), такие насаждения отличаются повышенной рентабельностью и рассматриваются как базовый элемент современного интенсивного садоводства.

Наиболее высокой плотностью отличаются сады на слаборослых подвоях с малообъемными кронами, где количество деревьев может достигать нескольких тысяч на гектар. Такие насаждения обеспечивают раннее и обильное плодоношение, однако требуют значительных первоначальных инвестиций и высокого уровня агротехнической культуры. Разновидностью данного подхода являются многострочные схемы размещения растений, при которых плотность

посадки возрастает до 5–10 тыс. деревьев на гектар, что соответствует тенденциям сверхинтенсивного садоводства.

Особый интерес представляют луговые, или полициклические, сады, плотность которых сопоставима с питомниковыми посадками. Их технология основана на использовании карликовых подвоев и сортов, формирующих плодовые почки на однолетнем приросте. Урожай в таких насаждениях может формироваться уже через год после посадки и достигать десятков тонн с гектара. После завершения цикла плодоношения побеги удаляются, и процесс повторяется, что делает данную систему гибкой, но требующей точного технологического сопровождения.

Колонновидные сады представляют собой одну из наиболее инновационных форм насаждений. Они сочетают высокую плотность посадки с многолетним плодоношением без обрезки «на цикл», как в луговых садах. Использование суперкарликовых подвоев и специальных сортов с минимальным развитием боковых побегов позволяет формировать компактные деревья высотой около 1,5 м. Потенциальная урожайность таких насаждений оценивается как исключительно высокая, что объясняет повышенный интерес к ним в зарубежных исследованиях и активные селекционные работы в российских научных учреждениях.

С точки зрения уровня интенсивности садовые насаждения различаются по плотности посадки, срокам вступления в плодоношение, продолжительности эксплуатации и экономической отдаче. Данные параметры находятся в тесной взаимосвязи и определяют стратегию использования садов в конкретных природно-экономических условиях.

Наименее интенсивными считаются экстенсивные сады, плотность которых, как правило, не превышает 250 деревьев на гектар. Их особенностью является длительный период до начала плодоношения — от восьми до десяти лет, однако при этом такие насаждения отличаются сравнительно продолжительным сроком эксплуатации, достигающим 25–35 лет. Подобные сады ориентированы на

долгосрочное использование земельных ресурсов и сохраняют значение в регионах с ограниченными возможностями внедрения интенсивных технологий.

Полуинтенсивные насаждения характеризуются более высокой плотностью размещения деревьев — в среднем от 300 до 600 экземпляров на гектар. Они вступают в плодоношение раньше, обычно на 5–7-й год после посадки, а срок их хозяйственного использования составляет около 20–25 лет. Данный тип садов занимает промежуточное положение между традиционными и интенсивными системами, сочетая умеренные капитальные затраты с относительно стабильной продуктивностью.

Интенсивные сады ориентированы на ускоренное получение урожая и более полное использование площади. При таких системах плодоношение начинается уже на 3–4-й год, однако продолжительность эксплуатации, как правило, сокращается до 15–20 лет. Экономическая эффективность данных насаждений во многом определяется уровнем агротехники и применением современных технологий ухода за растениями.

Наиболее радикальной формой являются суперинтенсивные сады, которые начинают формировать урожай в кратчайшие сроки — на 2–3-й год после закладки. При этом срок их функционирования ограничен 10–15 годами, что требует точного расчёта окупаемости и строгого соблюдения технологических регламентов. Подобные системы рассматриваются как инструмент быстрого возврата инвестиций и активно внедряются в хозяйствах, ориентированных на высокую товарность продукции.

Ключевым этапом создания любого типа садовых насаждений является их закладка, от качества которой в значительной степени зависят последующее развитие растений, уровень урожайности и общая экономическая эффективность производства. Ошибки, допущенные на начальной стадии, как правило, имеют отсроченный характер и проявляются спустя несколько лет, когда возможности их исправления оказываются существенно ограниченными. В результате снижается продуктивность, ускоряется процесс старения насаждений и возрастает риск их преждевременной гибели, что приводит к значительным финансовым

потерям. В связи с этим закладка садов осуществляется на основе детально проработанных проектов, разрабатываемых специализированными организациями. В процессе проектирования решается комплекс взаимосвязанных задач, включающих оценку климатических условий региона, анализ почвенного покрова и выбор наиболее пригодных участков, обоснование сортового и породного состава, а также определение конструкции плодовых и защитных насаждений. Существенное значение имеет подбор современных технологий возделывания культур и рациональная организация территории сада (Трунов, 2019).

1.2.1. Климатические условия

Оценка агроклиматических условий территории основывается на данных длительных метеорологических наблюдений, позволяющих всесторонне охарактеризовать температурный, водный и ветровой режимы местности. Такой анализ необходим для выявления как благоприятных факторов, так и потенциальных рисков, способных ограничивать устойчивое развитие растений. В современных условиях изменчивости климата значение данного этапа существенно возрастает, поскольку именно он определяет адаптационные возможности плодовых и ягодных культур.

При анализе климатических показателей первостепенное внимание уделяется экстремальным значениям температуры и частоте их повторяемости. Существенную роль играют минимальные отрицательные температуры, продолжительность вегетационного периода, величина суммы активных температур, а также сроки наступления последних весенних и первых осенних заморозков. Не менее важными являются максимальные температурные показатели в зимний и летний периоды, режим выпадения осадков и вероятность развития засухи. В совокупности эти параметры формируют общий климатический фон, определяющий возможность возделывания садовых культур в конкретной местности.

Дополнительно учитываются характеристики снежного покрова и глубина промерзания почвы, поскольку они оказывают непосредственное влияние на состояние корневой системы растений в зимний период. Анализ минимальных температур в зоне корнеобитаемого слоя позволяет оценить риск подмерзания корней, особенно в условиях малоснежных зим. Важным элементом климатической оценки является также изучение направлений преобладающих и наиболее опасных ветров, способных усиливать испарение, вызывать механические повреждения растений и снижать эффективность защитных насаждений (Самощенко, 2026).

Существенным критерием пригодности территории для садоводства считается периодичность повторения критических температур. Так, если экстремально неблагоприятные температурные условия возникают в среднем один раз в десятилетие, размещение садов в подобных условиях считается экономически неоправданным. При более редком их проявлении, например раз в двадцать лет, выращивание плодовых культур допускается при условии применения адаптивных агротехнических мероприятий.

Особо опасными для садовых насаждений являются весенние заморозки, совпадающие с фазой цветения. Даже незначительное понижение температуры в этот период может привести к повреждению генеративных органов и, как следствие, к резкому снижению урожая. Чувствительность культур к заморозкам различна, что необходимо учитывать при подборе сортов и размещении насаждений. Аналогичным образом уязвимыми оказываются и ягодные культуры, для которых критические температуры могут быть выше, чем для древесных пород.

1.2.2. Выбор участка для сада

Рельеф местности является одним из значимых факторов, определяющих условия роста и развития плодовых деревьев, поскольку он влияет на распределение тепла, влаги и формирование почвенного покрова.

Неблагоприятными для размещения садов считаются замкнутые понижения рельефа, где возрастает вероятность повреждения растений весенними и осенними заморозками, особенно в фазу цветения.

Экспозиция склонов существенно изменяет тепловой режим территории. Южные склоны характеризуются более интенсивным прогреванием почвы, тогда как северные остаются холоднее, восточные и западные занимают промежуточное положение. Эти различия определяют накопление тепла, перераспределение осадков, условия поверхностного стока и уровень испарения влаги, что в совокупности отражается на продуктивности насаждений.

Рациональный выбор участка в пределах почвенно-климатической зоны позволяет ослабить негативное влияние климатических факторов, тогда как ошибки в размещении садов, напротив, усиливают их действие. Наиболее благоприятными считаются умеренно наклонные участки, обеспечивающие хороший дренаж и удобство механизированной обработки. На крутых склонах повышается риск водной эрозии, а при значительных уклонах закладка садов возможна лишь при проведении специальных инженерных мероприятий, таких как террасирование.

В условиях недостаточного увлажнения ключевое значение приобретает возможность организации эффективного орошения, без которого устойчивое плодоношение садов становится затруднительным. При этом пригодность участков с аналогичным рельефом существенно варьирует в зависимости от региональных почвенно-климатических условий, что требует дифференцированного подхода к выбору территории.

Поскольку плодовые и ягодные культуры формируют глубокую корневую систему, особое внимание уделяется свойствам почв и почвообразующих пород. Наиболее благоприятными являются рыхлые, хорошо аэрируемые и влагоёмкие породы, не содержащие токсичных солей и не подверженные застою холодных грунтовых вод. Напротив, плотные почвы с низкой водо-и воздухопроницаемостью и повышенной засоленностью существенно

ограничивают рост растений и рассматриваются как малопригодные для закладки садов (Плодоводство, 2012).

Перед закладкой сада обязательным этапом является комплексная оценка почвенных условий участка, поскольку именно состояние почвенного профиля во многом определяет долговечность и продуктивность насаждений. Исследование проводится на значительную глубину, что позволяет выявить неблагоприятные физические или агрохимические свойства, способные ограничивать развитие корневой системы. При наличии таких факторов участок исключается из использования под плодовые культуры либо рассматривается для размещения ягодных растений с менее глубокой корневой системой.

Садопригодность почв определяется сочетанием их физических и химических характеристик. Механический состав и плотность влияют на водно-воздушный режим, структурное состояние и тепловой баланс почвы. Чрезмерное уплотнение ограничивает рост корней, ухудшает аэрацию и снижает устойчивость деревьев к неблагоприятным условиям. Не менее важным показателем является уровень залегания грунтовых вод, так как недостаток кислорода в зоне корнеобитания приводит к угнетению растений и снижению урожайности.

Химические свойства почв, прежде всего реакция среды и солевой режим, оказывают существенное влияние на питание плодовых культур. Наиболее благоприятными считаются слабокислые и нейтральные почвы, тогда как выраженная кислотность или щёлочность требует проведения мелиоративных мероприятий. Засоление и повышенное содержание карбонатов нарушают усвоение элементов питания и могут вызывать физиологические расстройства растений, что особенно характерно для ряда регионов с аридными условиями.

Обеспеченность почвы макро- и микроэлементами рассматривается как важный, но управляемый фактор. Дефицит питательных веществ, в отличие от неблагоприятных физических свойств, может быть компенсирован за счёт системы удобрений до посадки и в процессе эксплуатации сада, что позволяет повысить продуктивность насаждений без замены участка (Плодоводство, 2012).

Наряду с почвенными условиями эффективность садоводства в значительной степени определяется правильным подбором пород, сортов и подвоев. Ассортимент культур формируется с учётом зонального районирования, почвенно-климатических особенностей территории и производственной направленности хозяйства. При проектировании садов учитываются также экономические и логистические факторы, включая близость рынков сбыта, перерабатывающих предприятий и наличие трудовых ресурсов.

Для крупных товарных садов характерна ориентация на ограниченное число высокопродуктивных и устойчивых сортов, обеспечивающих стабильное и ежегодное плодоношение. Преимущество отдается культурам с хорошими вкусовыми и товарными качествами, а также сортам, пригодным для хранения и переработки, что позволяет оптимизировать структуру производства и повысить его экономическую эффективность.

1.2.3. Схема посадки и площадь питания растений

В условиях интенсивного садоводства продуктивность насаждений определяется не только площадью питания отдельных деревьев, но и схемой их размещения. Рационально подобранная схема посадки позволяет более эффективно использовать земельные ресурсы и ускорить формирование урожая. Повышение плотности насаждений достигается либо за счёт сокращения расстояний между деревьями в ряду при сохранении междурядий, либо путём одновременного уменьшения расстояний как в ряду, так и между рядами.

Увеличение плотности посадок, как правило, сопровождается изменением конструкции сада. Это выражается в применении компактных форм крон, специальных приёмов обрезки, а также в использовании карликовых и полукарликовых подвоев и сортов. В зависимости от количества деревьев на единице площади выделяют экстенсивные и интенсивные насаждения, отличающиеся уровнем технологической оснащённости и хозяйственной отдачи. На практике наибольшее распространение получили схемы размещения,

обеспечивающие удобство механизированной обработки и оптимальную плотность посадки.

Важнейшим условием успешного выращивания плодовых культур является тщательная предпосадочная подготовка почвы. Она направлена на создание благоприятных условий для формирования глубокой и хорошо развитой корневой системы, что в дальнейшем определяет силу роста деревьев и сроки начала промышленного плодоношения. Подготовка участка включает проведение мелиоративных мероприятий, выравнивание поверхности и, при необходимости, устройство специальных инженерных сооружений на склонах.

Значительное внимание уделяется окультуриванию почвы, которое осуществляется за несколько лет до посадки сада. Использование травосмесей или сидеральных культур способствует улучшению структуры почвы, накоплению органического вещества и повышению её биологической активности. Основным приёмом основной обработки является глубокое рыхление или вспашка, обеспечивающая разуплотнение почвенного профиля и улучшение водно-воздушного режима. Одновременно вносятся органические и минеральные удобрения, формирующие запас питательных веществ на начальный период развития насаждений.

При этом технология обработки почвы должна учитывать её химические особенности. На почвах с повышенной щёлочностью или высоким содержанием карбонатов чрезмерно глубокая вспашка может оказывать отрицательное влияние на состояние растений. В таких условиях предпочтение отдают более щадящим способам обработки, сочетающим рыхление подпахотного слоя с сохранением стабильных свойств верхних горизонтов.

Сроки закладки садов определяются, прежде всего, почвенно-климатическими условиями региона и биологическими особенностями выращиваемых культур. В зонах с холодным и резко континентальным климатом посадочные работы целесообразно проводить в весенний период, что снижает риск подмерзания молодых растений. В более тёплых южных районах предпочтение отдается осенней посадке, которая при благоприятных условиях

может дополняться зимними сроками. Существенным преимуществом осенней закладки является более продолжительный период выполнения работ по сравнению с весенней, ограниченной коротким временным интервалом.

Оптимальные сроки посадки варьируют в зависимости от биологических особенностей плодовых и ягодных культур. Семечковые породы, как правило, лучше адаптируются при осенней посадке, тогда как косточковые требуют дифференцированного подхода с учётом климатической зоны. Ягодные культуры, отличающиеся ранним началом вегетации, также чаще высаживают осенью, за исключением территорий с неблагоприятными зимними условиями, где предпочтительны весенние сроки (Самощенко, 2026).

Неотъемлемым условием успешной закладки сада является использование качественного посадочного материала. Для этих целей отбирают здоровые, хорошо развитые саженцы, соответствующие установленным стандартам. До момента посадки их размещают на участке с соблюдением сортовой отдельности и в количестве, точно соответствующем проектной схеме размещения деревьев, что позволяет обеспечить равномерность насаждений и снизить потери при посадочных работах.

Посадка плодовых деревьев может выполняться различными способами, выбор которых определяется условиями участка, уровнем механизации и типом создаваемого сада. В практике применяются механизированные, полумеханизированные и ручные методы, каждый из которых имеет свои технологические особенности и область целесообразного использования. В условиях ограниченного доступа техники или на небольших участках предпочтение отдают ручной посадке, тогда как при закладке крупных и интенсивных насаждений всё чаще используются специализированные технические средства.

Независимо от способа посадки ключевым требованием является правильное размещение корневой системы и обеспечение плотного контакта корней с почвой. Для этого почву вокруг саженца равномерно уплотняют, формируя условия для быстрого укоренения. Важным элементом является также

локальное внесение удобрений при посадке, что способствует активному начальному росту растений.

Глубина посадки имеет принципиальное значение для дальнейшего развития деревьев. Корневая шейка привитых растений должна располагаться таким образом, чтобы после осадки почвы она находилась на уровне поверхности, что предотвращает как заглубление, так и оголение корней. После посадки приствольные круги мульчируют для сохранения влаги и улучшения теплового режима почвы. Сроки формирующей обрезки зависят от времени закладки сада: при весенней посадке её проводят сразу, при осенней — откладывают до следующего вегетационного периода.

Особое внимание уделяется защите молодых растений после осенней посадки. Для предотвращения повреждений морозами и грызунами применяются различные защитные материалы, обеспечивающие механическую и температурную изоляцию штамба. В районах с повышенным риском подмерзания корневой системы дополнительно используют приёмы окучивания, что повышает зимостойкость саженцев и способствует их успешной перезимовке.

Проведённый анализ показывает, что успешное функционирование плодовых и ягодных культур в решающей степени определяется качеством проектирования и закладки сада. Выбор типа насаждений, уровня их интенсивности, схем размещения деревьев и применяемых подвоев должен осуществляться с учётом почвенно-климатических условий региона, рельефа территории и биологических особенностей культур. Игнорирование этих факторов на начальном этапе приводит к снижению продуктивности садов и росту экономических рисков в процессе их эксплуатации.

Особую роль играет комплексная оценка климатических и почвенных параметров участка, позволяющая выявить лимитирующие факторы и определить возможность их компенсации за счёт агротехнических и мелиоративных мероприятий. Рациональный подбор пород, сортов и подвоев, а также применение современных схем посадки и технологий предпосадочной подготовки почвы создают условия для ускоренного вступления насаждений в плодоношение и

повышения урожайности (Самощенко, 2026).

Таким образом, закладка сада представляет собой многофакторный и наукоёмкий процесс, требующий системного подхода и использования современных технологий. Реализация научно обоснованных решений на данном этапе обеспечивает устойчивость садовых агроценозов, повышение эффективности использования земельных ресурсов и конкурентоспособность продукции в долгосрочной перспективе.

1.3. Мелиоративные режимы и способы полива плодовых культур

В Российской Федерации площадь сельскохозяйственных угодий, относящихся к категории орошаемых земель, составляет 4,5 млн га. При этом около 70% указанных территорий оборудовано широкозахватными дождевальными машинами (Дубенок с соавт., 2023⁶, 2024⁶).

При выращивании посадочного материала в плодовых питомниках используют различные технологии орошения. В зависимости от природно-климатических условий, особенностей почвенного покрова и применяемой технологии выращивания растений применяют как поверхностные способы полива (полив по бороздам и напуск по полосам), так и современные методы, включая капельное, внутрипочвенное и комбинированное орошение (Ольгаренко, 2009). На протяжении длительного времени наиболее распространенным способом увлажнения почвы в питомниководстве оставалось дождевание (Технология орошения..., 1987; Бородычев, 1989; Северин, 2008; Гемонов, 2024).

Использование дождевания в плодовых питомниках обусловлено биологическими особенностями выращиваемых растений. На начальных этапах развития они характеризуются сравнительно небольшой надземной массой, а основная часть корневой системы располагается в пределах 30–50 см от поверхности почвы. В связи с этим отсутствует необходимость в глубоком промачивании корнеобитаемого слоя, что делает применение данного способа полива достаточно эффективным (Тарасенко, 1956; Технология орошения..., 1987; Северин, 2008).

Вместе с тем в современных условиях поверхностные способы полива и дождевание постепенно утрачивают свое значение в питомниководстве. Это обусловлено рядом существенных недостатков, отмеченных в исследованиях (Carter, 1990; Шуравилин, Кибика, 2006). После проведения полива в активном слое почвы нередко формируется избыточное увлажнение, тогда как к завершению межполивного периода растения испытывают дефицит влаги. Кроме того, при использовании данных технологий снижается эффективность расходования оросительной воды, что может способствовать повышению уровня грунтовых вод и, как следствие, развитию процессов заболачивания либо вторичного засоления земель. К отрицательным последствиям также относят ухудшение агрохимических и водно-физических свойств почвы, проявляющееся в вымывании подвижных элементов питания из корнеобитаемого слоя, переуплотнении почвы, образовании поверхностной корки и других неблагоприятных изменениях. Дополнительным ограничивающим фактором является высокая трудоемкость выполнения поливов (Гемонов с соавт., 2025).

Следует отметить, что большинство существующих рекомендаций по организации орошения плодовых питомников были разработаны преимущественно применительно к дождеванию, что объясняется сравнительно невысокими затратами на создание таких оросительных систем и простотой их эксплуатации. Вместе с тем дождевание обладает рядом важных преимуществ, среди которых следует выделить возможность повышения влажности приземного слоя воздуха, уменьшение интенсивности транспирации растений, а также проведение противозаморозковых поливов (Степанов, 1981; Технология орошения..., 1987; Иволгин, 2002; Войтюк с соавт., 2009).

Рост и плодоношение плодовых культур в садах взаимосвязаны с биотическими и абиотическими условиями природной среды, такими как водный, тепловой и питательный режимы почвы (Вадюнина, 1986). Вопросами устойчивости плодовых культур к абиотическим стрессам летнего периода занимались ученые из Северо-Кавказского региона Российской Федерации. Исследования проводились в яблоневом саду различного географического

происхождения опытно-производственного хозяйства «Центральное» города Краснодар в период с 2011 по 2013 год. Авторы ежемесячно отбирали образцы листьев с трех деревьев каждого сорта в трехкратной повторности. Содержание свободной и связанной форм воды определялось по рекомендациям М.Д. Кушниренко и С.Н. Печерской (Кушниренко, 1991). На основании результатов исследования устойчивости плодовых культур к засухе и высоким температурам воздуха было выявлено, что для некоторых отечественных сортов яблони характерно перенесение длительного отсутствия осадков при сохранении стабильности роста, высокого содержания воды и пигментов в листьях (Ненько с соавт., 2019).

Комплексные исследования по выявлению потенциала устойчивости плодовых культур к высокотемпературным стрессорам проводились на базе во ВНИИ генетики и селекции плодовых растений им. И.В. Мичурина с 2008 по 2010 годы. Исследование влияния засухи и высоких температур воздуха на более двухсот форм груши и яблони проводилось (Леонченко с соавт., 1999) при рассмотрении водного режима и динамики показателей активности фотосинтетического аппарата в условиях обезвоживания и воздействия высоких температур, созданных искусственным путем, были выделены сорта яблони и груши с высоким уровнем устойчивости к засухе (Савельев с соавт., 2012).

Несмотря на исследования, подтверждающие наличие отечественных сортов плодовых культур, устойчивых к засухе и высоким температурам воздуха, далеко не каждый сорт можно выращивать в других регионах РФ. Исходя из этого, можно сделать обоснованный вывод о том, что одним из основных факторов, влияющих на развитие растений, является содержание влаги в почве (Макарычев с соавт., 2000, 2004).

Значимым исследованием влияния влагообеспеченности почвы на продуктивность плодовых культур стал опыт, заложенный в лесостепной зоне Алтайского края в период с 2012 по 2014 гг. на территории НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко, так как практически во всех садах Алтайского края орошение не применяется. Исследование проводилось в течение всего

вегетационного периода в условиях яблоневого и грушевого сада. Запасы продуктивной влаги в условиях яблоневого сада в апреле 2012 были удовлетворительными, но в течение лета снизились до критического уровня, запасы влаги под грушевым садом в том же году оказались выше, чем под яблонями, но в течение лета также снизились. Лето следующего года было дождливым, что отразилось на запасах влаги почвы, однако возник острый дефицит влаги вплоть до осени. Третий год исследования характеризовался наиболее засушливым летним периодом, в результате неравномерного выпадения осадков и отсутствия оросительных мелиораций рост и продуктивность яблоневых и грушевых садов характеризовались низким, скачкообразным темпом, а плоды имели низкие качественные показатели (Макарычев, 2021; Калмыкова, 2024).

Не менее значимым исследованием данного института можно считать опыт С.В. Макарычева по оценке произрастания насаждений облепихи при лиманном орошении в период с 2003 по 2004 год на 3-ярусном склоновом лимане мелкого затопления. Исследование проводилось классическими лабораторно-аналитическими методами определения влажности, температуры и водно-физических свойств почвы (Болотов с соавт. 2002,2012; Валюдина 1986; Мазиров 1997). По данным С.В. Макарычева корневая система облепихи располагается на глубине около 40 см, однако, отдельные корни разрастаются на глубину 80-120 см. В случае, когда насаждения облепихи подвергаются влиянию паводков, повышается вероятность образования еще одного яруса придаточных корней. Как следует из приведенных данных, продуктивные запасы влаги в конце весны 2004 года были удовлетворительными, однако, уже во второй половине лета увлажнение почвы изменилось до неудовлетворительного состояния, что привело к водному голоданию растений в течение вегетационного периода (Макарычев, 2021).

В 2006 году С.В. Макарычев совместно с А.В. Шишкиным продолжили исследования по выявлению закономерностей формирования водного режима чернозема под насаждениями облепихи с целью разработки оптимального режима

орошения данной культуры, так как возделывание облепихи занимает важную нишу в садоводстве Алтайского края, так как данная культура славится не только пищевыми достоинствами, но и важными лечебными свойствами (36). В летние месяцы 2006 года выпало незначительное количество осадков, засушливый период пришелся на июнь, однако осадки в июле устранили дефицит влаги в почве. В августе осадков выпало меньше нормы, что привело к иссушению. В результате суровой зимы, позднего прихода весны и недостатка влаги в почве в вегетационный период, урожайность облепихи снизилась, т.к. культура большую часть вегетационного периода нуждалась в орошении. В 2007 году обильные дожди и температура воздуха, комфортная для произрастания культуры, благоприятно отразились на росте и плодоношении облепихи. В 2008 году дефицит влаги в почве наблюдался только в конце вегетации, однако это все же привело к тому, что облепиха не получила того количества влаги, которое требовалось для оптимального роста и плодоношения (Шишкин, 2020).

Экономическая оценка урожайности плодовых культур, выращиваемых на скелетных почвах без орошения, а также при мелиорировании траншейным способом в условиях Крыма проводилось Н.Е. Опанасенко в 2010 году. Урожайность и оценка общего состояния деревьев проводилась по принятым программам и методикам С.А. Косых и Г.А. Лобанова (Косых, 1973). Результаты исследования показали, что урожайность персика при орошении составила 135 ц/га, что больше, чем урожай персика без орошения (95 ц/га). По данным С.А. Косых и Е.П. Шоферистова (Косых, 1979) урожайность алычи на орошаемых землях в степной предгорной местности Крыма составила 170-190 ц/га, следовательно, в данных условиях алычу необходимо поливать. Сравнение выращивания черешни в степной зоне показало, что урожайность данной культуры при поливе выше (110 ц/га), чем при отсутствии орошения (75 ц/га), что свидетельствует об экономической целесообразности возделывания черешни в условиях восполнения продуктивной влаги в корнеобитаемый слой почвы (Опанасенко, 2010).

Процесс выращивания плодовых культур занимает не один год, поэтому

недостаток влаги в почве негативно сказывается на росте, развитии и плодоношении растений в течение всего периода возделывания культуры (Апажев с соавт., 2018). Помимо этого, дефицит влаги влияет на устойчивость семян к зимним заморозкам, влечет за собой отмирание почек, и, в результате, растения становятся менее устойчивыми к болезням и вредителям, поэтому к выбору способа полива нужно подходить ответственно и учитывать водно-физические свойства почвы, рельеф и мелиоративные условия орошаемой территории, трудо-и энергозатраты, сортовой состав растений. Способы полива должны исключать возможность водной эрозии, минимизировать энергетические и водные ресурсы, создавать условия для механизации работ, иметь возможность внесения удобрений с поливной водой, а также стремиться к автоматизации процесса орошения (Шекихачева, 2020, 2019; Шекихачева с соавт., 2020, 2018). При поливе плодовых культур в садах, как правило, используют поверхностное орошение, дождевание и микроорошение. Наиболее распространенный метод полива – поверхностный, так в молодых садах выкапывают 1-2 борозды по обеим сторонам ряда, в уже плодоносящих садах – по одной борозде. Подача воды определяется в промежутке от 0,3 до 1,5 л/с исходя из длины борозды, уклона территории и плотности почвы. При подаче воды и дальнейшем заполнении борозды оросительная вода равномерно увлажняет почву, улучшает газообмен в активном слое почвы, создавая оптимальные условия для роста и приживаемости растений (Апажев, 2021).

В Тверском районе Кабардино-Балкарии на ОПХ «Опытный» проводились исследование по влиянию полива по бороздам на рост, развитие и плодоношение яблони. Исследования показали, что на опытном участке, где влажность почвы поддерживалась в пределах 70-80% ПВ, всасывающие корни яблони росли интенсивнее. Задачей исследования было изучение влияния орошения и удобрений на развитие надземной и корневой систем растений, на плодоношение и химический состав плодов, а также на повышение эффективности удобрений при поливе. Влажность почвы определялась каждые 15-20 дней термостатно-весовым методом, концентрация клеточного сока определялась

рефрактометрическим методом, динамика роста корней производилась по рекомендациям В.А. Колесникова (Колесников, 1962).

В результате эксперимента было установлено, что в условиях степной зоны полив по бороздам с внесением удобрений оказывает положительное влияние на рост побегов и плодоношение плодовых культур. Влажность почвы в пределах 70-80% ПВ на глубине 2,0 м стала оптимальной для условий произрастания яблони. Наибольший прирост побегов в высоту и по диаметру наблюдался при поддержании влажности почвы на уровне не менее 80% ПВ. Помимо этого, исследование показало, что основная часть корневой системы находилась на глубине около 120-150 см, в свою очередь при возделывании плодовых культур без полива, корневая система располагалась на глубине не более 80-90 см. Поддержание влажности почвы в оптимальном диапазоне увеличивает плодоношение деревьев в 2-3 раза по сравнению с возделыванием на богаре. Прибавка урожая при поливе и внесении удобрений составила 6,4 т/га, вес одного плода составил 187-228 г, что значительно выше веса плода деревьев, выращиваемых без орошения (147-164 г) (Азаматов, 2011).

В условиях Ростовской области производилась разработка режимов орошения и доз минеральных удобрений вишни. Исследования проводились на базе ЗАО «Бакланниковский» Семикаракорского района на территории площадью более 200 га. Оросительную воду подавали по бороздам перпендикулярно распределительным каналам с расходом 1 л/с, длина борозд составила 250 м. Климатические условия региона имеют свои особенности, осадки распределяются неравномерно и выпадают в недостаточном количестве для выращивания плодовых культур. Суховеи негативно влияют на верхний слой почвы, иссушая его, а также приводят к обсыпанию завязи. Увлажнение производилось на глубину 80 см, где располагалась основная масса корней. Поскольку главным критерием эффективности технологии возделывания плодовых культур является урожайность, то результаты многолетних исследований, показывающих наименьшую урожайность на варианте опыта без орошения, имеют важное значение (Панкарикова, 2008).

В регионах с проблемой неравномерного распределения осадков в течение вегетационного периода и увеличения дефицита оросительной воды поливы продолжают производиться не экономичными способами, в результате чего культуры не получают должного увлажнения для оптимального произрастания и плодоношения. Вопросам разработки и внедрения новых способов орошения для экономии поливной воды без вреда для выращивания сельскохозяйственных культур посвятила цикл статей Х.А. Зайналова. Целью исследования было изучение предпосылок улучшения возделывания плодовых культур в условиях Азербайджана. Используемые ранее технические средства орошения не удовлетворяют природным условиям республики. Разработанная автором новая конструкция техники орошения была направлена на модернизацию существующего поверхностного способу полива. Эффективность того или иного способа орошения, а также влияние удобрений на развитие молодых яблоневых садов производилась в условиях светло-каштановых почв Габалинского района Азербайджана. Результаты исследования показали, что средняя высота деревьев при поливе по бороздам составила 159 см, а при микродождевании – 173см, а также по действию на рост и урожайность яблони орошение микродождеванием намного опережает поверхностное орошение, так как прибавка урожая при микродождевании составила 3,34 ц/га (Зейналова, 2013).

Орошение дождеванием – один из самых удобных способов полива сада, где отсутствуют канавы, возможная полная механизация в течение выращивания плодовых насаждений, подача оросительной воды может быть более точной, в сравнении с поверхностным орошением. Однако, помимо достоинств данного способа, есть ряд недостатков. Во-первых, высокая стоимость оборудования и энергопотребления, во-вторых, сложное использование на склоновых землях, в-третьих, сложность при расчетах необходимой поливной воды(Калмыкова, 2025).

В условиях ведения горного садоводства также возможно применение мелкодисперсного дождевания. Результаты исследования З.С. Албогачиева подтверждают влияние орошения на рост, развитие и плодоношение плодовых культур. Данный способ орошения характеризуется различными размерами

капель искусственного дождя, уменьшение которых приводит к более интенсивному испарению, также наиболее высокой уязвимости при влиянии ветра. Объем поливной нормы при мелкодисперсном дождевании зависит от орошаемой культуры, ее листовой пластины и погодных условий. Проведение дождевания происходит в тот период, когда для выращивания плодовой культуры складываются неблагоприятные метеорологические условия, такие как: высокая температура воздуха в пределах 25-30°C, пониженная относительная влажность воздуха в пределах 40-50%. На орошаемой территории производили отбор образцов почвы на предмет измерения ее влажности, проводили наблюдение за климатическим режимом, а также определяли урожайность орошаемых культур. Результаты исследования показали, что изменение микроклимата над грушевыми насаждениями под воздействием мелкодисперсного дождевания существенно отразилось на приросте однолетних побегов, состоянии и размере листовой пластины, а также на урожайности грушевого сада. На контрольном участке по причине засухи листовая пластина груши сильно повреждалась. При орошении листовая поверхность растений была в отличном состоянии, что обуславливает улучшение водного режима груши (Албогачиев, 2010).

Внутрипочвенный полив – способ орошения садов с помощью трубы, располагающейся под землей. У данного способа много преимуществ. К примеру, при таком способе возможна экономия воды, так как площадь увлажнения находится в корнеобитаемом слое почвы. Помимо этого, отсутствует риск развития почвенной эрозии, также данный способ может применяться на местности с любым уклоном, существует возможность полностью автоматизировать процесс орошения. Однако, существуют и значительные недостатки внутрипочвенного полива. Проектирование и монтаж системы орошения требует высоких затрат, увлажнители системы часто забиваются, что парализует возможность эксплуатации отдельных элементов и системы орошения в целом (Калмыкова, 2025).

Вопрос разработки новых высокоэффективных, ресурсосберегающих технологий орошения коснулся и Волгоградскую область. Исследованием

применения внутripочвенного орошения занимались на опытном участке, расположенном в ОАО «Сады Придонья» Городищенского района в период с 2000 по 2002гг. Исследуемый сад был заложен в 1993 году. Первым фактором являлся режим орошения с вариантами вегетационных поливов при снижении влажности в активном слое почвы до 60% НВ, до 70% НВ и до 80% НВ. Вторым фактором являлось сортовое отличие плодовой культуры (яблони). На контроле производился полив по бороздам при поддержании влажности почвы на глубине 1 м на уровне не ниже 70% НВ. Необходимость орошения яблони обуславливается тем, что осадков, выпадающих в течение вегетационного периода не достаточно для оптимальных условий роста и развития штамба. В ходе исследования в варианте внутripочвенного орошения с поддержанием влажности почвы не ниже 60% НВ отмечены плоды крупнее, чем в варианте орошения по бороздам. В сравнении с контролем размер плодов в вариантах полива с поддержанием влажности почвы не ниже 70 и 80% НВ также увеличился. Что касается урожайности, то в варианте полива по бороздам она постепенно снижалась в течение исследования. Поддержание влажности не ниже 70% НВ повысило продуктивность яблони. Автор сделал вывод, что по всем сортам яблони лучшими показателями были деревья, произрастающие на варианте с поддержанием влажности не менее 70%. Таким образом, применение внутripочвенного орошения благоприятно влияет на рост и развитие плодовых насаждений, а также на увеличение количества плодов, так как урожайность исследуемых сортов в сравнении с поливом по бороздам в среднем возросла в 1,5 раза (Ахмедов, 2009).

1.4. Выращивание плодовых культур в питомниках и садах с применением капельного орошения

По мере развития растений и увеличения температуры воздуха и почвы их потребность во влаге постепенно возрастает. При этом при использовании дождевания оросительная вода подается периодически с расходом, значительно превышающим скорость впитывания влаги почвой. Такое несоответствие между интенсивностью водоподачи и водопроницаемостью почвы приводит к

формированию поверхностного стока, который является одной из причин развития процессов водной эрозии. В связи с этим возрастает необходимость применения гидромелиоративных систем нового поколения, позволяющих более эффективно использовать водные ресурсы и одновременно отвечающих современным экологическим требованиям. К основным требованиям, предъявляемым к таким системам, относятся предотвращение образования поверхностного и глубинного стока, а также обеспечение подачи воды в объемах, соответствующих фактической эвапотранспирации растений. Наиболее полно указанным требованиям соответствуют малообъемные способы орошения.

Малообъемное орошение в настоящее время рассматривается как одно из наиболее перспективных направлений совершенствования технологий полива, поскольку позволяет создавать благоприятный водный режим для роста и развития растений. Его отличительной особенностью является подача воды с расходом, не превышающим поглотительную способность почвы. Это достигается благодаря локальному увлажнению корнеобитаемой зоны либо распылению воды с низкой интенсивностью дождя, составляющей менее 0,1 мм/мин. Такой подход способствует поддержанию оптимальной влажности почвы без образования поверхностного стока. Кроме того, по сравнению с дождеванием применение малообъемного орошения позволяет сократить расход поливной воды в 1,5–2,0 раза. Несмотря на очевидные преимущества, широкое внедрение подобных технологий в отечественном садоводстве и питомниководстве пока ограничено. Основными причинами являются недостаточная разработанность научно обоснованных режимов орошения, а также дефицит теоретических исследований, посвященных особенностям функционирования и эффективности современных малообъемных оросительных систем (Дубенок с соавт., 2023⁶, 2024⁶).

Развитие питомниководства относится к числу приоритетных задач агропромышленного комплекса Российской Федерации, поскольку качество выращиваемого посадочного материала во многом определяет продуктивность будущих многолетних насаждений. Получение высококачественных саженцев

невозможно без применения современных технологий, основанных на научном подходе, важнейшей составляющей которых является рациональная организация орошения. Повышение эффективности использования оросительной воды, предупреждение развития водной эрозии и сохранение плодородия почв требуют внедрения экологически безопасных и ресурсосберегающих технологий полива нового поколения. Особое значение при этом приобретает снижение расхода воды в расчете на единицу получаемой продукции. Наиболее полно данным требованиям отвечают капельное и внутрипочвенное орошение, а также такие способы, как подкрановое, мелкодисперсное и синхронное импульсное дождевание (Штанько с соавт., 2021).

Под термином «малообъемное орошение» объединяют группу способов полива, обладающих общими принципами функционирования. Их отличительными особенностями являются использование строго дозированных поливных норм в пределах 20–100 м³/га, а также согласование объемов подаваемой воды с фактическим водопотреблением растений. Такой режим увлажнения обеспечивает поддержание оптимальной влажности корнеобитаемого слоя почвы за счет компенсации эвапотранспирации, произошедшей за предшествующий период.

Согласно классификации, предложенной А.Н. Костяковым (Костяков, 1960), распределение оросительной воды на сельскохозяйственных угодьях может осуществляться тремя основными способами. Первый основан на подаче воды по поверхности почвы с последующим ее проникновением в грунт сверху и относится к поверхностному орошению. Второй предусматривает распределение воды в виде искусственного дождя с помощью специальных дождевальных устройств, благодаря чему увлажняется не только почва, но и надземные органы растений; данный способ получил название дождевания. Третий способ заключается в подаче воды снизу через размещенные в почве трубы или дрены. При этом увлажнение активного слоя происходит небольшими нормами под действием всасывающей способности почвы, что соответствует внутрипочвенному орошению.

Первые два способа объединяет принцип периодического внесения воды с последующим накоплением запасов влаги в почве. В отличие от них внутрипочвенное орошение основано на практически непрерывном поступлении воды непосредственно в почвенный профиль (Губер с соавт., 1989). Дальнейшее развитие научных представлений А.Н. Костякова о необходимости обеспечения растений водой в соответствии с их фактическим водопотреблением привело к созданию новых технологий полива. К их числу относятся способы локальной подачи воды непосредственно в корнеобитаемый слой в виде отдельных капель, а также технологии, обеспечивающие регулирование влажности приземного слоя воздуха. Среди современных разновидностей малообъемного орошения особое место занимает капельный полив, который рассматривается как один из наиболее эффективных способов водообеспечения плодовых и ягодных питомников. Его применение позволяет формировать наиболее благоприятные условия для роста и развития растений за счет доставки воды непосредственно в зону расположения основной массы корней. Дополнительным преимуществом капельных систем является возможность широкого использования средств автоматизации, обеспечивающих более точное управление процессом орошения.

Капельное орошение отличается высокой водозэффективностью, поскольку предусматривает дозированную подачу воды непосредственно в корнеобитаемый слой в объемах, соответствующих физиологическим потребностям выращиваемых культур. Такой подход способствует сокращению расхода оросительной воды на единицу произведенной продукции, при этом величина оросительных норм определяется преимущественно уровнем водопотребления растений. Использование данной технологии также позволяет увеличить коэффициент земельного использования до 95...98 % (Романовская с соавт., 2021).

Капельное орошение отличается высокой ресурсо- и энергоэффективностью, что является одним из его важных преимуществ по сравнению с традиционными способами полива. При эксплуатации подобных систем расход энергии на транспортировку и подачу оросительной воды существенно ниже: он не превышает 10 % от уровня энергозатрат, характерного

для дождевания, и примерно в два раза меньше по сравнению с поверхностным орошением. Снижение потребности в энергетических и трудовых ресурсах обуславливает отнесение капельного орошения к числу энергосберегающих технологий. Дополнительным достоинством данного способа является рациональное использование водных ресурсов, поскольку локальная подача воды в зону размещения корневой системы практически исключает её потери вследствие поверхностного стока и непроизводительных сбросов, что позволяет рассматривать капельное орошение как малоотходную технологию.

В отличие от дождевания, при котором потери воды вследствие ее сноса ветром могут достигать 10...20 % от оросительной нормы, капельная подача практически полностью исключает подобные потери (Канардов с соавт., 1983).

Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о высокой водосберегающей эффективности капельного орошения. В зависимости от почвенно-климатических условий территории и биологических особенностей выращиваемых культур экономия оросительной воды по сравнению с поверхностным поливом и дождеванием может достигать 50...70 %. Немаловажным преимуществом данной технологии является и ее экономическая эффективность. При строительстве капельных оросительных систем преимущественно применяются полимерные материалы, что позволяет существенно снизить металлоемкость сооружений (Григоров, 1993).

Современные системы капельного орошения широко используются не только для подачи воды, но и для внесения растворимых минеральных удобрений и гербицидов вместе с поливной водой. Такой способ обеспечивает более рациональное использование питательных веществ и позволяет сократить расход удобрений до 50 % по сравнению с их традиционным разбрасыванием по поверхности почвы. Регулярное поступление элементов питания непосредственно в корнеобитаемую зону способствует более полному их усвоению растениями и позволяет корректировать дозы удобрений в соответствии с потребностями культуры на различных этапах роста и развития (Григоров, 1993).

Использование капельного орошения способствует не только повышению урожайности, но и улучшению качества выращиваемой продукции. Это обусловлено тем, что на протяжении всего периода вегетации поддерживаются оптимальные условия водного, воздушного и питательного режимов почвы. Дополнительным преимуществом является возможность оптимизации агротехнических работ. Поскольку увлажняется преимущественно прикорневая зона растений, междурядья остаются сухими, что облегчает выполнение обработок почвы и растений, а также проведение уборочных работ без нарушения технологического процесса. Ограниченное увлажнение междурядий одновременно создает менее благоприятные условия для развития сорной растительности и упрощает мероприятия по борьбе с ней (Howell, 1981).

Локальная подача воды непосредственно в корнеобитаемый слой обеспечивает относительное постоянство водно-воздушного режима почвы. При этом исключается характерное для традиционных способов полива чередование периодов переувлажнения и последующего пересыхания. Стабильность условий увлажнения положительно отражается как на сохранении структуры почвы, так и на процессах роста и развития растений (Дубенок с соавт., 2013).

Исследования, выполненные на многолетних насаждениях плодовых культур и виноградниках, показали, что наибольшая эффективность капельного орошения достигается при его использовании с момента закладки насаждений. В этом случае формирование корневой системы происходит с учетом конфигурации увлажняемой зоны. Если же растения длительное время выращивались в условиях применения других способов полива и уже вступили в фазу плодоношения, их переход на капельное орошение сопровождается определенным периодом адаптации. Это объясняется тем, что развитие новых корней происходит преимущественно в участках почвы, где складываются наиболее благоприятные условия влагообеспечения (Петинов, 1956).

При закладке новых питомников плодовых культур на юге России также рекомендуется использовать системы капельного орошения, так как данный способ орошения является важным элементом в повышении продуктивности

плодовых культур в зоне недостаточного увлажнения почвы, так как с уплотнением посадок плодовых культур увеличивается расход воды водозаборного узла, диаметр трубопроводов и соответственно стоимость 1 га системы капельного орошения. Однако значительная стоимость систем капельного орошения компенсируется высокой урожайностью плодовых культур и быстрой окупаемостью затрат (Боровой с соавт., 2016).

Применение капельного орошения способствует более эффективному усвоению питательных веществ корневой системой плодовых деревьев. При этом растения используют элементы питания не только из локальных зон внесения удобрений, формируемых при проведении фертигации, но и активнее вовлекают в питание естественные запасы верхнего почвенного слоя, расположенные за пределами участков непосредственного поступления удобрений. Таким образом, локальная подача воды оказывает положительное влияние на использование как искусственно внесенных, так и природных источников минерального питания.

Следует учитывать, что внесение удобрений сопровождается увеличением потребности растений в воде. Это обусловлено усилением ростовых процессов, возможным повышением продуктивности насаждений, а также увеличением концентрации почвенного раствора. Вследствие этого в межполивной период удобренные деревья значительно быстрее расходуют запасы доступной влаги, содержащейся в корнеобитаемом слое почвы. По этой причине при возделывании плодовых культур в условиях орошения особое значение приобретает своевременное проведение поливов, позволяющее поддерживать оптимальный водный режим растений и предотвращать возникновение дефицита влаги (Апажев с соавт., 2023).

Орошение и фертигация многолетних плодовых насаждений являются ключевым фактором повышения их урожайности, а в сложившихся условиях острого дефицита водных ресурсов, капельный способ полива и внесения удобрений является наиболее перспективным. При использовании технологии капельного полива плодовых растений особое значение имеет качество реализации капельной поливной сети и точность подачи воды и элементов

минерального питания в зоны расположения корневых систем, в связи с этим полив корнеосвоенного пространства между рядами плодовых культур является одним из способов повышения их продуктивности (Дубенок с соавт., 2023 Кременский с соавт., 2016, Калмыкова 2024).

Исследования, проведенные в центральном Нечерноземье по влиянию различных режимов орошения на саженцы сливы показали, что на орошаемых вариантах опыта развитие корневой системы происходило намного интенсивнее, чем на контроле, который развивался без орошения. Благодаря использованию капельного полива, саженцы были обеспечены доступной влагой с растворенными питательными веществами в корнеобитаемой зоне, что существенно влияло на развитие посадочного материала, и расположение корневой системы на небольшой глубине и вдоль капельной линии. Это привело к меньшей их поврежденности при пересадке (Дубенок с соавт., 2020, 2020^a).

Проведенные исследования показали, что получение высококачественного посадочного материала при одновременном повышении эффективности использования оросительной воды обеспечивается соблюдением определенного режима капельного орошения. Наиболее благоприятные результаты были получены при поддержании влажности почвы в пределах 80–100 % НВ. При этом глубина увлажнения корнеобитаемого слоя должна соответствовать возрасту растений и составлять для однолетних саженцев 30 см, для двухлетних — 40 см, а для трехлетних — 50 см. Применение указанного режима способствовало увеличению диаметра штамба, высоты растений, площади листовой поверхности, а также обеспечивало максимальный выход саженцев, соответствующих первой категории качества.

Исследования, проведенные в условиях Московской области на саженцах яблони, позволили установить существенное влияние режима увлажнения на рост и развитие растений. При недостаточном и неравномерном обеспечении влагой отмечалось уменьшение площади листовой поверхности, сокращение размеров листовой пластинки и общего количества листьев, формирующихся на одном саженце. Кроме того, у растений наблюдалось неравномерное протекание

ростовых процессов, проявлявшееся в возникновении волн роста. Анализ биометрических показателей однолетних саженцев свидетельствует о том, что наиболее благоприятные условия для их развития создаются при поддержании влажности почвы в диапазоне 70–95 % НВ. Статистическая обработка экспериментальных данных показала, что именно режим орошения является определяющим фактором формирования посадочного материала. В зависимости от возраста растений и оцениваемого биометрического показателя его доля влияния изменялась в пределах 54–91 %, что подтверждает ведущую роль водного режима в процессе выращивания качественных саженцев яблони (Романовская с соавт., 2021).

Опыты, проведенные в Волгоградской области по изучению влияния малообъемного орошения на рост и развитие саженцев сливы и черешни, полностью подтверждают результаты опытов, проводимых в Нечерноземной зоне. Биометрические показатели однолетних саженцев черешни и сливы свидетельствуют о наиболее благоприятном водном режиме при поддержании влажности почвы 80% НВ, а снижение влажности почвы до 70% НВ служит для саженцев стрессовым фактором и замедляет ростовые процессы (Кузин, 2017).

В условиях Габалинского района Шеки-Закатальской зоны Азербайджанской республики были проведены комплексные исследования по влиянию капельного орошения на урожайность ореховых культур по сравнению с применением классического для региона полива по бороздам. При применении систем капельного орошения экономия оросительной воды составила около 70%; а урожайность повысилась в 1,45 раза по сравнению с поливом по бороздам (Алиев с соавт., 2012).

Положительное влияние капельного орошения на свойства почв были подтверждены исследованиями по влиянию режимов капельного орошения на свойства почв под насаждениями актинидии деликатесной. Исследование показало, что при капельном поливе наблюдаются следующие изменения в почве: миграция нитратов по глубине почвенного профиля и вымывание при поливах при достижении влажности 90% от НВ; рост содержания подвижного калия

(более чем в 1,5 раза) и аммиачного азота (в 2 раза) в непосредственной близости от капельницы и снижение показателей по мере удаления от нее; усиление активности почвы до средней степени обогащенности, что способствует усилению азотного питания культуры (Беседина, 2018).

Результаты многочисленных исследований, посвященных использованию различных способов малообъемного орошения при выращивании посадочного материала плодовых культур, свидетельствуют о высокой эффективности данных технологий, особенно в районах с засушливыми климатическими условиями и ограниченными запасами оросительной воды. Полученные экспериментальные данные подтверждают целесообразность широкого внедрения малообъемных систем полива в современное питомниководство как одного из наиболее перспективных направлений повышения эффективности производства.

Важным преимуществом малообъемного орошения является его универсальность. Подобные системы могут успешно использоваться на участках различной площади, в том числе на территориях со сложным рельефом. Их применение особенно эффективно при выращивании плодовых культур в условиях, где использование традиционных способов полива затруднено или экономически нецелесообразно. К таким условиям относятся ограниченность водных ресурсов, сильно расчлененный рельеф местности, малоплодородные почвы, а также участки с крутыми склонами (Дубенок с соавт, 2023).

Дополнительным достоинством малообъемных технологий является высокий уровень использования сельскохозяйственных земель. Применение таких систем позволяет увеличить коэффициент земельного использования до 95 %. Одновременно существенно сокращаются либо полностью исключаются непроизводительные потери оросительной воды, связанные с испарением, поверхностным стоком и глубинной фильтрацией. Благодаря этому малообъемное орошение рассматривается как ресурсосберегающая и экологически безопасная технология, обеспечивающая рациональное использование водных ресурсов и снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Результаты проведённых исследований свидетельствуют о том, что применение капельного орошения оказывает положительное влияние на ростовые процессы молодых насаждений вишни, обеспечивая формирование более развитой надземной и корневой систем. Полученные биометрические данные подтверждают, что наибольший стимулирующий эффект достигается при поддержании влажности корнеобитаемого слоя почвы в пределах 70–90 % и 80–100 % НВ, что можно рассматривать как оптимальные режимы орошения для данной культуры.

Сводные показатели за три года наблюдений демонстрируют существенные различия в параметрах водопользования: при режиме 70–90 % НВ оросительная норма составила 848 м³/га при поливной норме 43,2 м³/га, количестве поливов – 20 и межполивном периоде в среднем 6 дней. Для режима 80–100 % НВ эти значения были несколько выше: оросительная норма достигала 957 м³/га при неизменной поливной норме 43,2 м³/га, но с увеличением количества поливов до 23 и сокращением межполивного интервала до 5 дней. Такая динамика указывает на более интенсивное водопотребление растений при высоком уровне влажности, что, в свою очередь, обеспечивало их ускоренный рост и формирование полноценного морфологического облика. Полевые исследования, посвящённые влиянию различных режимов капельного орошения на молодые насаждения вишни, проводились на базе учебно-опытного хозяйства лаборатории плодоводства «Мичуринский сад» Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева. Природно-климатические условия опытных участков являются типичными для Центрального Нечерноземья европейской части России, что придаёт полученным данным репрезентативность для данной зоны садоводства (Дубенок с соавт., 2024).

Исследования А.И. Кузина, посвящённые воздействию капельного орошения на агрохимические свойства почвы при возделывании яблоневых садов интенсивного типа, показали значительное влияние данной технологии на ключевые параметры почвенного профиля. Автор отмечает, что использование полива с внесением растворённых удобрений в относительно низких дозах,

согласованных с фазами развития растений, способствует поддержанию оптимального уровня рН, повышает содержание гумуса и положительно влияет на сумму обменных оснований. При этом достигается сбалансированное обеспечение почвы и листьев деревьев основными элементами питания — азотом, фосфором и калием, что в конечном счёте отражается на улучшении физиологического состояния и продуктивности насаждений (Кузин, 2017).

Исследования, проведённые в Московской области на саженцах яблони, выращиваемых в интенсивных садах, продемонстрировали высокую эффективность использования капельного орошения даже в условиях южнотаёжной зоны, отличающейся относительно высокой естественной влагообеспеченностью. Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение данной технологии целесообразно не только в засушливых регионах, но и на территориях с достаточным количеством атмосферных осадков. Капельное орошение относится к современным технологиям полива, сочетающим ресурсосберегающий и экологически безопасный подход к использованию водных ресурсов. Одним из его важных преимуществ является возможность более рационального внесения растворённых в оросительной воде удобрений, что способствует повышению эффективности их использования растениями и увеличению агрономической отдачи. Вместе с тем реализация преимуществ данной технологии возможна лишь при соблюдении оптимального режима увлажнения, поэтому поддержание влажности почвы на требуемом уровне является одним из ключевых условий эффективного выращивания насаждений. Наибольшая урожайность яблок — в среднем 21,37 т/га за трёхлетний период — была зафиксирована при удержании влажности на уровне 85 % НВ. Эти данные свидетельствуют о том, что регулирование водного режима с помощью капельного полива позволяет не только повысить продуктивность насаждений, но и достичь устойчивости агроэкосистемы за счёт экологически обоснованного водопользования (Бородечев с соавт., 2012).

Экономия поливной воды при орошении сельскохозяйственных культур без ущерба для урожайности — один из важных вопросов современного садоводства.

Для решения данной проблемы основной упор приходится на разработку все новых способов и техник орошения, одним из них является капельное. Преимущества капельного орошения над классическими способами полива были установлены в Азербайджане. Р.Б. Алиев сравнил применение ресурсо- и энергосберегающего способа орошения с поливом по бороздам. При применении капельного орошения создается равномерное увлажнение орошаемой площади, что значительно повышает урожайность культур, и снижает риск развития почвенной эрозии. Важное преимущество данного способа полива в том, что он позволяет экономить оросительную воду в 2,0–2,5 раза, а также увеличивать урожай в 1,3–1,5 раз. Это объясняется тем фактом, что применение капельного орошения позволяет подавать воду непосредственно к корневой системе и предотвращает отток воды (Дубенок с соавт., 2020). При поливе по бороздам, так как вода подается на орошаемую площадь в большом объеме, практически невозможно обеспечить ежесуточную норму за длительный период времени, а также это сказывается на увеличении продуктивности культур. При капельном орошении возможно поддерживать влажность почвы на оптимальном уровне для роста и развития сельскохозяйственных культур. Исследование по капельному орошению проводилось на территории Апшеронской опытно-плодовой станции механизации орошения (Алиев с соавт., 2018). В 2017 году автор изучал воздействие капельного орошения и полива по бороздам на урожайность виноградников. В ходе исследования автор установил, что урожайность садов на участке, орошаемым капельным способом на 14% выше, чем при орошении по бороздам. Помимо этого, коэффициент использования оросительной воды при капельном поливе составил $545 \text{ м}^3/\text{т}$, а на участке, орошаемом бороздами — $1926 \text{ м}^3/\text{т}$, что в 3,5 раза выше, чем на участке капельного орошения (Алиев, 2022).

Сельское хозяйство является одной из важнейших отраслей экономики Азербайджанской республики. Особое внимание уделяется разработке новых технологий, способных повысить эффективность производства и снизить негативное воздействие на окружающую среду. В этом контексте

комбинированно-капельное орошение становится все более популярным методом полива ореховых культур в Габалинском районе Шеки-Закатальской зоны. Опытные исследования, проведенные в данном регионе, показали значительные преимущества комбинированно-капельного орошения по сравнению с традиционным бороздовым поливом. Во-первых, этот метод позволяет существенно экономить воду. Согласно полученным данным, экономия оросительной воды при использовании комбинированно-капельного орошения составила около 70%. Это весьма важно, учитывая ограниченность водных ресурсов и необходимость их рационального использования. Во-вторых, комбинированно-капельное орошение способствует повышению урожайности ореховых культур. Сравнительные данные показали, что при использовании этой технологии урожайность увеличивается в 1,45 раза по сравнению с бороздовым поливом. Таким образом, фермеры, применяющие комбинированно-капельное орошение, получают больше продукции при сниженных затратах на воду. Интересно отметить, что для получения 1 центнера урожая при комбинированно-капельном орошении требуется в 2,8 раза меньше воды по сравнению с бороздовым поливом (Алиев, 2012).

Садоводство в Крыму является одной из ключевых отраслей сельскохозяйственного производства. Чтобы обеспечить постоянное снабжение жителей полуострова сельскохозяйственной продукцией, требуется повысить эффективность использования земли. В связи с проблемой дефицита пресной воды, рациональное использование водных ресурсов имеет важное значение. В данном контексте, внедрение капельного орошения является эффективным способом экономии воды и снижения зависимости выращивания плодовых культур от неблагоприятных климатических условий (Ясониди, 2011). Исследования В.Н. Сторчоуса, посвященные режимам орошения садов и виноградников в Крыму при использовании капельного полива, включали определение влажности почвы с помощью тонзиометров, расчет норм орошения на основе дефицита влаги в корневом слое почвы и проведение наблюдений на опытных участках в соответствии с общепринятыми методиками (Сторчоус,

2005). Автор в статье ссылаясь на результаты 30-летних исследований, проводимых в различных хозяйствах Крыма, в которых изучались технологии микроорошения для садов и виноградников. Ученые утверждают, что поддержание предполивной влажности почвы на уровне 70% НВ является благоприятным режимом для яблонь, груш и виноградников. Увеличение влажности почвы до 80% НВ является наиболее оптимальным для персиковых насаждений. В семечковых насаждениях с плодами, созревающими летом, требуется 6–12 поливов в течение вегетационного периода при объеме оросительной воды от 1020 до 2380 м³/га. Для плодовых насаждений достаточно проведения 5–10 поливов с объемом оросительной воды от 850 до 1700 м³/га во влажный и засушливый год соответственно. Исследования подтверждают, что использование капельного орошения эффективно — урожайность яблонь составляет от 220 до 650 ц/га, виноградников — от 70 до 140 ц/га. Применение капельного орошения увеличивает урожай плодовых культур и винограда на 20–40% по сравнению с дождеванием (Сторчоус, 2015).

Исследованием о влиянии капельного орошения на выращивание яблоневого сада занимались на землях ЗАО «Совхоз им. Ленина» Московской области в период с 2012 по 2014 год. Площадь сада составила 5,6 га, который был заложен в 2008 году. Исследования проводились на 4–6 год плодоношения. В ходе опыта производился фенологический и биометрический учет и анализ почвенных образцов, по методике А.А. Роде (Роде, 1969) авторы наблюдали за влажностью почвы. При орошении капельным способом в яблоневых садах создается зона сплошного увлажнения поверхности почвы, для этого с расходом капельниц 1,2 л/ч с шагом посадки 0,5 м и схемой посадки растений 4,2х1,5 м рекомендуется проводить орошение с поливной нормой 50 м³/га с длительностью полива 8–9 часов. В зависимости от метеорологических условий достаточно производить 5 поливов в средние годы, 3 полива — во влажные годы и 9 поливов в сухие вегетационные периоды с соответствующими для них оросительными нормами 244 м³/га, 145 и 441 м³/га. Анализ плодоношения показал, что наибольшая

урожайность сада была получена при режиме предполивной влажности почвы 85% НВ глубине увлажняемого слоя 0,5 м. Важно отметить, что при повышении предполивной влажности с 65% НВ до 75% НВ урожайность увеличивалась в среднем на 15,6–22,7 %, а от 75% НВ до 85 % НВ — на 13,1–15,7 % (Овчинников, 2016).

Исследования многолетних плодовых насаждений и виноградников показали, что способ орошения, используемый с момента закладки растений, оказывает существенное влияние на формирование и дальнейшее развитие корневой системы. При первоначальном применении капельного орошения корни постепенно развиваются в пределах локально увлажняемой зоны, адаптируясь к особенностям распределения влаги в почве. В результате основная масса активных корней концентрируется именно в области регулярного поступления воды. Иная закономерность наблюдается у плодовых деревьев и виноградников, которые были сформированы и вступили в плодоношение при использовании других способов полива. При переводе таких насаждений на капельное орошение приспособление корневой системы происходит постепенно и занимает определённый период времени. Это объясняется тем, что образование новых активных корней начинается преимущественно в тех участках почвы, где создаются наиболее благоприятные условия водообеспечения. По мере развития этих корней растения адаптируются к локальной подаче воды, что сопровождается постепенным изменением пространственного распределения корневой системы в пределах зоны увлажнения.

Ученые из Московской области провели исследование влияния капельного орошения на рост и развитие саженцев яблони. Согласно результатам их исследований, недостаточное и неравномерное увлажнение негативно сказывается на листовой поверхности, размерах листьев и их количестве на дереве. Также наблюдались волны роста у растений, испытывающих дефицит воды. Оптимальный режим увлажнения для однолетних саженцев яблони составляет 70-95% от наименьшей влагоемкости (НВ). Однако для двухлетних саженцев рекомендуется использовать дифференцированный режим полива,

который обеспечивает более экономное использование водных ресурсов. Данный режим позволил сэкономить 776,7 м³/га оросительной воды. Статистический анализ показал, что орошение оказывает существенное влияние на формирование саженцев. Его доля колеблется от 54 до 91% в зависимости от возраста и изучаемых биологических параметров. Контурные увлажнения показали, что при капельном поливе отсутствуют непроизводительные потери воды на инфильтрацию в более глубокие горизонты. На основе проведенных исследований ученые разработали рациональные режимы орошения для одно-, двух- и трехлетних саженцев яблони при капельном поливе в условиях Московской области (Романовская с соавт., 2021).

В центральном Нечерноземье проводилось исследование влияния различных режимов орошения на саженцы сливы сортов «Машенька» и «Утро», где на орошаемых вариантах опыта развитие корневой системы происходило намного интенсивнее, чем на контроле, который развивался без орошения. Благодаря использованию капельного полива, саженцы были обеспечены доступной влагой с растворенными питательными веществами в корнеобитаемой зоне, что существенно влияло на развитие посадочного материала, и расположение корневой системы на небольшой глубине и вдоль капельной линии. Это привело к меньшей их поврежденности при пересадке (Дубенок с соавт., 2020, 2020).

На основании многолетних исследований и производственного опыта установлено, что при капельном орошении создается возможность непрерывного снабжения растений водой и элементами питания. Дозированная подача воды в течение всего вегетационного периода в соответствии с водопотреблением орошаемой культуры позволяет создать оптимальный режим влажности в корнеобитаемом слое почвы и увеличить урожайность сельскохозяйственных культур. Капельное орошение обеспечивает экономию поливной воды на 60-70% по сравнению с поливом по двум бороздам, с увлажнением 75% площади и на 70-80% по сравнению со сплошным увлажнением почвы при традиционных способах полива (Дубенок с соавт., 2023).

В сельскохозяйственной промышленности на протяжении многих лет проводятся обширные исследования и производственные эксперименты, подтверждающие исключительные преимущества капельного орошения. Данный способ обеспечивает непрерывное снабжение растений влагой и питательными веществами, позволяет поддерживать оптимальный уровень влажности в почве в течение всего вегетационного периода, повышая урожайность сельскохозяйственных культур. По сравнению с традиционными методами полива капельное орошение обладает рядом неоспоримых преимуществ. Капельное орошение позволяет экономить до 60–70% поливной воды по сравнению с поливом по бороздам и до 70–80% по сравнению со сплошным увлажнением почвы.

Выводы по главе

1. Вишня занимает ключевое место в системе косточкового садоводства и является основной культурой, определяющей динамику производства, что подтверждает необходимость дальнейшего развития вишнёвых насаждений и внедрения интенсивных технологий выращивания.

2. Закладка сада представляет собой сложный и многофакторный процесс, требующий научно обоснованного подхода и применения современных технологий для обеспечения устойчивости агроценозов, эффективного использования земельных ресурсов и повышения конкурентоспособности продукции.

3. Одним из важнейших факторов развития и плодоношения плодовых культур является обеспеченность влагой, поэтому в условиях засухи и высоких температур необходимо применять рациональные системы орошения, позволяющие снизить риск иссушения почвы и сохранить продуктивность растений.

4. Применение капельного орошения является перспективным направлением при выращивании плодовых насаждений в садах и питомниках, так как такие системы обеспечивают экономию водных и энергетических ресурсов, уменьшают потери воды и отличаются экологической безопасностью.

ГЛАВА II. ОБЪЕКТ, МЕТОДЫ И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Природно-климатические условия проведения исследования

Полевые исследования были выполнены на территории учебно-научно-производственного центра садоводства и овощеводства имени В.И. Эдельштейна (отдел плодовых культур «Мичуринский сад») Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева. Данный сад относится к числу старейших учебно-опытных объектов аграрного профиля и был заложен в 1939 году под руководством Б.Н. Анзина. На современном этапе площадь хозяйства составляет 20,5 га, что позволяет проводить полномасштабные исследования в условиях, приближенных к производственным.

Несмотря на расположение опытного участка в пределах городской застройки Москвы, его природно-климатические характеристики в целом соответствуют типичным условиям Московской области. Это объясняется сохранённым агроландшафтом территории и отсутствием выраженного техногенного влияния, способного существенно изменить микроклимат участка. Следует отметить, что температурный режим, в частности показатели среднесуточных температур воздуха, по своим значениям близок к условиям южных районов Московской области, что имеет практическое значение при оценке роста и развития плодовых культур.

В соответствии с агроклиматическим районированием Московской области территория проведения исследований относится ко второму агроклиматическому району. Для него характерны тёплое лето, умеренно холодный зимний период с формированием устойчивого снежного покрова, а также чётко выраженные переходные сезоны (Министерство экологии и природопользования, 2017; Гемонов, 2021).

Одними из определяющих факторов, оказывающих непосредственное влияние на рост, развитие и адаптацию плодовых растений, являются тепловой и водный режимы. В условиях Центральной зоны садоводства, к которой относится Московская область, именно сочетание температуры воздуха и атмосферного

увлажнения формирует основные ограничения и риски при возделывании косточковых культур, особенно в молодом возрасте растений.

Климат Московской области характеризуется выраженной сезонной изменчивостью температурного режима. Наиболее тёплым месяцем является июль, среднемесячная температура которого изменяется в пределах от +17 °С на северо-западе до +18,5 °С в юго-восточной части региона. Самые низкие температурные значения отмечаются в январе: от –10 °С в западных районах до –11 °С в восточных. Годовая амплитуда среднемесячных температур составляет в среднем 27–28,5 °С, что отражает континентальные черты климата области (Министерство экологии и природопользования, 2024).

Следует отметить, что температурные колебания в зимний период выражены значительно сильнее, чем в летний. Так, отклонения средних месячных температур зимой могут достигать 8–10 °С, тогда как в тёплый период года они, как правило, не превышают 4–5 °С. Экстремальные значения температуры воздуха, такие как понижение до –45...–50 °С или повышение до +38...+40,5 °С, фиксируются крайне редко и наблюдаются менее чем в 5 % лет. В большинстве случаев (около 90 % лет) абсолютный минимум температуры ограничивается диапазоном –27...–30 °С, а максимум — +29...+32 °С, что имеет принципиальное значение для перезимовки и вегетации плодовых культур.

Зимний температурный режим оказывает существенное влияние и на состояние почвенного профиля. В обычные годы глубина промерзания почв в пределах области составляет 65–75 см, однако в аномально холодные и малоснежные зимы данный показатель может увеличиваться до 150 см. Подобные условия особенно важны при оценке водного режима корнеобитаемого слоя и устойчивости молодых растений.

По уровню атмосферного увлажнения Московская область относится к зоне достаточного увлажнения. Среднегодовое количество осадков составляет 550–650 мм, при этом в отдельные годы возможны значительные отклонения — от 270 до 900 мм, что связано с циркуляцией различных воздушных масс. Несмотря на общую обеспеченность влагой, распределение осадков по территории и по

сезонам года отличается неравномерностью, что в отдельные периоды может создавать дефицит доступной влаги для растений.

Пространственное распределение осадков во многом определяется особенностями рельефа. Так, на возвышенных участках, включая Клинско-Дмитровскую гряду, в среднем за год выпадает около 600 мм осадков, тогда как в пониженных районах, например в Мещере, их количество не превышает 550 мм. Западные районы области, как правило, более увлажнены по сравнению с восточными, а наименее благоприятные по влагообеспеченности условия характерны для юго-восточной части региона.

Внутригодовое распределение осадков также имеет ярко выраженную сезонность: максимальное их количество приходится на летний период, в частности на июль, тогда как минимальные значения наблюдаются в конце зимы и начале весны (февраль-апрель). В среднем за год в области отмечается около 171 дня с осадками, при этом около двух третей годового количества выпадает в виде дождя и одна треть — в виде снега (Министерство экологии и природопользования, 2024).

Не менее важным фактором, определяющим условия роста и развития плодовых культур, является характер почвенного покрова. В пределах Московского региона он отличается значительной неоднородностью, что обуславливает вариабельность водного и воздушного режимов почвы даже в пределах сравнительно небольших территорий. Преобладающим подтипом почв на территории области являются дерново-подзолистые почвы с элювиально-иллювиальным строением профиля, которые занимают более двух третей площади региона. Их формирование связано с одновременным проявлением дернового и подзолистого почвообразовательных процессов, что отражается на физико-химических свойствах почвы и особенностях распределения влаги по профилю. Подобные почвы широко распространены в зонах интенсивного садоводства и требуют учёта при разработке режимов орошения. По гранулометрическому составу наибольшее распространение получили среднесуглинистые и тяжёлые опесчаненные суглинки. Данные типы почв

характеризуются сравнительно высокой влагоёмкостью и умеренной водопроницаемостью, что, с одной стороны, способствует накоплению влаги, а с другой — может ограничивать её равномерное распределение в корнеобитаемом слое. В условиях капельного орошения это приобретает особое значение, поскольку формирование увлажнённой зоны напрямую зависит от механического состава почвы.

2.1. Объект исследований

Одним из объектов исследований являлся сорт вишни Молодёжная, выведенный во Всероссийском селекционно-технологическом институте садоводства и питомниководства в результате целенаправленной селекционной работы. Сорт получен Х.Д. Еникеевым и С.Н. Сатаровой путем гибридизации широко распространённых сортов Любская и Владимирская и включён в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации в 1993 году для возделывания в условиях Центрального региона.

Вишня сорта Молодёжная характеризуется умеренной силой роста. Деревья или кустовидные формы достигают высоты, как правило, 2,0–2,5 м, что облегчает проведение агротехнических мероприятий и уход за насаждениями. Крона округлой формы, несколько поникающая, средней густоты. Листья среднего размера, интенсивно-зелёной окраски, с характерным городчатым краем листовой пластинки. Плодоношение осуществляется как на приростах предыдущего года, так и на букетных веточках, что обеспечивает стабильное формирование урожая.

Плоды отличаются сравнительно крупными размерами, средняя масса составляет около 4,5 г. Форма плодов овальная, окраска кожицы тёмно-бордовая. Мякоть плотная, сочная, с гармоничным кисло-сладким вкусом, относящимся к десертному типу. Сок интенсивно окрашен в тёмно-красный цвет. Косточка средней величины, хорошо отделяется от мякоти, что повышает технологическую ценность плодов. Урожай может использоваться как для потребления в свежем виде, так и для различных видов переработки, включая производство варенья, джемов, компотов и других продуктов. Сорт характеризуется высокой и регулярной продуктивностью. Средняя урожайность достигает 10–12 кг с дерева,

что в пересчёте на площадь сада составляет порядка 8–10 т/га. Молодёжная относится к скороплодным и самоплодным сортам, что особенно важно при закладке молодых насаждений. Зимостойкость растений оценивается как выше средней и сопоставима с уровнем сорта Владимирская, однако устойчивость цветковых почек к неблагоприятным условиям зимнего периода является средней (Еникеев с соавт., 1970; ВНИИСПК, 2026).

В качестве объекта исследований также использовался сорт вишни Волочаевка, созданный во Всероссийском селекционно-технологическом институте садоводства и питомниководства. Автором сорта является А.И. Евстратов, который получил его в результате гибридизации сортов Владимирская и Любская. Сорт включён в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации в 1997 году и рекомендован для возделывания в условиях Центрального региона. Вишня сорта Волочаевка отличается средней силой роста. Деревья высоты до 3,5 м. Крона округлая, средней густоты, что способствует хорошей освещённости внутренних частей и формированию плодовых образований. Листья средней величины, обратнояйцевидной формы, тёмно-зелёной окраски, с городчатым краем листовой пластинки. Плодоношение наблюдается как на однолетних приростах, так и на букетных веточках, что обеспечивает регулярность формирования урожая.

Плоды характеризуются крупными размерами, средняя масса составляет около 4,5 г. Форма плодов овальная, окраска кожицы тёмно-красная. Мякоть средней плотности, сочная, с приятным кисловато-сладким вкусом десертного типа. Сок интенсивно окрашен в тёмно-красный цвет. Косточка средней величины, легко отделяется от мякоти, что повышает потребительские и технологические качества плодов. Урожай универсален по назначению и может использоваться как в свежем виде, так и для различных видов переработки. Сорт Волочаевка относится к числу скороплодных и характеризуется ежегодным плодоношением. Урожайность достаточно высокая и в среднем составляет 12–15 кг с дерева, что соответствует около 10 т/га при промышленном возделывании. Созревание плодов происходит в условиях Московской области во второй

половине июля (20–25 июля). Сорт является самоплодным, что упрощает подбор сортимента при закладке насаждений. К числу основных достоинств сорта относится его надёжность в условиях Центрального региона, стабильная продуктивность и получение плодов хорошего качества при среднем сроке созревания. Основным недостатком следует считать средний уровень устойчивости к грибным болезням (ВНИИСПК, 2026). Привоем для данных сортов вишни являлись сеянцы вишни Владимирская.

2.2. Схема опыта и методика проведения исследований

Полевые исследования по изучению применения системы капельного орошения при выращивании саженцев вишни были начаты осенью 2020 года. После достижения растениями трехлетнего возраста опыт был завершён, а насаждения переведены в следующую стадию исследований, посвященную разработке технологии орошения молодого вишневого сада. При этом схема размещения вариантов полевого опыта была сохранена. Новый этап исследований был начат в 2022 году. Экспериментальная работа выполнялась на территории лаборатории плодоводства «Мичуринский сад» Российского государственного аграрного университета — МСХА имени К.А. Тимирязева.

Организация полевого опыта осуществлялась в соответствии с общепринятыми требованиями, предъявляемыми к проведению полевых исследований. При планировании эксперимента и его закладке были использованы методические положения, изложенные в трудах Б.А. Доспехова (Доспехов, 1985). Разработка схемы опыта, выбор вариантов исследований, а также определение методов проведения наблюдений и учетов выполнялись с учетом рекомендаций, представленных в «Методике постановки опытов с плодовыми, ягодными и цветочными растениями» (Комиссаров, 1982), «Программе и методике исследований по орошению плодовых и ягодных культур» (Марков, 1985), «Программно-методических указаниях по агротехническим опытам с плодовыми и ягодными культурами» (Спиваковский, 1956) и «Методике полевого опыта в условиях орошения» (Плешаков, 1983).

Применение данных методических подходов позволило обеспечить корректность постановки опыта и сопоставимость полученных результатов с аналогичными исследованиями. До закладки опыта на участке была проведена предварительная агротехническая подготовка почвы. В качестве органического удобрения использовали конский навоз с опилками, который вносили в дозе 100 т/га, что способствовало улучшению химических свойств почвы и созданию благоприятных условий для развития корневой системы молодых растений.

Схема полевого опыта предусматривала изучение двух факторов. В качестве первого фактора исследования выступало влияние различных режимов капельного орошения, отличавшихся установленными пределами регулирования влажности почвы относительно наименьшей влагоёмкости (НВ). В опыт были включены варианты с поддержанием влажности на уровне 60–80 % НВ, 70–90 % НВ и 80–100 % НВ (рисунок 2.1). Для сопоставления полученных результатов с условиями естественного влагообеспечения дополнительно был предусмотрен контрольный вариант без проведения поливов. Вторым изучаемым фактором являлись сортовые особенности вишни. В качестве объектов исследования использовались сорта вишни «Молодёжная» и «Волочаевка», различающиеся по биологическим и хозяйственно-ценным признакам, что позволило оценить сортовую реакцию на различные режимы увлажнения почвы. При расчёте поливных норм и организации капельного орошения в течение всего периода исследований глубина орошаемого слоя почвы принималась постоянной и составляла 50 см. Данный подход применялся ежегодно, что было обусловлено возрастом деревьев и особенностями развития корневой системы исследуемых растений.

К началу проведения полевого опыта деревья вишни уже на протяжении двух лет выращивались в условиях капельного орошения, в результате чего у растений сформировалась устойчивая зона активного водопоглощения в пределах регулярно увлажняемого профиля. В дальнейшем исследования проводились на насаждениях в возрасте от 4 до 6 лет, при сохранении капельного способа полива. В этот период основная масса функционирующих корней вишни была

сосредоточена преимущественно в верхних горизонтах почвы, что позволило рассматривать слой 0–50 см как репрезентативный для оценки водообеспеченности растений.



Рисунок 2.1 – Определение наименьшей влагоемкости на опытном участке

Контроль влажности почвы в расчётном слое осуществлялся с использованием тензиометров, установленных в зоне корнеобитания растений по 2 на контур увлажнения на расстоянии 30 см от капельницы. Показания тензиометров использовались для оперативной оценки водного режима почвы и принятия решений о сроках проведения поливов. Для повышения точности измерений и проверки корректности показаний приборов их данные периодически градуировались на основании результатов термостатно-весового метода определения влажности почвы, который применялся в качестве эталонного.

Поливные нормы в исследовании назначались с таким расчётом, чтобы обеспечивать повышение влажности почвы на 20 % от наименьшей влагоёмкости (НВ). Выбор данного диапазона основан на данных предшествующих экспериментов, свидетельствующих о том, что при более широких интервалах увлажнения возрастает доля непродуктивных потерь воды. Последние

обусловлены инфильтрацией влаги в более глубокие горизонты почвы, что связано с неоднородностью гранулометрического состава и наличием в почвенном профиле несвязанной воды. Выбор предполивных порогов влажности почвы основывался на результатах научных исследований, в которых установлена зависимость продуктивности сельскохозяйственных и плодовых культур от уровня влагообеспеченности корнеобитаемого слоя (Алпатьев, 1966; Алпатьев, 1969; Льгов, 1979; Горюнов, 1981). Это позволило обосновать поддержание оптимального диапазона влажности при капельном орошении.

Кроме того, при капельном орошении чрезмерное увеличение поливной нормы может приводить к формированию локальных зон переувлажнения непосредственно под капельницами, где влажность почвы превышает 100 % НВ. Подобные условия негативно отражаются на водно-воздушном режиме почвы и состоянии корневой системы растений, особенно в молодом возрасте, снижая их физиологическую активность и устойчивость. Применение сравнительно узкого диапазона увлажнения позволило, с одной стороны, оптимизировать расход поливной воды, а с другой — создать благоприятные условия для функционирования корневой системы за счёт поддержания оптимального соотношения воды и воздуха в почве. Такой подход обеспечивал более стабильные условия роста растений и повышал эффективность капельного орошения в целом.

Посадка деревьев в опыте проводилась по схеме $2,0 \times 0,66$ м (рисунок 2.3), при этом расстояние от конца одной делянки до начала следующей — 3 м. Применённая схема размещения растений обеспечила формирование высокой плотности насаждений, которая в пересчёте на единицу площади составила 5142 дерева на 1 га. Такая плотность посадки позволила моделировать условия интенсивных насаждений и оценивать реакцию растений на различные режимы увлажнения в условиях ограниченной площади питания.

Закладка полевого опыта осуществлялась в трёхкратной повторности с использованием произвольного размещения опытных делянок. Применение такой схемы позволило уменьшить влияние неоднородности почвенного покрова на

результаты исследований и обеспечить корректное сопоставление экспериментальных данных между вариантами опыта. В пределах каждой повторности высаживали по 30 деревьев каждого сорта, что обеспечивало достаточный объём выборки для последующей статистической обработки полученных результатов (рисунок 2.2).

Для проведения биометрических наблюдений на каждой опытной делянке выделяли 24 типичных дерева, которые использовались в качестве учётных растений при оценке их роста и развития. Оставшиеся 6 растений размещались по краям рядов и выполняли функцию защитных, исключая влияние краевого эффекта на показатели, полученные при проведении исследований.

Оценку интенсивности роста деревьев осуществляли на основании комплекса биометрических характеристик. В процессе наблюдений определяли высоту растений, диаметр штамба и площадь листовой поверхности. Все измерения выполнялись в соответствии с методическими рекомендациями, разработанными В.А. Потаповым с соавт. (2000) и В.М. Тарасовым с соавт. (1981). Учёт перечисленных показателей проводился ежегодно после завершения вегетационного периода на всех вариантах опыта.

Исследование особенностей формирования корневой системы выполняли согласно методическим подходам, изложенным в работах В.А. Колесникова (Колесников, 1962, 1972) и В.М. Тарасова (Тарасов с соавт., 1981). Для этого в конце каждого вегетационного периода на каждом варианте опыта отбирали по три типичных контрольных растения. После извлечения из почвы деревья разделяли на надземную и подземную части, а корневую систему тщательно очищали от почвенных частиц промывкой водой. На подготовленных образцах определяли основные биометрические показатели, характеризующие степень развития корневой системы и особенности её пространственного распределения (Гемонов, 2021).

Агрохимические показатели и водно-физические свойства почвы на опытных участках определяли с использованием общепринятых методов, широко применяемых в почвоведении и агрохимических исследованиях (Качинский,



Рисунок 2.2 – Схема полевого опыта



Рисунок 2.3 – Деревья вишни на опытном участке

Гранулометрический состав почвы определяли по методу Н.А. Качинского, тогда как оценку агрегатного состояния проводили по методике Н.И. Саввинова. Определение объёмной и удельной массы выполняли как для отдельных генетических горизонтов, так и для всего орошаемого слоя почвы. Отбор образцов осуществлялся через каждые 10 см, что позволило детально охарактеризовать физическое состояние почвенного профиля по всей его глубине.

Содержание гумуса устанавливали по методу М.М. Кононовой и Н.П. Бельчиковой. Реакцию почвенного раствора (рНКСl) определяли по методу ЦИНАО в соответствии с ГОСТ 26483–85 отдельно для каждого исследуемого генетического горизонта. Гидролитическую кислотность определяли по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212–85), а сумму поглощённых оснований — по методике Каппена–Гильковица (ГОСТ 27821–88).

Обеспеченность почвы основными элементами минерального питания оценивали с применением стандартных методов анализа. Содержание подвижных форм аммонийного азота ($N-NH_4$) и нитратного азота ($N-NO_3$) определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 26489-85 и ГОСТ 26488-85 соответственно.

Определение содержания подвижных соединений фосфора и калия выполняли согласно ГОСТ Р 54650-2011. Наименьшую влагоёмкость почвы устанавливали методом малых заливаемых площадок, а максимальную гигроскопическую влажность определяли по методу А.В. Николаева в соответствии с ГОСТ 28268–89. Содержание органического вещества в почве определяли по ГОСТ 26213-2021, тогда как валовое содержание тяжёлых металлов и химических элементов устанавливали в соответствии с МВИ № 2420/69-2004.

В ходе проведения полевого опыта контроль водного режима почвы осуществляли с помощью тензиометров, размещённых в пределах корнеобитаемого слоя растений. Перед началом наблюдений все приборы проходили предварительную градуировку, которую выполняли на основании результатов определения влажности почвы термостатно–весовым методом, принятым в качестве контрольного. Дополнительно фактическое содержание влаги в почве на всех вариантах опыта регулярно определяли этим же методом, что обеспечивало высокую достоверность и точность получаемых результатов. Почвенные образцы для определения влажности отбирали с периодичностью один раз в три дня. Помимо плановых наблюдений, дополнительный отбор проб проводили после выпадения атмосферных осадков и каждого полива. Такой порядок проведения измерений позволял своевременно фиксировать изменения водного режима почвы, контролировать динамику её увлажнения и поддерживать влажность на уровнях, предусмотренных схемой полевого опыта.

После созревания плодов и сбора урожая, по каждому сорту и варианту опыта была определена средняя масса одного плода, рассчитана средняя масса плодов с одного дерева, урожайность с переводом на 1 гектар площади, а также произведен биохимический анализ по общепринятым методикам. Содержание сахаров в плодах вишни определялись по методике, изложенной в нормативном документе ГОСТ 26176-2019 («Продукты переработки фруктов и овощей. Методы определения сахаров»), определение содержания аскорбиновой кислоты в плодах вишни выполнялся по требованиям ГОСТ 34151-2017 («Продукция

переработки плодов и овощей; методы определения витамина С»), определение титруемой кислоты в плодах вишни проводились по ГОСТ ISO 750–2013, содержание калия, кальция и магния в плодах определяли по методике, изложенной в нормативном документе ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011 (п. 13), определение массовой доли растворимых веществ производилось по ГОСТ 34128-2017, содержание влаги в плодах вишни определяли с использованием влагомера Sartorius MA160 (Германия), работающего по принципу гравиметрии с инфракрасным нагревом.

По данным определенной влажности почвы проводился расчет поливной нормы в соответствии с фактической влажностью почвы для каждого варианта опыта по модифицированной формуле А.Н. Костякова («Мелиоративные системы и сооружения», 2024):

$$m = 100 \times h \times \gamma \times Ant \times (W_{нв} - W_{п}), \quad (2.1)$$

где: γ - объемная масса почвы, т/м³

h - глубина расчетного слоя почвы, м

A_{nt} - доля площади, которая подлежит увлажнению;

$W_{нв}$ - наименьшая влагоемкость от массы абсолютно сухой почвы, %;

$W_{п}$ - предполивная влажность от массы абсолютно сухой почвы, %

Ant – доля площади, подлежащая увлажнению.

Продолжительность полива рассчитывалась по формуле:

$$Ant = (n \cdot W) / (a \cdot b), \quad (2.2)$$

где: n – число водовыпусков под одним растением;

W – площадь увлажнения одним водовыпуском, м²;

a – расстояние между деревьями, м;

b – расстояние между рядами деревьев, м

Для оценки суммарного водопотребления плодовых и ягодных культур использовался метод водного баланса, основанный на формуле А.Н. Костякова (1960; 1961):

$$E = M + 10 \times \mu \times P \pm \Delta W + W_{гв}, \quad (2.3)$$

где: E – суммарное водопотребление, м³/га;

M – оросительная норма, м³/га;

P – сумма выпавших за расчетный период осадков, мм;

μ – коэффициент использования осадков;

ΔW – изменение запасов почвенной влаги за рассматриваемый период, м³/га;

$W_{гв}$ – подпитывание активного слоя почвы грунтовыми водами, м³/га.

В условиях Центрального Нечерноземья европейской части России обеспечение плодовых и ягодных культур влагой в течение вегетационного периода определяется совместным воздействием нескольких источников. Формирование общего водопотребления растений происходит за счёт атмосферных осадков, оросительной воды, поступления влаги из грунтовых вод, а также использования запасов, накопленных в корнеобитаемом слое почвы (Вдовин, 1979; Голованов с соавт., 2015). Комплексный учёт перечисленных составляющих является необходимым условием для достоверной оценки водного режима насаждений при использовании капельного орошения.

Количество атмосферных осадков в течение каждого месяца вегетационного периода определяли по материалам наблюдений Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона (РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева), расположенной в непосредственной близости от опытного участка. Такое расположение метеостанции обеспечивало высокую степень соответствия полученных метеорологических данных фактическим условиям проведения исследований. Объёмы оросительной воды принимали по фактическим показателям, зарегистрированным при реализации предусмотренных схемой опыта режимов капельного орошения. Определение поступления влаги из грунтовых вод осуществляли в соответствии с методикой, разработанной Ю.Н. Никольским (Голованов с соавт., 2015). Величину расхода почвенной влаги устанавливали по результатам определения объёмной влажности почвы с последующим расчётом запасов влаги в пределах контролируемого слоя.

Для проверки корректности получаемых результатов дополнительно оценивали фактическую производительность капельных водовыпусков. Контрольные измерения расхода воды выполняли с помощью мерных цилиндров трижды в течение каждого вегетационного периода — в его начале, середине и конце. Определение показателей проводили на всех вариантах и во всех повторностях полевого опыта. Такой подход позволял своевременно выявлять возможные изменения гидравлических параметров капельной системы и учитывать их при определении фактических оросительных норм.

Обработка результатов исследований и их статистический анализ осуществлялись с применением программ Microsoft Office Excel 2019 и STATISTICA 13.3. Для оценки полученных экспериментальных данных рассчитывали основные статистические показатели, включая среднее арифметическое значение, минимальные и максимальные величины, среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации. Использование указанных методов позволило охарактеризовать степень изменчивости исследуемых признаков и обеспечить объективную интерпретацию результатов эксперимента.

Для выявления достоверности различий между вариантами опыта использовались методы дисперсионного анализа с последующим расчётом показателя наименьшей существенной разницы (НСР). С целью установления взаимосвязей между изучаемыми параметрами применялись методы корреляционного анализа, а также линейного регрессионного анализа, что позволило количественно оценить характер и степень зависимости между показателями.

Все статистические оценки и выводы в рамках исследования выполнялись при уровне значимости $p \leq 0,05$, что соответствует общепринятым требованиям к достоверности результатов научных исследований.

2.3. Обоснование применения орошения

2.3.1. Влагообеспеченность территории

Обоснование целесообразности применения оросительных мелиораций предусматривает предварительную оценку вероятности возникновения засушливых периодов и других неблагоприятных природно-климатических явлений, способных оказывать влияние на рост и развитие плодовых культур. Для решения этой задачи в настоящем исследовании использовался вероятностный подход, основанный на определении показателей обеспеченности. Расчёты были выполнены применительно к вегетационному периоду плодовых насаждений. В качестве исходного материала использованы многолетние метеорологические наблюдения Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона, охватывающие период 1976–2025 гг.

Как следует из данных, представленных на рисунке 2.4, дефицит влаги в течение вегетационного периода наблюдается в 51 % рассматриваемых случаев. Анализ графика обеспеченности, построенного по разности между суммой атмосферных осадков и величиной испарения, показал, что 2023 год относится к категории средnezасушливых ($P = 68,58 \%$), 2024 год характеризуется как засушливый ($P = 76,58 \%$), тогда как 2025 год соответствует средневлажным условиям ($P = 31,30 \%$).

Для объективной оценки условий влагообеспеченности вегетационного периода и обоснования необходимости применения орошения в зоне достаточного увлажнения были рассчитаны гидротермический коэффициент (ГТК) Г.Т. Селянинова (ГТК) (Астапов, 1958; Зайдельман, 2003; Шуравилин, 2006) и коэффициент увлажнения (КУ) Д.И. Шашко (Шашко, 1985). Результаты помесечных расчетов для вегетационных периодов с 1976 по 2025 годы показаны в таблицах 2.1 и 2.2 соответственно. Использование данных показателей позволило учесть не только количество атмосферных осадков, но и их соотношение с тепловыми ресурсами, определяющими интенсивность испарения и водопотребления растений.

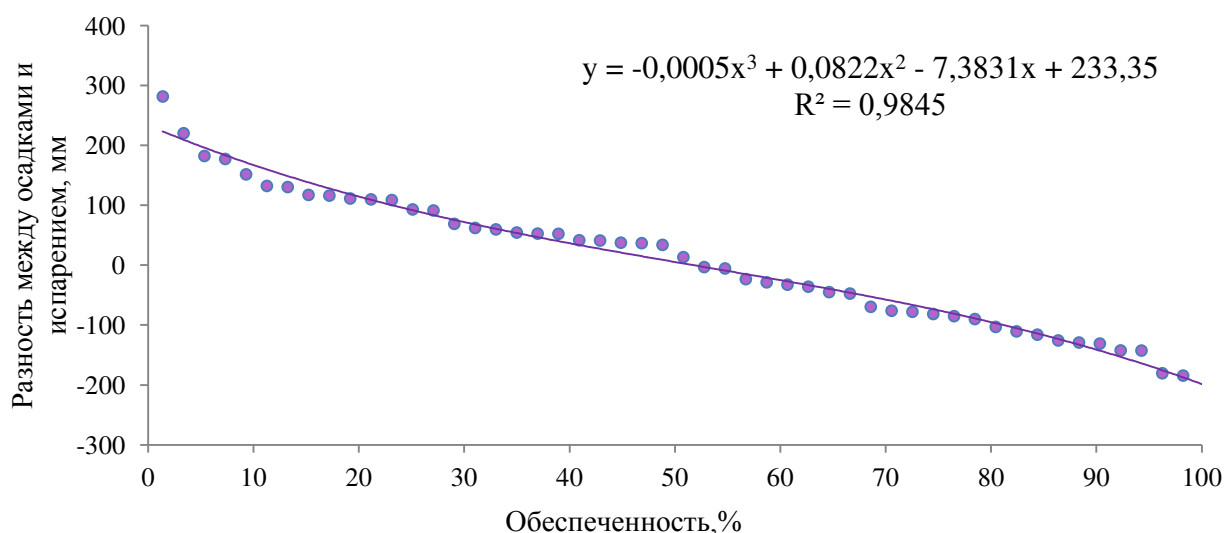


Рисунок 2.4 – График обеспеченности влагой по разности суммы осадков и испарения с 1975 по 2025 годы

Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова характеризует обеспеченность растений влагой в период активной вегетации и отражает баланс между суммой осадков и суммой температур воздуха выше 10 °С. Расчёт данного показателя показал, что даже в условиях Центрального региона, традиционно относимого к зоне достаточного увлажнения, в отдельные годы и фазы вегетационного периода формируются условия недостаточного или неустойчивого водообеспечения. Это особенно актуально для летних месяцев, когда при высоких температурах интенсивность испарения существенно возрастает, а распределение осадков носит неравномерный характер.

Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (Селянинов, 1957) рассчитывался по формуле:

$$\text{ГТК} = \frac{r}{0,1 \times \sum t_{>10^{\circ}\text{C}}}, \quad (2.4)$$

где: r – сумма осадков за период активной вегетации, мм;

$\sum t_{>10^{\circ}\text{C}}$ – сумма активных температур за тот же период, °С

Для оценки условий территории за длительный период был рассчитан гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова за 50-летний ряд наблюдений (1976–2025 гг.). Полученные значения (таблица 2.1) ГТК свидетельствуют о значительной межгодовой изменчивости условий увлажнения. Интерпретация

результатов представлена в таблице 2.3. В большинстве лет значения коэффициента соответствовали условиям достаточного или чрезмерного увлажнения, однако в отдельные годы фиксировались значения, характерные для засушливых условий различной степени выраженности, включая слабую и среднюю засуху.

При этом анализ годовых значений ГТК показал, что оценка за год в ряде случаев сглаживает внутригодовые колебания влагообеспеченности. В связи с этим для более детальной характеристики гидротермических условий был выполнен помесечный расчёт ГТК Селянинова за период с мая по сентябрь за те же годы наблюдений. Такой подход позволил выявить внутрисезонную динамику влагообеспеченности, установить периоды с недостаточным увлажнением, которые не всегда прослеживаются при анализе годовых значений, и дать более объективную оценку условий вегетации плодовых культур.

Таблица 2.1 – Характеристика увлажненности территории опытного участка по гидротермическому коэффициенту увлажнения Г.Т. Селянинова за период с 1976 по 2025 год

Год	ГТК	Год	ГТК	Год	ГТК	Год	ГТК	Год	ГТК
1976	2,0	1986	1,8	1996	1,4	2006	1,4	2016	1,6
1977	1,5	1987	1,4	1997	1,1	2007	0,8	2017	1,6
1978	1,4	1988	1,4	1998	1,8	2008	1,8	2018	0,9
1979	1,5	1989	1,2	1999	1,0	2009	1,3	2019	1,0
1980	1,9	1990	1,9	2000	2,1	2010	0,7	2020	2,6
1981	1,4	1991	2,0	2001	1,1	2011	1,0	2021	1,3
1982	1,7	1992	0,7	2002	0,6	2012	1,3	2022	0,9
1983	1,0	1993	2,0	2003	1,8	2013	1,9	2023	1,2
1984	1,9	1994	1,5	2004	2,0	2014	0,9	2024	1,1
1985	1,4	1995	1,0	2005	1,3	2015	1,6	2025	1,6

Помесечный анализ гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова за период 1976–2025 гг. (таблица 2.2) показал, что несмотря на общее отнесение территории к зоне достаточного увлажнения, условия влагообеспеченности вегетационного периода отличаются выраженной внутрисезонной и межгодовой

неустойчивостью. Даже в годы с благоприятной годовой гидротермической оценкой в отдельные месяцы формировались условия засухи различной степени интенсивности.

Наиболее часто дефицит влаги отмечался в мае и июле, когда значения ГТК в отдельные годы снижались до уровней, соответствующих слабой, средней и даже сильной засухе. Так, в мае 1983 года значение ГТК составило 0,2, в мае 1979 и 2002 годов — 0,4, что соответствует условиям сильной засухи. Аналогичная ситуация наблюдалась и в июле: в 1997, 2010 и 2014 годах ГТК снижался до 0,1, что характеризует крайне неблагоприятные условия влагообеспеченности в период активного роста растений. В отдельные годы дефицит влаги фиксировался также в августе и сентябре. Например, в августе 1996 и 2015 годов значения ГТК составляли 0,5 и 0,3 соответственно, а в сентябре 1980, 2005 и 2025 годов — 0,3–0,1, что указывает на формирование засушливых условий в конце вегетационного периода. При этом следует отметить, что в те же годы в другие месяцы могли наблюдаться высокие значения ГТК (более 1,5–2,0), что при расчёте годового коэффициента сглаживает проявление кратковременных, но физиологически значимых периодов дефицита влаги.

Таблица 2.2 – Помесячная характеристика увлажненности территории опытного участка по гидротермическому коэффициенту увлажнения Г.Т. Селянинова за период с 1976 по 2025 год

Годы	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
1976	2,6	2,5	2,5	1,1	0,1
1977	1,3	1,6	1,3	1,9	0,4
1978	1,2	1,3	1,8	1,0	1,5
1979	0,4	0,8	3,1	1,0	2,8
1980	0,9	2,2	1,9	3,0	0,3
1981	0,5	1,0	1,9	1,9	1,0
1982	1,3	1,0	1,9	1,9	1,8
1983	0,2	1,5	1,2	0,7	1,3
1984	0,6	2,3	2,2	1,1	3,1
1985	0,9	2,1	1,8	0,4	2,3
1986	0,2	2,5	1,6	2,5	1,4
1987	1,0	2,2	1,0	1,3	2,0
1988	0,6	1,4	1,1	2,1	1,2
1989	0,7	1,2	0,6	2,7	0,5

Годы	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
1990	2,0	1,0	2,1	1,8	3,7
1991	1,2	2,1	1,8	2,9	2,1
1992	0,5	0,5	0,3	0,9	1,4
1993	0,3	1,7	2,9	2,4	1,3
1994	1,8	1,8	0,9	1,6	1,2
1995	0,5	1,2	1,0	1,1	1,1
1996	1,0	1,5	1,2	0,5	5,1
1997	1,0	1,8	0,1	1,0	1,8
1998	1,3	1,0	2,3	3,0	0,8
1999	0,6	0,1	1,0	1,9	1,7
2000	0,5	2,3	2,5	1,7	1,9
2001	2,3	0,9	0,9	0,8	1,0
2002	0,4	0,7	0,4	0,4	0,8
2003	0,5	0,9	1,4	3,0	2,8
2004	1,2	1,7	2,3	1,2	2,8
2005	2,2	1,4	1,8	0,6	0,3
2006	1,8	1,2	0,4	2,6	1,3
2007	0,4	0,4	1,2	1,0	0,4
2008	0,9	1,1	2,3	2,3	1,5
2009	1,2	0,9	1,5	1,8	0,7
2010	1,1	0,7	0,1	0,8	0,8
2011	0,5	0,5	1,0	1,0	2,3
2012	1,5	1,4	0,8	1,4	1,0
2013	1,8	0,7	2,2	1,6	5,2
2014	0,9	1,2	0,1	1,1	1,0
2015	1,7	1,6	2,1	0,3	2,1
2016	1,2	0,7	1,7	2,5	1,6
2017	0,5	1,9	1,9	1,3	1,2
2018	0,9	0,8	1,4	0,3	0,8
2019	1,1	1,1	1,2	0,9	0,5
2020	4,7	3,3	3,1	0,7	1,5
2021	1,2	2,1	0,5	1,5	0,6
2022	2,3	0,8	1,4	0,0	1,8
2023	0,8	1,4	2,6	0,6	0,2
2024	0,4	2,8	1,3	0,6	0,2
2025	0,3	2,8	2,7	1,7	0,1

Таблица 2.3 – Шкала интерпретации результатов гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова

Цветовое и числовое значение	Характеристика	Цветовое и числовое значение	Характеристика	Цветовое и числовое значение	Характеристика
>1,5	чрезмерно влажно	0,9-0,8	слабая засуха	0,5-0,4	сильная засуха

Цветовое и числовое значение	Характеристика	Цветовое и числовое значение	Характеристика	Цветовое и числовое значение	Характеристика
1,5-1,0	достаточно влажно	0,7-0,6	средняя засуха	<0,4	очень сильная засуха

Дополнительно был рассчитан коэффициент увлажнения Д.И. Шашко (таблица 2.4), который позволяет оценить соотношение между количеством поступающей влаги и потенциальными потерями на испарение за продолжительный период. Интерпретация результатов представлена в таблице 2.5.

Коэффициент увлажнения Д.И. Шашко рассчитывался по формуле:

$$КУ = \frac{r}{\sum d}, \quad (2.5)$$

r - сумма осадков за расчетный период, мм;

$\sum d$ - сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха за расчетный период, гПа.

Помесячный анализ коэффициента увлажнения по Д.И. Шашко за длительный период наблюдений (1995–2025г.) показал, что условия влагообеспеченности вегетационного периода отличаются высокой неустойчивостью, несмотря на формальное отнесение территории к зоне достаточного увлажнения. В пределах одного и того же года отмечается чередование периодов избыточного и резко недостаточного увлажнения, что особенно отчётливо проявляется при декадном анализе.

Согласно шкале интерпретации Д.И. Шашко, в ряде лет в течение вегетационного периода формировались условия, соответствующие сухим и очень сухим типам увлажнения. Так, в мае 1998 года значение КУ в первой декаде составило 0,17, а в мае 2003 года — 0,04, что соответствует очень сухим условиям ($КУ < 0,12$). Аналогичные значения фиксировались в июле 1997 года (0,02–0,11) и в августе 2010 года (0,01), что указывает на выраженный дефицит влаги в периоды активного роста растений. В то же время в другие декады тех же лет наблюдались высокие значения коэффициента увлажнения. Например, в июне

2001 года КУ достигал 3,62–3,73, а в сентябре 2013 года — 5,81–10,02, что соответствует избыточно увлажнённым условиям. Такое сочетание экстремально низких и высоких значений в пределах одного вегетационного сезона свидетельствует о резкой внутрисезонной контрастности влагообеспеченности.

Таблица 2.4 – Подекадная характеристика увлажненности территории опытного участка по коэффициенту естественной увлажненности Д.И. Шашко за период с 1995 по 2025 год

Год	Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь		
	1 дек.	2 дек.	3 дек.	1 дек.	2 дек.	3 дек.	1 дек.	2 дек.	3 дек.	1 дек.	2 дек.	3 дек.	1 дек.	2 дек.	3 дек.
1995	0,96	0,34	0,02	0,07	1,00	0,98	0,27	0,48	0,93	1,01	0,27	0,73	0,96	0,06	0,87
1996	0,30	0,05	0,98	0,00	1,42	1,67	0,51	0,09	2,06	0,65	0,11	0,02	2,44	4,96	0,02
1997	0,40	0,18	0,78	3,13	0,53	0,79	0,02	0,11	0,10	1,40	0,18	0,00	1,05	0,54	3,04
1998	0,17	1,40	1,87	0,18	0,02	2,35	3,22	2,56	0,09	1,61	3,19	3,34	0,72	0,25	2,87
1999	0,70	0,58	0,25	0,00	0,00	0,10	0,39	0,35	0,48	0,19	2,85	0,35	0,00	1,65	2,98
2000	0,18	0,44	0,13	0,34	0,55	3,70	0,48	2,38	2,07	0,31	1,55	2,61	3,91	0,87	0,02
2001	0,11	3,62	3,73	0,83	1,04	0,48	0,11	0,32	1,09	0,37	0,71	0,34	0,88	0,69	0,57
2002	0,45	0,50	0,08	0,05	0,67	0,52	0,16	0,25	0,07	0,36	0,03	0,31	0,00	2,01	1,78
2003	0,87	0,04	0,24	1,62	0,30	1,29	1,29	1,22	0,30	0,37	4,80	4,05	7,43	0,21	0,42
2004	0,14	0,76	1,11	0,77	1,46	1,91	0,82	2,44	1,58	0,25	2,33	0,27	3,50	0,36	1,74
2005	0,58	1,81	0,56	0,09	1,02	1,73	1,12	1,35	0,78	0,06	0,67	0,31	0,08	0,57	0,01
2006	0,12	0,41	1,46	0,63	0,34	0,69	0,07	0,39	0,17	1,69	1,88	1,95	3,77	0,00	0,00
2007	0,25	0,52	0,08	0,33	0,11	0,09	0,40	0,54	0,72	1,48	0,26	0,10	1,30	1,63	0,02
2008	0,04	0,34	2,22	0,79	0,23	1,15	1,77	1,89	0,49	2,49	0,65	2,55	1,93	2,22	0,33
2009	0,02	1,03	1,04	0,97	0,42	0,25	2,45	0,28	0,46	1,93	0,91	2,35	0,24	0,54	1,63
2010	0,33	0,53	0,87	1,28	0,80	0,00	0,13	0,00	0,02	0,01	0,29	2,35	1,02	0,43	2,44
2011	0,21	0,51	0,20	0,07	0,81	0,18	0,39	0,60	0,48	0,39	0,40	0,95	1,35	2,95	0,66
2012	1,51	0,37	0,26	2,09	1,04	0,42	0,00	1,15	0,26	0,02	2,22	1,94	1,13	0,44	0,96
2013	0,41	0,11	4,20	0,25	0,18	0,63	0,71	1,73	3,14	0,75	0,37	2,35	10,02	5,81	9,09
2014	0,62	0,03	0,81	0,13	1,80	1,89	0,21	0,00	0,00	0,15	0,70	1,32	1,20	0,16	0,78
2015	0,65	2,01	1,02	0,02	1,54	1,52	0,76	0,94	1,98	0,03	0,35	0,14	8,77	0,01	0,35
2016	0,03	0,92	1,02	0,85	0,85	0,02	0,64	1,65	0,57	0,57	4,11	0,97	1,66	1,36	2,08
2017	1,27	1,04	0,54	0,99	1,05	2,27	2,83	1,28	0,16	0,26	0,18	1,82	1,59	0,44	0,02
2018	0,32	0,73	0,00	0,79	0,38	0,35	1,13	1,17	0,44	0,08	0,30	0,09	0,01	0,77	3,25
2019	1,26	0,44	0,09	0,00	0,19	1,29	0,18	2,51	0,17	1,71	0,48	0,00	0,06	0,67	1,31
2020	1,05	0,59	6,85	3,82	2,65	0,40	2,36	3,03	2,61	0,04	0,54	1,15	0,65	0,98	0,66
2021	1,18	0,06	0,46	0,54	0,55	0,57	0,02	0,19	0,10	0,69	0,57	0,17	0,95	0,71	3,20
2022	0,10	0,45	0,75	0,26	0,38	0,02	0,41	0,06	0,45	0,02	0,00	0,01	0,24	1,01	2,94
2023	0,13	0,04	0,31	0,26	0,00	0,90	0,04	0,00	1,47	0,15	0,65	0,07	0,15	0,01	0,04
2024	0,49	0,06	0,01	0,62	1,82	0,08	0,21	1,82	0,41	0,00	0,16	0,01	0,00	0,00	0,15
2025	1,34	0,40	0,01	0,19	1,02	0,38	0,13	1,02	0,74	0,00	0,45	0,20	0,00	0,03	0,28

Таблица 2.5 – Шкала интерпретации результатов КУ Д.И. Шашко

Цветовое и числовое значение	Характеристика	Цветовое и числовое значение	Характеристика	Цветовое и числовое значение	Характеристика
>1,3	Избыточно-увлажненный	0,77-0,55	полузасушливый	0,33-0,22	полусухой
1,30-1,00	влажный	0,55-0,44	засушливый	0,22-0,12	сухой
1,00-0,77	полуувлажненный	0,44-0,33	очень засушливый	<0,12	очень сухой

Анализ гидротермического коэффициента Селянинова и коэффициента увлажнения по Д.И. Шашко показал, что в условиях Центрального региона, относимого к зоне достаточного увлажнения, водообеспеченность растений в течение вегетационного периода является неустойчивой. Наряду с периодами избыточного поступления влаги регулярно возникают декады и отдельные месяцы с выраженным дефицитом влаги, включая условия сухого и очень сухого типов по шкале Д.И. Шашко.

Наиболее уязвимыми в этом отношении являются весенне-летние периоды (май–июль), совпадающие с фазами активного роста побегов, формирования листовой поверхности и закладки генеративных органов. Возникновение дефицита влаги в эти фазы может оказывать отрицательное влияние на рост и развитие растений, особенно в молодых насаждениях.

Таким образом, результаты расчётов обоих коэффициентов свидетельствуют о том, что даже в зоне достаточного увлажнения существует необходимость применения регулируемого орошения, направленного на компенсацию кратковременных, но физиологически значимых периодов дефицита влаги. Это подтверждает целесообразность использования капельного орошения для стабилизации водного режима почвы и повышения устойчивости плодовых насаждений к погодным колебаниям.

2.4. Характеристика системы капельного орошения

В ходе проведения исследований применялась система капельного орошения, обеспечивающая регулируемую подачу воды непосредственно в зону

корнеобитания растений. Конструктивное решение системы и подбор её элементов осуществлялись в соответствии с действующими методическими рекомендациями и современными подходами к проектированию оросительных систем (Методические указания по проектированию..., 1989; Сторчоус, 2015).

В состав используемой системы капельного орошения входили основные функциональные узлы, обеспечивающие забор, подготовку, транспортировку и распределение поливной воды. К ним относились насосное оборудование, система фильтрации, редукторы давления, магистральный и распределительный трубопроводы, трубы со встраиваемыми в них капельницами, а также комплект соединительной и запорно-регулирующей арматуры, включая фитинги, краны, электромагнитные клапаны, расходомеры и вспомогательные элементы (заглушки, хомуты и другие расходные материалы) (Гемонов, 2025).

Для создания и поддержания необходимого рабочего давления в системе использовалось насосное оборудование в виде напорного погружного насоса Karcher BP 2 Cistern 1.645-42. Максимальное рабочее давление насоса составляло 10 бар, что обеспечивало стабильную работу всех элементов оросительной системы и равномерную подачу воды к капельным линиям.

Подготовка поливной воды осуществлялась с помощью системы фильтрации, включающей несколько ступеней очистки. На первом этапе применялись два фильтра грубой очистки губчатого типа, предназначенные для задержания крупных механических примесей. На следующем этапе использовался фильтр тонкой очистки дискового типа, оснащённый автоматической системой промывки (Palaplast), что позволяло поддерживать стабильную пропускную способность системы и снижать риск засорения капельниц.

После прохождения фильтрации поливная вода поступала в магистральный трубопровод, выполненный из стабилизированного полиэтилена. Диаметр магистральной трубы составлял 32 мм, что обеспечивало необходимый расход воды и минимальные потери напора. Далее вода распределялась по распределительным трубопроводам диаметром 25 мм, от которых осуществлялось подключение капельных линий.

Основное назначение распределительного трубопровода заключалось в подаче поливной воды от магистральной линии непосредственно к капельным трубкам, размещённым в рядах насаждений. Полив осуществлялся при помощи слепых трубок со встраиваемыми в них компенсированными капельницами с расходом 4 л/ч. Расстояние между соседними капельницами на линии составляло 0,66 м.

Монтаж оросительной системы выполнялся с использованием стандартной соединительной арматуры, включающей тройники, муфты, переходники, заглушки и шаровые краны, что обеспечивало герметичность соединений, удобство эксплуатации и возможность оперативной регулировки подачи воды по отдельным участкам системы.

Для повышения точности управления поливным режимом и автоматизации процесса орошения в рамках исследований использовалась система капельного орошения с дистанционным управлением, принцип работы и конструктивные особенности которой описаны в патенте «Система капельного орошения с дистанционным управлением» (Дубенок с соавт, 2024).

Применяемая система обеспечивала возможность удалённого управления процессом полива, включая запуск и остановку подачи воды, а также контроль режимов орошения без непосредственного присутствия оператора на опытном участке. Функционирование системы основано на интеграции элементов управления с оросительной сетью, что позволяет оперативно реагировать на изменения метеорологических условий и состояния почвенной влажности.

Ключевыми элементами системы дистанционного управления являлись электромагнитные клапаны, установленные на распределительных линиях, и контроллер управления, обеспечивающий передачу управляющих сигналов. Контроллер получал команды по каналам дистанционной связи и осуществлял управление работой клапанов, регулируя подачу воды к отдельным участкам оросительной системы. Такая организация позволяла гибко настраивать режимы орошения в соответствии с заданными параметрами и текущими потребностями растений.

Важным преимуществом использования системы дистанционного управления являлась возможность точного соблюдения заданных предполивных порогов влажности и своевременного проведения поливов. Это особенно актуально при капельном орошении, где эффективность системы во многом определяется регулярностью и дозированной подачей воды. Автоматизация процесса снижала влияние человеческого фактора и обеспечивала воспроизводимость условий опыта на протяжении всего периода исследований.

Кроме того, применение дистанционного управления повышало надёжность эксплуатации оросительной системы и позволяло оптимизировать трудозатраты, связанные с обслуживанием поливного оборудования. Возможность оперативного вмешательства в работу системы способствовала более точному поддержанию водного режима почвы и создавала условия для эффективного регулирования влагообеспеченности растений в зависимости от погодных условий и фазы развития насаждений.

Глава III. МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И АГРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ОПЫТНОГО УЧАСТКА

3.1. Морфологические, агрохимические и водно-физические свойства почвы

Для изучения свойств почвы опытного участка осенью 2022 (таблица 3.1) и 2025 года (таблица 3.2) были заложены почвенные разрезы. В ходе исследований выполняли морфологическое описание генетических горизонтов и отбирали почвенные образцы для последующего лабораторного определения агрохимических показателей (рисунок 3.1) (Дубенок с соавт., 2026).

Таблица 3.1 – Морфологическая характеристика почвы опытного участка
(2022 год)

Горизонт	Мощность, см	Вид профиля
$A_{пах_1}$	$\frac{0 - 25}{25}$	
$A_{пах_2}$	$\frac{25 - 42}{17}$	
A_2	$\frac{43 - 50}{7}$	
A_2B	$\frac{50 - 62}{12}$	
B	$\frac{63 - 91}{28}$	
BC	$\frac{91 - 115}{24}$	
$C >$	115	

Почвенный покров экспериментального участка представлен агродерново-подзолистой глееватой глубокопахотной глубоко осветлённой поверхностно оглеенной легкосуглинистой песчано-крупнопылеватой на ледниковых

отложениях среднесуглинистой иловато-песчанового состава почвой (P-(ELg)-BELg-BTg-C).

Почвенный профиль отличается хорошо выраженной генетической дифференциацией и постепенной сменой горизонтов. Верхнюю часть разреза занимает пахотный горизонт Апах₁ мощностью 25 см, имеющий светло-серую окраску, рыхлое сложение, легкосуглинистый гранулометрический состав и комковато-мелкокомковатую структуру. В пределах горизонта отмечаются мелкие корни растений, а в нижней его части наблюдаются слабое уплотнение и незначительная неоднородность плотности, обусловленные длительной сельскохозяйственной обработкой.

Под пахотным располагается старопашотный горизонт Апах₂ мощностью до 17 см. Он характеризуется более светлой окраской, рыхлым сложением, легкосуглинистым гранулометрическим составом и комковатой структурой, постепенно переходящей в нижележащие горизонты. Элювиальный горизонт А₂, залегающий на глубине 43–50 см, имеет белесовато-палевую окраску, бесструктурное рыхлое сложение и отличается пониженным содержанием гумуса, а также выраженными признаками выноса коллоидных частиц.

Переходный горизонт А₂В, расположенный на глубине 50–62 см, имеет светло-коричневую окраску, среднесуглинистый иловато-песчаный гранулометрический состав и комковато-бесструктурное сложение. Для него характерно наличие железистых пятен, свидетельствующих о проявлении процессов оглеения и миграции подвижных соединений. Ниже залегает иллювиальный горизонт В (63–91 см), отличающийся более тёмной окраской, плотной ореховато-комковатой структурой и накоплением железистых плёнок и органо-минеральных соединений.

Переходный горизонт ВС (91–115 см) характеризуется плотным сложением, среднесуглинистым гранулометрическим составом, сизовато-охристой окраской и присутствием отдельных железистых включений. Ниже глубины 115 см располагается материнская порода С, представленная плотными

среднесуглинистыми, местами мелкощебнистыми лессовидными делювиальными отложениями светло-коричневого цвета.

Таблица 3.2 – Морфологическая характеристика почвы опытного участка
(2025 год)

Горизонт	Мощность, см	Вид профиля
<i>Anax</i>	$\frac{0 - 20}{20}$	
<i>Anax₂</i>	$\frac{20 - 30}{10}$	
<i>A₂</i>	$\frac{30 - 40}{10}$	
<i>A₂B</i>	$\frac{40 - 58}{18}$	
<i>B</i>	$\frac{58 - 87}{29}$	
<i>BC</i>	$\frac{87 - 115}{23}$	
<i>C ></i>	<i>115</i>	

Морфологическое строение почвенного профиля свидетельствует о развитии процессов элювиально-иллювиальной дифференциации при слабом проявлении оглеения в нижней части профиля. Особенности пахотного горизонта отражают длительное сельскохозяйственное использование участка. Благодаря рыхлому сложению и хорошо выраженной структуре верхний слой почвы характеризуется благоприятным водно-воздушным режимом, обеспечивающим удовлетворительные условия для развития корневой системы растений. В целом исследуемая почва обладает хорошими агрофизическими свойствами, однако при

её длительном сельскохозяйственном использовании необходимо поддерживать содержание органического вещества и предотвращать уплотнение пахотного слоя (Дубенок с соавт., 2026).

Морфологическая характеристика почвы опытного участка по результатам обследования, выполненного в 2025 году, представлена в таблице 3.2. Исследуемая почва относится к агродерново-подзолистой глеевой глубокопахотной глубоко осветлённой поверхностно оглеенной легкосуглинистой крупнопылевато-песчаной на ледниковых отложениях легкосуглинистого состава (P-(ELg)-BELg-BTg-C). Почвенный профиль характеризуется чётко выраженной генетической дифференциацией горизонтов.

Верхнюю часть профиля занимает пахотный горизонт Апах (0–20 см), имеющий светло-серую окраску, рыхлое рассыпчатое сложение, легкосуглинистый песчано-пылеватый гранулометрический состав и комковато-мелкокомковатую структуру. В его пределах отмечаются многочисленные мелкие корни растений, а также признаки агрогенного уплотнения и слабая неоднородность плотности, обусловленные длительным сельскохозяйственным использованием участка. Ниже располагается старопахотный горизонт Апах₂ (20–30 см), отличающийся более светлой окраской и несколько большей плотностью. Для него характерны комковато-мелкокомковатая структура и постепенный переход к нижележащим горизонтам. Элювиальный горизонт А₂ (30–40 см) имеет белесовато-палевую окраску, бесструктурное рыхлое сложение, легкосуглинистый песчано-пылеватый состав и выраженные признаки элювиальных процессов, проявляющиеся в выносе гумусовых веществ и коллоидных частиц. Переходный горизонт А₂В (40–58 см) характеризуется более тёмной, коричневатой окраской, неоднородным строением, присутствием железистых новообразований и отдельных мелких корней растений. Ниже расположен иллювиальный горизонт В (58–87 см), отличающийся плотным ореховато-комковатым сложением и более интенсивной окраской, обусловленной накоплением железистых плёнок и миграцией органо-железистых соединений из

вышележащих горизонтов. Горизонт ВС (87–115 см) представлен плотной среднесуглинистой толщей светло-коричневого с сизовато-охристым оттенком цвета, содержащей железистые прожилки и отдельные фрагменты щебнистого материала. Ниже глубины 115 см залегает материнская порода С, представленная плотными среднесуглинистыми, местами мелкощебнистыми лессовидными делювиальными отложениями светло-коричневой окраски.

Морфологическое строение профиля соответствует характерным признакам агродерново-подзолистых легкосуглинистых почв. Наличие хорошо выраженных элювиального и иллювиального горизонтов свидетельствует о развитии процессов элювиально-иллювиальной дифференциации. Рыхлое сложение пахотного слоя, достаточная структурность и хорошие водопроницаемые свойства создают благоприятные условия для выращивания сельскохозяйственных культур. Вместе с тем при длительном использовании почвы в земледелии необходимо уделять внимание сохранению содержания органического вещества и предупреждению уплотнения пахотного горизонта.

Таблица 3.3 – Гранулометрический состав дерново-подзолистой почвы
опытного участка (2022 год)

Генетический горизонт, мощность, см	Содержание частиц, %, при размере фракций, мм						
	1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	<0,01
$ВПС_{\frac{0-5}{5}}$	22,73	15,58	38,80	7,75	8,12	7,02	22,89
$Апах_1_{\frac{5-25}{25}}$	25,75	11,58	42,48	6,61	6,77	6,81	20,19
$Апах_2_{\frac{25-42}{17}}$	22,55	10,34	44,05	5,92	9,14	8,00	23,06
$A_2_{\frac{43-50}{7}}$	18,56	11,92	39,89	5,43	10,12	14,08	29,63
$A_2B_{\frac{50-62}{12}}$	30,46	24,30	11,75	3,26	5,06	25,17	33,49
$B_{\frac{63-91}{28}}$	32,82	26,52	10,24	1,35	5,47	23,60	30,42
$BC_{\frac{91-115}{24}}$	35,52	27,42	6,90	1,47	3,39	25,30	30,16
$C > 115$	16,97	35,34	14,24	2,49	6,32	24,64	33,45

Анализ данных таблицы 3.3. свидетельствует о том, что дерново-подзолистая почва опытного участка характеризуется преимущественно легкосуглинистым гранулометрическим составом. Содержание физической глины

(частиц менее 0,01 мм) изменяется по почвенному профилю и варьирует от 20,19 до 33,49 % в зависимости от генетического горизонта.

Анализ данных таблицы 3.4 показывает, что дерново-подзолистая почва опытного участка в 2025 году характеризуется преимущественно легкосуглинистым гранулометрическим составом. Содержание физической глины (<0,01 мм) изменяется по профилю от 22,97 до 30,27 %. В верхних горизонтах ВПС и Апах преобладает фракция крупной пыли (0,05–0,01 мм), что характерно для легких суглинков. В подзолистом горизонте A_2 содержание физической глины возрастает до 28,19 %. В иллювиальном горизонте В и переходном горизонте ВС отмечается повышенное содержание илистой фракции (<0,001 мм) — до 21,50–23,58 %, что свидетельствует об аккумуляции тонкодисперсных частиц и позволяет отнести данные горизонты к средним суглинкам. Почвообразующая порода С характеризуется более выровненным гранулометрическим составом.

Таблица 3.4 – Гранулометрический состав дерново-подзолистой почвы опытного участка (2025 год)

Генетический горизонт, мощность, см	Содержание частиц, %, при размере фракций, мм						
	1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	<0,01
$BPC_{\frac{0-6}{6}}$	21,60	18,30	33,45	9,04	8,91	8,22	23,62
$A_{\text{пах}}_{\frac{6-20}{20}}$	22,93	18,20	35,90	7,63	7,75	7,59	22,97
$A_{\text{пах}2}_{\frac{20-30}{10}}$	22,27	13,22	39,58	8,00	8,61	8,32	24,93
$A_2_{\frac{30-40}{10}}$	11,76	8,97	51,08	10,12	9,34	8,73	28,19
$A_2B_{\frac{40-58}{18}}$	49,15	6,82	18,69	2,28	6,45	16,61	25,34
$B_{\frac{58-87}{29}}$	38,14	24,36	10,00	1,51	4,49	21,50	27,50
$BC_{\frac{87-115}{23}}$	34,48	26,72	8,53	1,63	5,06	23,58	30,27
$C > 115$	25,54	40,77	8,89	1,55	5,22	18,03	24,80

Агрохимические показатели почвенного разреза, заложенного перед проведением исследования, указаны в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Агрохимические показатели почвы опытного участка (2022)

Генетический горизонт, мощность, см	Органическое вещество, %	pH_{KCl}	H_r	S	ЕКО	V, %	P_2O_5	K_2O	$N-NH_4$	$N-NH_3$
			ммоль/100 г почвы				мг/кг почвы			
$BPC_{\frac{0-5}{5}}$	8,2	6,13	2,16	12,32	14,48	85,1	361	585	63,5	12,7

Генетический горизонт, мощность, см	Органическое вещество, %	pH_{KCl}	H_r	S	ЕКО	V, %	P_2O_5	K_2O	$N-NH_4$	$N-NH_3$
			ммоль/100 г почвы				мг/кг почвы			
$Anax_1 \frac{5-25}{25}$	6,8	6,04	2,74	10,25	12,99	78,9	321	541	12,2	4,3
$Anax_2 \frac{25-42}{17}$	3,2	6,07	2,11	6,88	8,99	76,5	309	652	8,6	3,0
$A_2 \frac{43-50}{7}$	0,9	5,83	2,52	2,74	5,26	52,1	61,7	504	2,5	1,2
$A_2B \frac{50-62}{12}$	0,5	4,55	4,82	4,48	9,30	48,2	15,7	381	7,5	1,5
$B \frac{63-91}{28}$	0,9	3,76	7,41	2,31	9,72	23,7	18,6	270	8,1	1,1
$BC \frac{91-115}{24}$	0,7	3,66	7,59	2,85	10,44	27,3	24,6	50,9	6,9	1,2
$C > 115$	0,4	3,64	7,76	3,39	11,15	30,4	33,3	53,5	7,3	1,4

Результаты лабораторного анализа почвенных образцов, отобранных из разреза, заложенного в 2022 году, свидетельствуют о хорошо сформированном плодородном пахотном горизонте, характеризующемся высоким содержанием органического вещества и обеспеченностью основными элементами минерального питания. Верхняя часть почвенного профиля отличается слабокислой реакцией среды, повышенным содержанием гумуса, а также высоким уровнем подвижных форм фосфора, калия и минерального азота. Совокупность этих показателей обеспечивает благоприятные условия для развития корневой системы растений и их полноценного роста. По мере увеличения глубины профиля наблюдается закономерное снижение содержания гумуса и уменьшение обеспеченности почвы элементами питания. Одновременно сокращается степень насыщенности основаниями, что соответствует особенностям элювиально-иллювиального типа почвообразования. В переходных горизонтах прослеживаются признаки миграции органо–минеральных соединений, сопровождающиеся повышением кислотности и накоплением продуктов их перераспределения. Нижняя часть профиля представлена более плотными породами, для которых характерны низкое содержание органического вещества и невысокая биологическая активность.

Таким образом, агрохимические и агрофизические свойства верхней части исследуемого почвенного профиля свидетельствуют о её высокой потенциальной продуктивности. Благоприятная структура, хорошие показатели аэрации и

обеспеченности элементами питания создавали оптимальные условия для выращивания культур, предъявляющих повышенные требования к состоянию корнеобитаемого слоя, в том числе вишни. До начала проведения полевого опыта почва обладала высоким уровнем потенциального плодородия и не имела ограничений для закладки плодовых насаждений.



Рисунок 3.1 – Подготовка почвенных образцов для лабораторных исследований

Агрохимические показатели почвенного разреза, заложенного после проведения исследования осенью в 2025 году, указаны в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Агрохимические показатели почвы опытного участка (2025)

Генетический горизонт, мощность, см	Органическое вещество, %	pH_{KCl}	H_r	S	ЕКО	V,%	P_2O_5	K_2O	$N-NH_4$	$N-NH_3$
			ммоль/100 г				мг/кг почвы			
			почвы							
$BPC_{\frac{0-6}{6}}$	6,8	5,10	2,03	9,37	11,80	82,4	348	438	76,9	21,4
$Anax_{\frac{6-20}{20}}$	5,1	6,04	2,21	8,37	10,58	79,1	311	393	41,7	8,4
$Anax_2_{\frac{20-30}{10}}$	2,8	6,12	2,41	6,11	8,52	71,7	273	532	15,1	3,6
$A_2_{\frac{30-40}{10}}$	0,5	5,40	3,71	1,54	5,25	29,4	28,7	271	8,0	1,9
$A_2B_{\frac{40-58}{18}}$	0,4	3,97	6,38	0,98	7,36	13,3	21,4	213	6,2	1,2

Генетический горизонт, мощность, см	Органическое вещество, %	pH_{KCl}	H_r	S	EKO	V,%	P_2O_5	K_2O	$N-NH_4$	$N-NH_3$
			ммоль/100 г				мг/кг почвы			
			почвы							
$B \frac{58-87}{29}$	0,4	3,85	8,11	2,09	10,20	20,5	21,2	67,7	7,3	1,2
$BC \frac{87-115}{23}$	0,4	3,59	8,45	1,41	9,86	14,3	18,2	38,4	6,6	1,2
$C > 115$	0,4	3,57	8,65	1,87	10,52	17,8	32,3	36,5	6,9	1,3

Результаты лабораторных исследований почвенных образцов, отобранных в конце периода наблюдений, свидетельствуют об изменении агрохимических свойств как пахотного слоя, так и нижележащих горизонтов. Наиболее заметные изменения отмечены в верхней части почвенного профиля. Содержание органического вещества снизилось с 8,2 % до 6,8 %. По сравнению с исходными показателями сократилось содержание подвижного калия — с 585 мг/кг до 438 мг/кг в верхнем горизонте. Подобные изменения обусловлены интенсивным потреблением элемента растениями в течение вегетационного периода, его накоплением в биомассе и последующим выносом с урожаем. Изменения прослеживаются и в элювиально-иллювиальной части профиля. В этих горизонтах отмечается дальнейшее увеличение кислотности почвы, при котором значения pH снижаются до 3,97–3,59. Одновременно возрастает гидролитическая кислотность, что свидетельствует об усилении процессов выщелачивания и миграции оснований из корнеобитаемого слоя в более глубокие горизонты.

Таблица 3.7 – Водно-физические свойства почвы опытного участка

Почвенный горизонт, см	Плотность, г/см ³	Плотность твердой фазы, г/см ³	Общая пористость, %	НВ	МГ	ВЗ	ПВ
				% от массы почвы			
$ВПС \frac{0-5}{5}$	1,18	2,43	51,44	32,9	8,0	12,4	43,6
$Anax_1 \frac{5-25}{25}$	1,15	2,38	51,68	30,8	8,4	12,9	44,9
$Anax_2 \frac{25-42}{17}$	1,38	2,56	46,09	29,5	3,4	5,5	33,4
$A_2 \frac{43-50}{7}$	1,40	2,72	48,53	30,0	3,8	6,0	34,6
$A_2B \frac{50-62}{12}$	1,50	2,74	45,26	25,9	4,2	6,2	30,2
$B \frac{63-91}{28}$	1,53	2,70	43,33	22,4	3,6	5,9	28,3
$BC \frac{91-115}{24}$	1,52	2,67	43,07	21,6	4,1	6,1	28,3
$C > 115$	1,58	2,70	41,48	19,4	3,5	5,3	26,3

Водно-физические свойства почвы являются основой для определения режима капельного орошения, поскольку влияют на накопление и распределение влаги в корнеобитаемом слое. Данные водно-физических свойств почвы опытного участка представлены в таблице 3.7, где плотность почвы с глубиной увеличивается от 1,15–1,18 г/см³ в верхних горизонтах до 1,58 г/см³ в слое более 115 см. Одновременно общая пористость снижается с 51,68 до 41,48 %. Наименьшая влагоемкость (НВ) также уменьшается по профилю — с 32,9 % в слое 0–5 см до 19,4 % глубже 115 см. Установленные различия необходимо учитывать при расчете поливной нормы и продолжительности капельного полива молодого сада вишни, чтобы поддерживать необходимую влажность в зоне размещения корневой системы и ограничивать потери воды за пределами увлажняемого слоя.

Сопоставление результатов исследований, полученных по двум почвенным разрезам, показывает, что за период проведения опыта произошли закономерные изменения агрохимического состояния почвы. Отмечено уменьшение степени насыщенности основаниями, снижение содержания гумуса в пахотном горизонте, сокращение запасов доступных соединений фосфора и калия, а также повышение кислотности как верхних, так и срединных горизонтов почвенного профиля. Выявленные изменения могут быть связаны с длительным сельскохозяйственным использованием участка, интенсивным потреблением элементов минерального питания растениями, их выносом с урожаем, минерализацией органического вещества и недостаточным восполнением утраченных запасов питательных элементов.

3.2. Плотность и пористость почвы при различных вариантах орошения

Одним из основных агрофизических показателей, характеризующих состояние почвы, является её плотность. Данный параметр широко используется при выполнении агромелиоративных и ирригационных расчётов, поскольку служит основой для определения запасов продуктивной влаги, содержания элементов питания и расчёта общей пористости почвы. Увеличение плотности

оказывает неблагоприятное влияние на развитие растений: ухудшается воздушный режим почвы, ограничивается проникновение корневой системы в нижележащие горизонты, снижается её функциональная активность, что в конечном итоге отрицательно сказывается на росте надземной части растений (Bethune с соавт., 1990).

В ходе исследований плотность почвы определяли ежегодно в начале каждого вегетационного периода отдельно по всем вариантам опыта. Дополнительные измерения были выполнены в 2023 году после завершения вегетации. Необходимость повторного определения была обусловлена тем, что весенний отбор образцов проводился после вспашки, когда почва находилась в разрыхлённом состоянии. В течение сезона под воздействием естественных процессов происходило постепенное уплотнение пахотного слоя, что потребовало оценки изменений данного показателя к концу вегетации. В последующие годы исследований существенных колебаний плотности почвы не отмечалось — её значения оставались стабильными (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Плотность дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при различных режимах орошения в период с 2023 по 2025 гг., г/см³

Глубина горизонта, см	2023 начало вегетации	2023 конец вегетации	2024 конец вегетации	2025 конец вегетации
	$\bar{X} \pm t \cdot S_{\bar{X}}$	$\bar{X} \pm t \cdot S_{\bar{X}}$	$\bar{X} \pm t \cdot S_{\bar{X}}$	$\bar{X} \pm t \cdot S_{\bar{X}}$
60–80 % НВ				
0-10	1,18±0,02	1,24±0,02	1,27±0,02	1,26±0,02
10-20	1,15±0,02	1,22±0,03	1,23±0,02	1,24±0,03
20-30	1,38±0,02	1,39±0,04	1,40±0,03	1,39±0,03
30-40	1,38±0,03	1,38±0,03	1,39±0,01	1,42±0,01
40-50	1,36±0,01	1,38±0,02	1,39±0,02	1,39±0,01
70–90 % НВ				
0-10	1,19±0,01	1,27±0,02	1,33±0,03	1,34±0,02
10-20	1,17±0,03	1,23±0,02	1,30±0,02	1,29±0,02
20-30	1,29±0,03	1,30±0,03	1,38±0,01	1,37±0,01
30-40	1,33±0,03	1,31±0,01	1,31±0,03	1,32±0,04
40-50	1,33±0,02	1,28±0,01	1,26±0,02	1,34±0,03
80-100%НВ				
0-10	1,19±0,02	1,22±0,01	1,30±0,03	1,31±0,02
10-20	1,17±0,03	1,18±0,03	1,24±0,03	1,23±0,03
20-30	1,32±0,02	1,33±0,03	1,35±0,02	1,34±0,01
30-40	1,35±0,02	1,36±0,02	1,34±0,02	1,35±0,03
40-50	1,35±0,01	1,37±0,03	1,35±0,03	1,37±0,02

Глубина горизонта, см	2023 начало вегетации	2023 конец вегетации	2024 конец вегетации	2025 конец вегетации
	$\bar{X} \pm t \cdot S_{\bar{X}}$	$\bar{X} \pm t \cdot S_{\bar{X}}$	$\bar{X} \pm t \cdot S_{\bar{X}}$	$\bar{X} \pm t \cdot S_{\bar{X}}$
Контроль (без орошения)				
0-10	1,21±0,03	1,29±0,02	1,28±0,02	1,30±0,01
10-20	1,19±0,03	1,25±0,01	1,26±0,02	1,28±0,02
20-30	1,30±0,02	1,34±0,03	1,35±0,03	1,36±0,01
30-40	1,32±0,02	1,30±0,03	1,33±0,02	1,38±0,02
40-50	1,30±0,02	1,25±0,02	1,35±0,01	1,40±0,02

Общая пористость почвы характеризует суммарный объем всех пор в единице объема почвы и во многом определяет условия передвижения воды и воздуха в почвенном профиле. Определение общей пористости производилось по формуле:

$$P_{\text{общ}} = \left(1 - \frac{dv}{d}\right) \cdot 100, \quad (3.1)$$

где: dv – плотность почвы, г/см³,

d – плотность твердой фазы, г/см³,

Таблица 3.9 – Общая пористость дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при различных режимах орошения в период с 2023 по 2025 гг., %

Глубина горизонта, см	2023 начало вегетации	2023 конец вегетации	2024 конец вегетации	2025 конец вегетации
60–80 % НВ				
0-10	57,09	54,91	53,82	54,18
10-20	58,18	55,64	55,27	54,91
20-30	49,82	49,45	49,09	49,45
30-40	49,82	49,82	49,45	48,36
40-50	50,55	49,82	49,45	49,45
70–90 % НВ				
0-10	56,25	53,31	51,10	50,74
10-20	56,99	54,78	52,21	52,57
20-30	52,57	52,21	49,26	49,63
30-40	51,10	51,84	51,84	51,47
40-50	51,10	52,94	53,68	50,74
80-100%НВ				
0-10	56,09	54,98	52,03	51,66
10-20	56,83	56,46	54,24	54,61
20-30	51,29	50,92	50,18	50,55
30-40	50,18	49,82	50,55	50,18
40-50	50,18	49,45	50,18	49,45

Глубина горизонта, см	2023 начало вегетации	2023 конец вегетации	2024 конец вегетации	2025 конец вегетации
Контроль (без орошения)				
0-10	55,51	52,57	52,94	52,21
10-20	56,25	54,04	53,68	52,94
20-30	52,21	50,74	50,37	50,00
30-40	51,47	52,21	51,10	49,26
40-50	52,21	54,04	50,37	48,53

По данным таблицы 3.9, в течение 2023–2025 года величина общей пористости в слое 0–50 см изменялась в зависимости от глубины и режима орошения. На большинстве вариантов отмечается тенденция к ее снижению к концу периода исследований, наиболее выраженная преимущественно в верхних слоях почвы. При капельном орошении пористость имеет особое значение, поскольку от нее зависят скорость впитывания и распространения поливной воды, аэрация почвы и формирование контура увлажнения. Поддержание оптимальной пористости способствует равномерному распределению влаги и созданию благоприятных водно-воздушных условий для развития корневой системы вишни.

3.3. Пористость аэрации при различных вариантах опыта

Пористость аэрации – общепризнанный критерий насыщенности почвы кислородом. Согласно литературным данным, оптимальная пористость аэрации для плодовых культур составляет 15–25 % объёма почвы. При снижении показателя ниже 10–12 % ухудшается воздушный режим и возрастает риск кислородного голодания корневой системы, тогда как значения выше 30 % свидетельствуют о чрезмерном иссушении почвы (Цырибко, 2016).

По данным отечественных исследователей (Григоров с соавт., 2001), разрушение почвенной структуры в условиях орошения сопровождается развитием процессов переуплотнения и слитизации. Следствием этих изменений становится ухудшение агрофизических свойств почвы, прежде всего уменьшение её общей пористости, что отрицательно отражается на водно-воздушном режиме и условиях роста растений (Григоров, 2001).

За весь период исследования (2023–2025 г.г.) динамика пористости аэрации

в слое почвы 0–50 см зависела как от режима увлажнения, так и от погодных условий в отдельные периоды вегетации (таблица 3.11). В орошаемых вариантах значения пористости аэрации в течение вегетационного периода в основном находились в пределах, близких к оптимальным для нормального функционирования корневой системы вишни.

В 2023 г. варианте орошения 60–80 % НВ (таблица 3.10) пористость аэрации изменялась от 10,7 до 26,4 %. Наиболее высокие значения отмечались в первой декаде июня (24,8–26,4 %), что связано с относительно умеренным увлажнением почвы и благоприятным соотношением водной и воздушной фаз. В отдельные периоды июля и августа наблюдалось снижение показателя до 10,7–13,6 %, обусловленное выпадением осадков и повышением влажности почвы после проведения поливов. Однако даже минимальные значения оставались в допустимых пределах для орошаемых условий. При орошении 70–90 % НВ пористость аэрации варьировала от 9,2 до 25,6 %. Заметное снижение наблюдалось во второй и третьей декадах июля, когда пористость аэрации уменьшалась до 7,2–7,6 %, что свидетельствует о временном ухудшении воздушного режима почвы в результате повышенной влажности и заполнения большей части пор водой из-за выпадения обильных осадков. В то же время в периоды понижения влажности почвы показатель возрастал до 23,2–25,6 %.

Таблица 3.10 – Подекадная динамика пористости аэрации на глубине 50 см дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы вегетационный период 2023 г., %

Месяц	Декада	60–80% НВ		70–90% НВ		80–100% НВ		Контроль (без орошения)	
		начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады
Май	1	20,4	24,8	21,6	25,2	21,2	22,8	22,1	25,3
	2	18,4	22,4	11,2	14,0	14,0	16,0	14,2	18,5
	3	16,4	18,4	11,2	13,2	10,0	12,8	16,6	17,8
Июнь	1	21,2	26,4	15,2	18,4	10,8	13,2	20,5	24,5
	2	18,4	19,2	19,2	19,6	14,0	17,2	27,3	32,8

Месяц	Декада	60–80% НВ		70–90% НВ		80–100% НВ		Контроль (без орошения)	
		начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады
	3	20,4	13,6	19,6	12,8	18,0	8,4	35,2	25,3
Июль	1	13,6	19,2	13,2	17,6	8,4	10,8	25,3	32,4
	2	23,2	17,6	13,2	9,2	13,2	10,0	31,2	22,5
	3	18,4	10,7	15,2	9,6	16,8	10,0	25,7	17,4
Август	1	22,4	24,4	21,2	23,6	10,0	12,4	24,5	30,8
	2	16,8	12,0	14,8	11,6	10,0	5,2	23,7	22,5
	3	13,6	16,8	15,2	18,4	10,8	16,8	13,8	17,0
Сентябрь	1	21,2	23,6	21,6	24,0	19,6	22,0	20,1	22,1
	2	13,2	14,8	18,4	20,8	14,0	16,4	24,5	27,3
	3	20,0	22,4	23,2	25,6	17,6	18,4	28,4	30,0

Наиболее низкие значения пористости аэрации отмечались в варианте 80–100 % НВ, где они изменялись в пределах от 5,2 до 22,8 %. В условиях повышенного предполивного порога влажности происходило значительное уменьшение объема воздушных пор, особенно в июле–августе, когда пористость аэрации снижалась до 5,2–10,0 %. Подобные значения свидетельствуют об ухудшении воздушного режима почвы при данном варианте орошения по причине выпадения большого количества осадков. Вместе с тем в периоды снижения влажности почвы показатель возрастал до 18,4–22,8 %. На контроле (без орошения) значения пористости аэрации изменялись от 14,2 до 35,2 %. Наиболее высокие показатели наблюдались в июне–июле (25,3–35,2 %), что связано с иссушением почвы и увеличением объема воздушных пор вследствие недостатка влаги. После выпадения осадков отмечалось временное снижение пористости аэрации, однако даже в эти периоды значения оставались выше, чем в орошаемых вариантах.

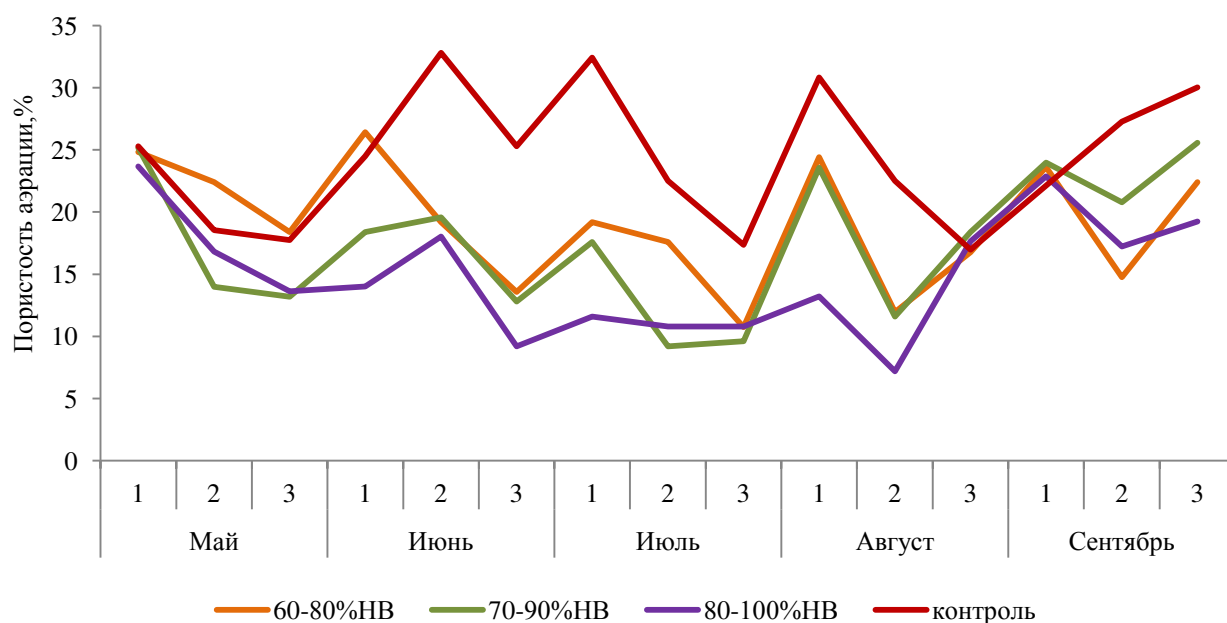


Рисунок 3.2 – Динамика пористости аэрации в корнеобитаемом слое, 2023 г.

В 2024 г. варианте 60-80 % НВ пористость аэрации (рисунки 3.3–3.4) изменялась от 2,7 до 27,6 %. Наиболее высокие значения наблюдались в июле, что связано со снижением влажности почвы между поливами. Минимальные значения отмечались во второй декаде июня после выпадения осадков, когда происходило временное ухудшение воздушного режима почвы. При варианте 70–90 % НВ значения пористости аэрации варьировали от 7,6 до 25,3 %. В целом данный вариант характеризовался более устойчивым воздушным режимом. Снижение показателя до 7,6 % наблюдалось в июле в периоды повышенного увлажнения почвы. Наиболее низкие значения были характерны для варианта 80–100 % НВ, где пористость аэрации изменялась в пределах 2,7–22,0 %. При повышенном уровне увлажнения происходило уменьшение объема воздушных пор, особенно во второй декаде июня и в августе, когда показатель снижался до 2,7–10,0 %.

На контроле (без орошения) пористость аэрации изменялась от 2,4 до 40,0 %. Наиболее высокие значения отмечались в сентябре и были обусловлены иссушением почвы вследствие недостатка влаги. После выпадения осадков происходило временное снижение пористости аэрации, однако значения в контроле в большинстве случаев оставались выше, чем в орошаемых вариантах.

Таблица 3.11 – Подекадная динамика пористости аэрации на глубине 50 см дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы вегетационный период 2024 г., %

Месяц	Декада	60–80% НВ		70–90% НВ		80–100% НВ		Контроль (без орошения)	
		начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады
Май	1	20,1	18,9	23,8	23,0	20,4	18,0	22,6	21,0
	2	11,0	16,2	15,3	21,1	10,8	16,8	13,5	17,8
	3	17,3	19,3	22,6	25,3	18,0	22,0	20,6	24,1
Июнь	1	15,4	13,8	20,7	18,4	15,6	11,6	19,8	16,2
	2	10,2	2,7	14,5	7,6	10,0	2,7	11,9	2,4
	3	14,2	22,1	12,2	16,5	11,6	18,8	9,1	15,8
Июль	1	26,9	27,6	18,4	18,8	10,0	10,0	25,7	26,5
	2	18,5	21,3	24,5	25,7	16,4	17,2	27,7	26,5
	3	12,2	14,2	18,4	20,3	14,0	13,6	15,8	16,2
Август	1	8,6	11,8	14,5	17,2	7,6	12,4	10,3	13,1
	2	10,2	14,6	14,5	16,8	8,4	10,0	11,9	15,0
	3	19,7	24,9	18,0	21,8	13,2	15,6	19,0	23,8
Сентябрь	1	18,5	18,5	24,5	25,3	18,0	18,4	28,9	32,5
	2	18,5	17,0	18,4	18,4	10,0	9,6	37,2	40,0
	3	18,5	18,1	19,9	18,8	12,0	10,8	40,0	39,6

В 2025 г. в варианте орошения 60–80 % НВ пористость аэрации изменялась от 4,1 до 21,9 %. Наиболее высокие значения отмечались в июне, что связано со снижением влажности почвы между поливами и увеличением объема воздушных пор. В отдельные периоды июля и августа наблюдалось уменьшение показателя до 4,1–7,7 %, обусловленное повышенным увлажнением почвы после выпадения обильных осадков.

При орошении 70–90 % НВ пористость аэрации варьировала от 12,1 до 26,5 %. Данный вариант характеризовался наиболее устойчивым воздушным режимом, а значения показателя в течение большей части вегетации оставались в оптимальных пределах. Наибольшие значения наблюдались в июне, минимальные – в июле. В варианте орошения 80–100 % НВ пористость аэрации изменялась от

4,6 до 17,7 %. Повышенный уровень увлажнения способствовал уменьшению объема воздушных пор, особенно в июле–августе, когда показатель снижался до 4,6–10,6 %, что свидетельствует об ухудшении воздушного режима почвы. На варианте без орошения значения пористости аэрации находились в пределах от 5,8 до 31,7 %. Наиболее высокие показатели отмечались в июне, что было связано с иссушением почвы и недостатком влаги.

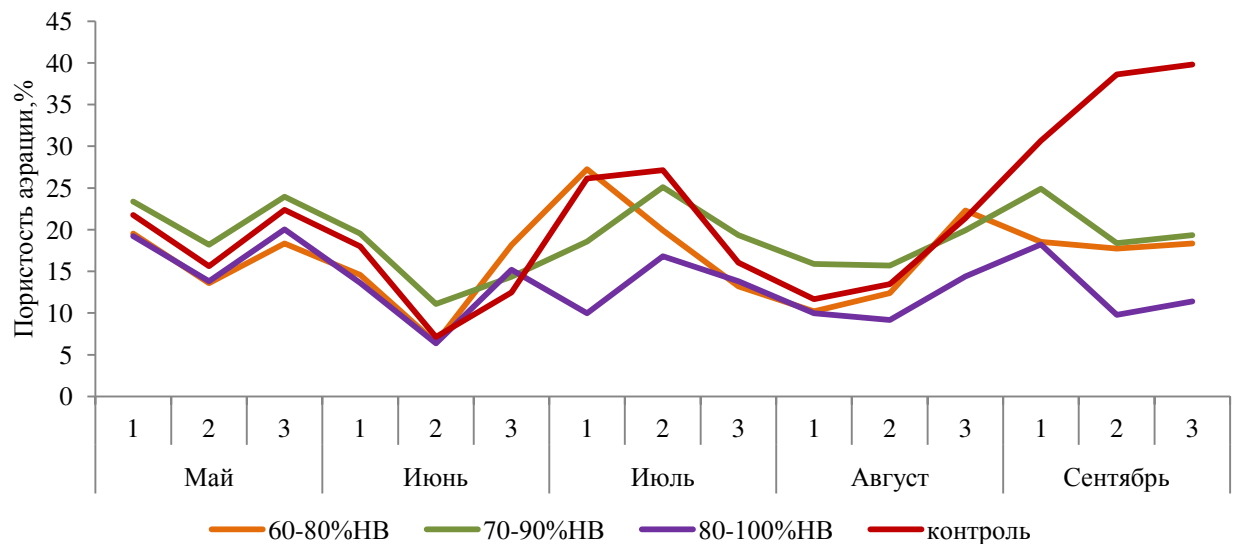


Рисунок 3.3 – Динамика пористости аэрации в корнеобитаемом слое, 2024 г.

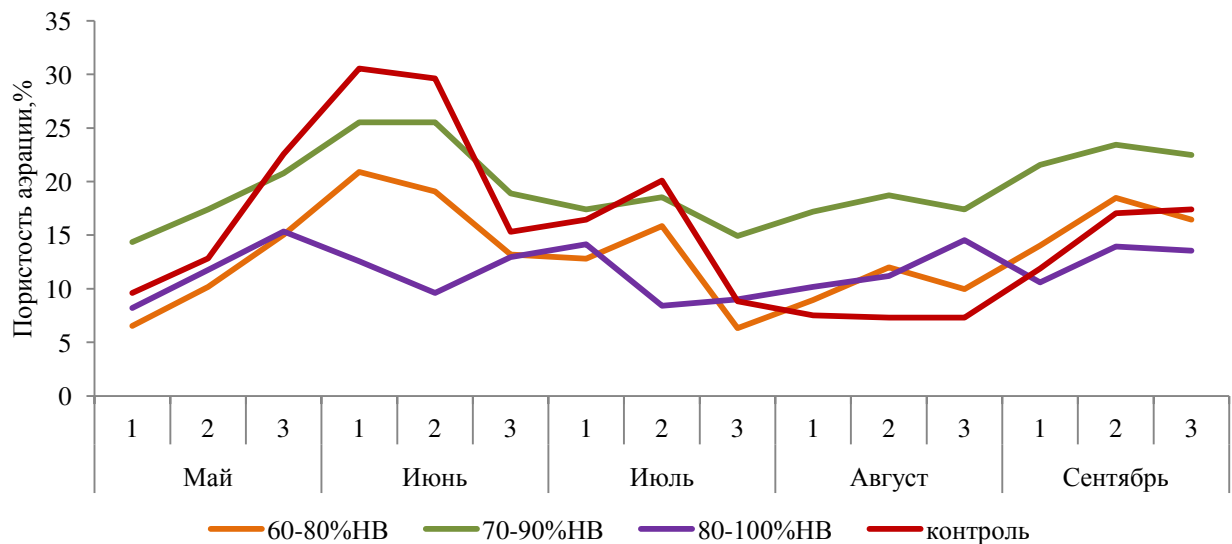


Рисунок 3.4 – Динамика пористости аэрации в корнеобитаемом слое, 2025 г.

Таблица 3.12 – Подекадная динамика пористости аэрации на глубине 50 см дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы вегетационный период 2025 г., %

Месяц	Декада	60–80% НВ		70–90% НВ		80–100% НВ		Контроль (без орошения)	
		начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады
Май	1	9,0	4,1	16,6	12,1	10,6	5,8	12,3	6,9
	2	9,0	11,4	15,9	18,9	11,0	12,6	11,9	13,8
	3	13,8	16,2	19,7	21,9	14,5	16,1	19,9	25,2
Июнь	1	19,9	21,9	24,6	26,5	10,6	14,5	29,4	31,7
	2	19,9	18,3	26,1	24,9	10,6	8,6	31,7	27,5
	3	11,0	15,4	16,3	21,5	10,6	15,3	13,8	16,8
Июль	1	9,0	16,6	14,4	20,4	10,6	17,7	13,0	19,9
	2	19,9	11,8	22,3	14,7	12,2	4,6	24,1	16,1
	3	7,7	4,9	15,9	14,0	10,6	7,4	10,4	7,3
Август	1	11,0	6,9	17,4	17,0	10,6	9,8	9,2	5,8
	2	11,0	13,0	18,1	19,3	11,8	10,6	7,3	7,3
	3	9,0	11,0	15,9	18,9	12,6	16,5	6,2	8,5
Сентябрь	1	13,0	15,0	21,2	21,9	10,6	10,6	10,4	13,4
	2	17,5	19,5	22,3	24,6	13,4	14,5	16,1	18,0
	3	15,8	17,1	21,9	23,1	13,0	14,1	17,2	17,6

По результатам исследований 2023–2025 года установлено, что режим орошения оказывал существенное влияние на воздушный режим дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы и величину пористости аэрации в слое 0–50 см. Во все годы исследований прослеживалась устойчивая закономерность: с увеличением предполивного порога влажности почвы пористость аэрации снижалась вследствие заполнения большей части пор водой.

Таким образом, наиболее благоприятные условия водно-воздушного режима почвы в годы исследований формировались при режиме орошения 70–90 % НВ. Данный вариант обеспечивал наиболее стабильные и близкие к оптимальным значения пористости аэрации, способствуя поддержанию благоприятного соотношения водной и воздушной фаз почвы.

3.4. Содержание тяжелых металлов и других химических элементов в почве

Результаты определения содержания тяжёлых металлов и других химических элементов свидетельствуют о том, что до начала исследований почва опытного участка соответствовала фоновому экологически безопасному состоянию и не имела признаков техногенного загрязнения. Распределение химических элементов по почвенному профилю соответствовало естественным закономерностям данного типа почв. Наибольшие концентрации биофильных элементов, включая К, Р, Zn и Pb, были приурочены к гумусовому горизонту, тогда как соединения железа и алюминия, а также часть микроэлементов преимущественно накапливались в иллювиальных горизонтах. Подобная профильная дифференциация отражает естественные процессы миграции веществ в почве и является характерной особенностью агродерново-подзолистых почв. В целом совокупность полученных показателей свидетельствовала о благоприятном экологическом состоянии участка и его пригодности для закладки плодовых насаждений.

Таблица 3.13 – Содержание тяжелых металлов и других химических элементов в почве (2022г.)

Тяжелые металлы и хим. элементы	Единицы измерения	Генетические горизонты							
		ВПС	Апах ₁	Апах ₂	А ₂	А ₂ В	В	ВС	С
MgO	%	0,67	0,66	0,66	0,70	1,07	1,03	0,46	0,95
Al ₂ O ₃	%	8,2	8,9	9,5	9,6	13,0	13,8	7,4	12,8
SiO ₂	%	68,3	70,8	73,8	76,0	62,6	61,7	79,8	65,4
P ₂ O ₅	%	0,45	0,36	0,293	0,080	0,098	0,110	0,085	0,139
K ₂ O	%	1,98	2,16	2,27	2,40	2,13	1,90	1,37	2,11
CaO	%	1,56	1,23	1,01	0,72	0,69	0,59	0,40	0,60
TiO ₂	%	0,71	0,80	0,83	0,87	0,81	0,77	0,30	0,67
V	мг/кг	59,0	61,6	65,7	68,0	85,8	80,0	39,4	76,2
Cr	мг/кг	56,0	65,4	65,1	77,3	77,0	74,0	39,1	66,4
MnO	%	0,099	0,090	0,082	0,034	0,026	0,025	0,016	0,027
Fe ₂ O ₃	%	2,4	2,6	2,6	2,9	5,5	5,3	3,2	4,4
Co	мг/кг	6,6	11,0	14,6	14,1	25,9	24,1	21,6	27,6
Ni	мг/кг	21,2	24,4	20,7	20,9	30,9	31,3	20,5	33,8
Cu	мг/кг	24,3	27,1	24,2	24,4	32,7	32,8	24,2	35,0
Zn	мг/кг	81,1	79,0	62,2	30,9	44,8	39,9	27,2	41,1
As	мг/кг	8,0	9,6	9,0	8,2	8,0	9,4	6,8	6,2
Sr	мг/кг	106,7	115,7	108,5	107,3	68,4	69,0	74,2	81,5
Pb	мг/кг	25,4	26,5	25,2	13,0	17,2	7,6	11,3	16,3

Тяжелые металлы и хим. элементы	Единицы измерения	Генетические горизонты							
		<i>ВПС</i>	<i>Апах₁</i>	<i>Апах₂</i>	<i>А₂</i>	<i>А₂В</i>	<i>В</i>	<i>ВС</i>	<i>С</i>
Rb	мг/кг	69,6	77,1	79,4	80,2	83,1	73,6	59,2	74,6
Zr	мг/кг	366,9	425,3	409,6	454,3	265,3	366,5	184,8	227,5
Ba	мг/кг	499,2	531,5	566,4	538,2	457,5	399,0	305,4	448,1

Исследование почвенного разреза, выполненного после завершения полевого опыта, показало, что характер профильного распределения тяжёлых металлов и других химических элементов принципиально не изменился. В пахотном горизонте отмечено незначительное уменьшение содержания цинка и свинца — до 74 и 33 мг/кг соответственно, тогда как концентрация кобальта увеличилась примерно до 17 мг/кг. Указанные изменения не выходят за пределы естественной изменчивости, характерной для почв, длительное время используемых в сельскохозяйственном производстве. В иллювиальной части профиля зафиксировано некоторое снижение содержания оксидов железа и алюминия, а распределение Ni, Cr и V стало более равномерным. Вероятно, это связано с процессами внутрипочвенной миграции элементов, происходящими в условиях ежегодного промывного водного режима и регулярного увлажнения почвы.

Следует отметить, что применение капельного орошения не сопровождалось накоплением тяжёлых металлов в исследуемой почве. Это обусловлено локальной подачей воды непосредственно в корнеобитаемый слой, умеренными оросительными нормами и отсутствием поступления посторонних химических загрязняющих веществ вместе с поливной водой.

Таблица 3.14 – Содержание тяжелых металлов и других химических элементов в почве (2025г.)

Тяжелые металлы и хим. элементы	Единицы измерения	Генетические горизонты							
		<i>ВПС</i>	<i>Апах₁</i>	<i>Апах₂</i>	<i>А₂</i>	<i>А₂В</i>	<i>В</i>	<i>ВС</i>	<i>С</i>
MgO	%	0,60	0,59	0,57	0,53	0,67	0,79	0,77	0,75
Al ₂ O ₃	%	7,5	8,1	8,1	7,8	8,5	10,0	10,6	10,5
SiO ₂	%	73,8	76,5	77,5	82,7	77,3	70,3	71,0	69,2
P ₂ O ₅	%	0,340	0,268	0,228	0,055	0,056	0,070	0,069	0,109

Тяжелые металлы и хим. элементы	Единицы измерения	Генетические горизонты							
		<i>ВПС</i>	<i>Апах₁</i>	<i>Апах₂</i>	<i>А₂</i>	<i>А₂В</i>	<i>В</i>	<i>ВС</i>	<i>С</i>
K ₂ O	%	1,82	1,98	1,96	2,20	1,81	1,64	1,57	1,71
CaO	%	1,29	1,02	0,80	0,69	0,48	0,51	0,46	0,56
TiO ₂	%	0,62	0,70	0,67	0,81	0,60	0,55	0,58	0,62
V	мг/кг	55,4	57,8	54,6	67,6	60,7	71,9	68,1	67,3
Cr	мг/кг	52,6	61,4	58,5	56,6	59,4	72,0	60,0	66,9
MnO	%	0,110	0,100	0,126	0,039	0,022	0,027	0,022	0,026
Fe ₂ O ₃	%	2,4	2,6	3,0	2,6	2,9	3,7	4,0	3,4
Co	мг/кг	10,1	16,9	22,2	12,7	20,1	22,3	25,6	17,4
Ni	мг/кг	17,6	20,3	18,9	18,0	20,2	26,2	29,2	24,3
Cu	мг/кг	21,7	24,1	22,9	22,4	23,8	28,5	31,0	26,9
Zn	мг/кг	75,9	74,0	57,7	28,8	29,3	34,1	39,0	34,2
As	мг/кг	7,4	8,9	9,9	8,3	5,3	7,2	6,6	5,7
Sr	мг/кг	100,1	108,5	104,7	114,5	83,3	76,2	71,5	81,8
Pb	мг/кг	31,3	32,6	26,9	11,0	14,6	13,9	11,1	15,0
Rb	мг/кг	67,0	74,2	75,6	74,3	67,6	64,6	66,2	63,5
Zr	мг/кг	319,3	370,2	370,1	499,7	227,7	269,8	225,7	255,4
Ba	мг/кг	481,3	512,6	527,0	555,3	431,8	384,0	344,7	380,3

Таким образом, результаты исследований показывают, что содержание тяжёлых металлов и микроэлементов соответствует требованиям СанПиН 1.2.3685-21. Экологическое состояние почвы опытного участка остаётся благоприятным, что позволяет продолжать выращивание вишни без ограничений, связанных с загрязнением почвы. Выявленные различия между первым и вторым почвенными разрезами отражают преимущественно естественные процессы перераспределения химических элементов по профилю, обусловленные развитием корневой системы плодовых деревьев, изменением кислотности почвы и особенностями сезонного увлажнения при использовании капельного орошения.

3.5. Динамика агрохимических показателей опытного участка

Исследования показывают, что при использовании капельного и внутрипочвенного орошения потери элементов питания существенно ниже по сравнению с традиционными способами полива. Это объясняется локальной подачей воды в корнеобитаемый слой, небольшими расходами оросительной воды и более равномерным распределением влаги в почве. Благодаря этим особенностям питательные вещества в большей степени сохраняются в зоне размещения основной массы корней, а их миграция за пределы активного слоя

значительно уменьшается. Так, результаты исследований многолетнего применения капельного орошения в плодовых насаждениях свидетельствуют о снижении выноса обменных катионов и менее выраженном их перераспределении по почвенному профилю по сравнению с традиционными способами полива (Майер, 2022).

По сравнению с поливом по бороздам и дождеванием капельное орошение при соблюдении расчётных оросительных норм способствует уменьшению потерь органического вещества. Это обусловлено локальным характером увлажнения и ограничением глубины фильтрации воды в почвенном профиле (Дубенок с соавт., 2022; Liao с соавт., 2019). Вместе с тем превышение рекомендуемых норм полива может привести к локальному накоплению солей в зоне расположения эмиттеров, что способно изменять сорбционные свойства почвы и влиять на процессы миграции органических соединений. По данным многочисленных исследований, длительное применение капельного орошения сопровождается постепенным уменьшением содержания гумуса в верхнем горизонте, что связано с активизацией процессов минерализации органического вещества и его перераспределением по почвенному профилю (Дубенок с соавт., 2021; Пугачев с соавт., 2019).

В ходе исследований ежегодно проводили лабораторный анализ почвенных образцов, результаты которого представлены в таблицах 3.15–3.17. Все определения выполнялись с учётом допустимой погрешности лабораторных измерений, соответствующей требованиям действующих ГОСТ. Для каждого агрохимического показателя (pHCl , N-NH_4 , N-NO_3 , P_2O_5 , K_2O , гумус) в таблицах приведены средние значения и доверительные интервалы, рассчитанные при уровне вероятности $P = 0,95$. Представленные доверительные интервалы характеризуют диапазон значений, в пределах которого с вероятностью 95 % находится истинная величина исследуемого показателя. Для статистической оценки достоверности различий между вариантами опыта дополнительно была рассчитана НСР.

Таблица 3.15 – Содержание основных элементов питания и органического вещества в почве при разных режимах увлажнения (2023 г.)

Режим орошения	Ед. pH _(KCL)	N-NH ₄ , мг/кг	N-NO ₃ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	Гумус, %
сорт Волочаевка						
60-80% НВ	5,23 ± 0,20	29,0 ± 2,9	3,8 ± 0,8	133 ± 16,0	186,6 ± 18,7	3,8 ± 0,6
70-90% НВ	5,48 ± 0,20	29,2 ± 2,9	3,5 ± 0,7	84,2 ± 10,1	95,7 ± 14,4	3,5 ± 0,5
80-100% НВ	5,84 ± 0,20	29,6 ± 3,0	9,2 ± 0,7	346 ± 41,5	471,7 ± 47,2	3,7 ± 0,6
Контроль (без орошения)	5,07 ± 0,20	28,4 ± 2,8	3,6 ± 0,7	104 ± 12,5	301,7 ± 30,0	3,1 ± 0,5
НСР	0,29	0,32	0,23	5,32	4,34	0,19
сорт Молодежная						
60-80% НВ	5,22 ± 0,20	30,8 ± 2,3	3,6 ± 0,7	168 ± 20,2	181,1 ± 18,1	3,5 ± 0,5
70-90% НВ	5,49 ± 0,20	31,1 ± 2,3	3,1 ± 0,6	181 ± 21,7	218,1 ± 21,8	4,0 ± 0,6
80-100% НВ	5,70 ± 0,20	32,1 ± 2,4	3,4 ± 0,7	251 ± 30,1	432,6 ± 43,3	3,1 ± 0,5
Контроль (без орошения)	4,05 ± 0,20	29,3 ± 2,9	3,2 ± 0,6	53,5 ± 6,4	89,3 ± 13,4	3,3 ± 0,5
НСР	0,16	0,46	0,19	5,05	3,55	0,19

Результаты исследований, полученные в 2023 году, показали, что после внесения органических удобрений различия между вариантами опыта по большинству агрохимических показателей были выражены слабо. Применение орошения способствовало выравниванию реакции почвенной среды и повышению доступности основных элементов минерального питания — фосфора, калия и азота, наиболее заметно при поддержании влажности почвы на уровне 80–100 % НВ. При этом содержание гумуса сохранялось практически неизменным, что свидетельствует о равномерном распределении внесённого органического материала по опытному участку.

Анализ совокупности исследуемых показателей показал, что наиболее благоприятные условия были сформированы при режиме увлажнения 70–90 % НВ. Для данного варианта была характерна высокая обеспеченность растений элементами питания при сохранении умеренной кислотности почвы и стабильного содержания органического вещества. Статистическая обработка результатов 2023 года показала, что различия между вариантами орошения по большинству исследованных показателей (pH, N-NH₄, N-NO₃, гумус) находились в пределах доверительных интервалов, что свидетельствует о невысокой

пространственной изменчивости агрохимических свойств почвы в первый год после внесения органических удобрений (100 т/га с опилками). Небольшие значения НСР (0,16–0,46 для показателей pH и содержания азота) указывают на высокую точность выполненных измерений и подтверждают статистическую достоверность различий, выявленных между изучаемыми режимами орошения (Дубенок с соавт., 2025^a).

Таблица 3.16 – Содержание основных элементов питания и органического вещества в почве при разных режимах увлажнения (2024 г.)

Режим орошения	Ед. pH _(KCL)	N-NH ₄ , мг/кг	N-NO ₃ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	Гумус, %
сорт Волочаевка						
60-80% НВ	5,75 ± 0,20	38,3± 2,9	6,6± 0,5	336,0± 40,3	535,6±53,6	4,4± 0,7
70-90% НВ	5,84 ± 0,20	39,2± 2,9	15,9± 1,2	199,0± 23,9	234,9±23,5	4,2± 0,6
80-100% НВ	5,96 ± 0,20	41,9± 3,1	3,3± 0,7	285,0± 34,2	418,4±41,8	2,7± 0,5
Контроль (без орошения)	5,49 ± 0,20	36,2± 2,7	16,8± 1,3	342,0± 41,0	424,1±42,1	1,4± 0,4
НСР	0,58	0,54	0,46	6,32	5,67	0,19
сорт Молодежная						
60-80% НВ	5,63±0,20	39,1± 2,9	4,1± 0,8	378,0±45,5	528,8±52,9	2,0± 0,4
70-90% НВ	5,88±0,20	40,3±3,0	8,0± 0,6	332,0±39,8	536,9±53,7	1,9± 0,4
80-100% НВ	6,03±0,20	44,1± 3,3	4,6± 0,9	322,0±38,6	300,1±30,0	2,0± 0,4
Контроль (без орошения)	5,51±0,20	36,4± 2,7	3,6± 0,7	364,0±43,7	517,2±51,7	1,6± 0,3
НСР	0,13	0,52	0,25	6,17	5,65	0,19

В 2024 году были отобраны и проведены исследования почвенных образцов с целью определения содержания основных элементов минерального питания и органического вещества при различных режимах увлажнения. Полученные результаты представлены в таблице 3.16.

Результаты исследований, выполненных в 2024 году, свидетельствуют о положительном влиянии капельного орошения на агрохимическое состояние почвы по сравнению с вариантом без орошения. Наиболее благоприятные показатели были получены при поддержании влажности почвы на уровне 60–80 % НВ для сорта Волочаевка и 70–90 % НВ для сорта Молодёжная. Именно при этих режимах отмечались наиболее оптимальные значения pH, повышенное

содержание аммонийного азота, подвижных соединений фосфора и калия, а также лучшее сохранение органического вещества в почве. Поддержание влажности на уровне 80–100 % НВ требует более тщательного контроля режима полива, поскольку избыточное увлажнение может способствовать усилению процессов вымывания калия и снижению содержания гумуса. В варианте без орошения, напротив, наблюдались более высокая кислотность почвы и менее благоприятная обеспеченность растений элементами минерального питания.

Статистическая обработка результатов показала, что в 2024 году доверительные интервалы для большинства показателей обеспеченности элементами питания, особенно P_2O_5 и K_2O , оказались шире по сравнению с предыдущим годом. Это связано с увеличением различий между вариантами и внутри повторностей во второй сезон после внесения органических удобрений. Несмотря на это, значения НСР по большинству исследуемых показателей были меньше величины различий между вариантами опыта, что подтверждает статистическую достоверность выявленных закономерностей.

Для оценки дальнейшей динамики агрохимических свойств почвы в 2025 году был проведён очередной отбор почвенных образцов с последующим определением содержания основных элементов минерального питания и органического вещества при различных режимах увлажнения. Полученные результаты представлены в таблице 3.17.

Таблица 3.17 – Содержание основных элементов питания и органического вещества в почве при разных режимах увлажнения (2025 г.)

Режим орошения	Ед. рН _(KCL)	N-NH ₄ , мг/кг	N-NO ₃ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	Гумус, %
сорт Волочаевка						
60-80% НВ	6,15 ± 0,20	48,8 ± 3,7	4,6 ± 0,9	401,0±48,1	493,7±49,4	4,5± 0,7
70-90% НВ	6,18 ± 0,20	53,4 ± 4,0	3,2 ± 0,6	200,0± 24,0	273,5± 27,4	4,3± 0,6
80-100% НВ	6,22 ± 0,20	55,2 ± 4,1	4,0 ± 0,8	299,0±35,9	367,5± 36,8	1,4± 0,3
Контроль (без орошения)	5,91 ± 0,20	44,3 ± 3,3	8,6 ± 0,6	380,0±45,6	545,6± 54,7	0,7± 0,1
НСР	0,16	0,58	0,24	6,59	5,66	0,19
сорт Молодежная						
60-80% НВ	6,20 ± 0,20	54,4 ± 4,1	5,4 ± 0,4	418,0±50,2	508,6± 50,9	5,1± 0,5

Режим орошения	Ед. pH _(KCL)	N-NH ₄ , мг/кг	N-NO ₃ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	Гумус, %
70-90% НВ	6,36 ± 0,20	43,5 ± 3,2	5,0 ± 1,0	395,0±47,4	557,7± 55,8	6,3± 0,6
80-100% НВ	6,87 ± 0,20	58,2 ± 4,4	3,9 ± 0,8	116,0± 13,9	133,8± 13,4	2,0± 0,4
Контроль (без орошения)	5,98 ± 0,20	31,8 ± 2,4	5,9 ± 0,4	407,0± 48,8	597,4± 59,7	1,2± 0,2
НСР	0,18	0,64	0,23	5,07	5,98	0,25

Анализ результатов, полученных в 2025 году, показал уменьшение ширины доверительных интервалов по сравнению с предыдущим годом, что свидетельствует о постепенной стабилизации агрохимических свойств почвы и выравнивании её состояния под воздействием длительного применения капельного орошения. При этом значения НСР оставались на уровне, позволяющем достоверно оценивать различия между исследуемыми режимами увлажнения. Для аммонийного азота величина НСР составила 0,51–0,64, для нитратного азота — 0,23–0,30, а для содержания P₂O₅ и K₂O — около 6–7 мг/кг. Полученные значения подтверждают статистическую значимость различий между вариантами с влажностью почвы 60–80 % и 70–90 % НВ по сравнению с контролем и режимом 80–100 % НВ.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что поддержание влажности почвы в оптимальных пределах способствует сохранению её плодородия. Напротив, чрезмерное увлажнение сопровождается статистически достоверным снижением содержания гумуса, а также усилением процессов вымывания калия и фосфора.

В условиях 2025 года применение капельного орошения способствовало стабилизации реакции почвенной среды и изменению соотношения минеральных форм азота в сторону увеличения доли аммонийного азота. Наиболее благоприятные показатели сохранности органического вещества и обеспеченности элементами питания были получены при поддержании влажности почвы на уровне 60–80 % НВ. Для сорта Молодёжная близкие результаты по содержанию органического вещества отмечались также при режиме 70–90 % НВ, однако дальнейшее увеличение влажности до 80–100 % НВ сопровождалось

тенденцией к снижению содержания калия. Вариант с поддержанием влажности 80–100 % НВ характеризовался усилением вымывания подвижных соединений фосфора и калия, а также уменьшением содержания органического вещества. В свою очередь, на контрольном варианте без орошения наблюдалось накопление нитратной формы азота (NO_3^-) при одновременном снижении содержания органического вещества в почве.

Выводы по главе

1. Анализ исходного состояния почвы показал, что до закладки сада она характеризовалась хорошо выраженной элювиально-иллювиальной дифференциацией профиля и благоприятными агрофизическими и агрохимическими свойствами. Пахотный слой отличался высоким содержанием органического вещества, слабокислой реакцией почвенной среды, хорошей обеспеченностью подвижными формами фосфора и калия, а содержание тяжёлых металлов не превышало допустимых значений, что свидетельствовало об отсутствии признаков техногенного загрязнения.

2. В ходе выращивания молодых насаждений вишни с использованием капельного орошения в почве были отмечены закономерные изменения отдельных агрохимических показателей. За период исследований наблюдалось умеренное уменьшение содержания гумуса, некоторое повышение кислотности и перераспределение элементов минерального питания по почвенному профилю. Вместе с тем выявленные изменения не оказали существенного отрицательного влияния на общее состояние почвы: её агрохимические свойства сохранились на удовлетворительном уровне, а признаков экологического неблагополучия установлено не было.

3. Для сохранения и повышения плодородия почвы при дальнейшей эксплуатации сада рекомендуется поддерживать оптимальную кислотность почвенного раствора, регулярно пополнять содержание органического вещества, вносить фосфорные и калийные удобрения через систему капельного орошения и предотвращать уплотнение пахотного слоя. Реализация данных мероприятий

позволит сохранить высокую агрофизическую и агрохимическую продуктивность почвы в условиях выращивания вишнёвого сада.

4. По результатам исследований, выполненных в 2023–2025 гг., установлено, что режим капельного орошения оказывает влияние на агрохимическое состояние почвы под молодыми насаждениями вишни сортов Волочаевка и Молодёжная. Наиболее благоприятные изменения комплекса агрохимических показателей наблюдались при поддержании влажности почвы в пределах 60–80 % НВ для сорта Волочаевка и 70–90 % НВ для сорта Молодёжная. Преимущество указанных режимов подтверждено статистически достоверными различиями по основным показателям плодородия почвы.

ГЛАВА IV. ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ И РЕЖИМЫ ОРОШЕНИЯ МОЛОДОГО ВИШНЕВОГО САДА ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ

4.1. Режимы орошения

Для обеспечения заданных схемой опыта предполивных уровней влажности почвы были разработаны соответствующие режимы капельного орошения. Для каждого из них определяли величину поливной и оросительной норм, количество поливов в течение вегетационного периода и продолжительность интервалов между ними. Основные параметры разработанных режимов представлены в таблице 4.1.

Анализ полученных данных показал, что потребность насаждений в дополнительном водообеспечении заметно изменялась в зависимости от метеорологических условий конкретного года и установленного диапазона предполивной влажности почвы. Максимальный объём оросительной воды потребовался в 2023 году. В 2025 году более благоприятное распределение атмосферных осадков позволило сократить оросительные нормы по всем исследуемым вариантам до минимальных за период наблюдений значений.

Таблица 4.1 – Сравнительная характеристика режимов орошения молодого сада вишни

Показатель	Режим орошения								
	60-80% НВ			70-90% НВ			80-100% НВ		
	Год исследования								
	2023	2024	2025	2023	2024	2025	2023	2024	2025
Оросительная норма, м ³ /га	690,1	559,6	440,7	896,9	732,9	524,6	1185,6	1127,1	778,6
Средняя поливная норма, м ³ /га	49,3	37,3	36,7	47,2	38,6	34,9	43,8	40,3	41,0
Число поливов	14	15	12	19	19	15	27	28	19
Межполивной период, дни	9	8	10	6	6	7	5	5	5

Наименьшие затраты оросительной воды были установлены при поддержании влажности почвы в диапазоне 60–80 % НВ. В 2023, 2024 и 2025 гг. оросительные нормы составили соответственно 690,10; 559,60 и 440,70 м³/га. За вегетационный период проводили от 12 до 15 поливов, при этом

продолжительность межполивного периода составляла 8–10 дней. Полученные результаты показывают, что данный режим характеризуется относительно невысокой потребностью в оросительной воде и позволяет поддерживать заданный диапазон влажности при сравнительно продолжительных интервалах между поливами.

Повышение нижней и верхней границ регулируемого диапазона до 70–90 % НВ сопровождалось увеличением объема подаваемой воды. Оросительная норма по годам исследований составляла 896,9; 732,90 и 524,60 м³/га соответственно. Для поддержания заданной влажности требовалось проведение 15–19 поливов за сезон, а интервалы между ними сокращались до 6–7 дней. Таким образом, поддержание более высокого уровня влагообеспеченности требовало увеличения частоты подачи воды.

Наиболее интенсивный режим орошения соответствовал диапазону 80–100 % НВ. В 2023–2024 гг. величина оросительной нормы находилась в пределах 1185,6–1127,1 м³/га, а в 2025 г. уменьшилась до 778,6 м³/га. Число поливов при таком режиме достигало 19–28 за вегетационный период при сокращении межполивного интервала до 5 дней. Следовательно, увеличение поддерживаемого уровня влажности почвы закономерно сопровождалось ростом оросительной нормы и частоты поливов, тогда как величина сезонного водопотребления существенно зависела от обеспеченности вегетационного периода атмосферными осадками.

Периодичность проведения поливов определялась метеорологическими условиями вегетационного периода (рисунок 4.1 и 4.2). В годы с повышенной обеспеченностью атмосферными осадками потребность в дополнительном увлажнении снижалась, вследствие чего количество поливов сокращалось, а интервалы между ними увеличивались. При недостаточном естественном увлажнении наблюдалась обратная закономерность: для поддержания заданного уровня влажности почвы требовалось более частое проведение поливов при одновременном уменьшении продолжительности межполивного периода.

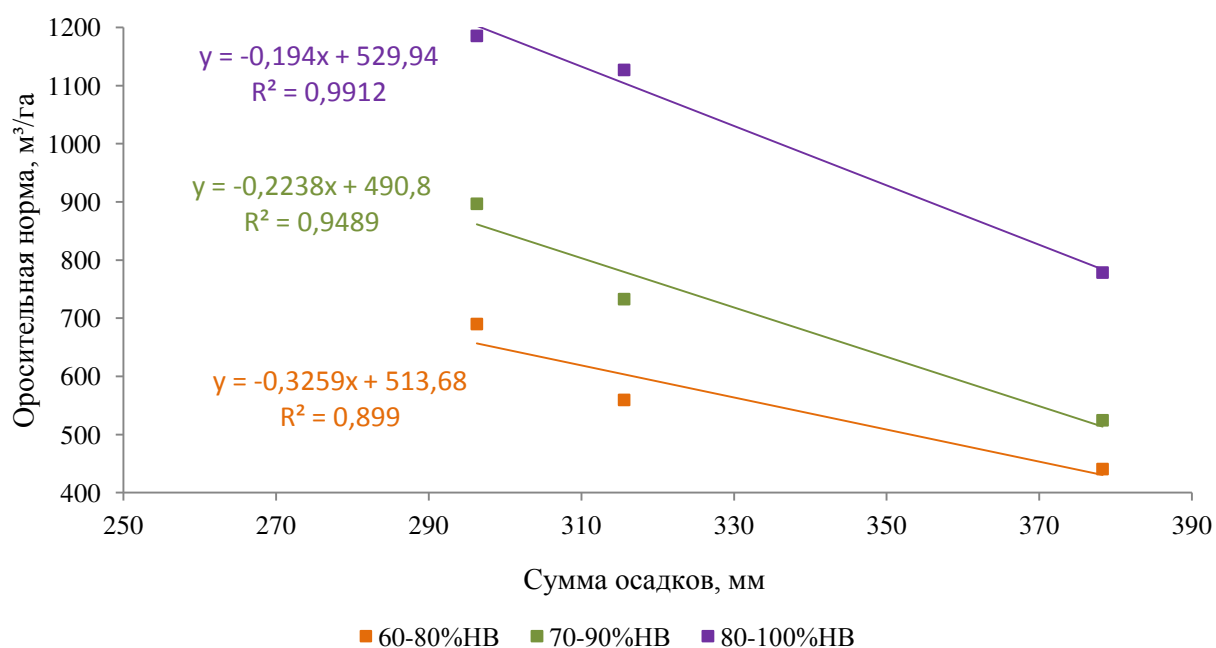


Рисунок 4.1 – Зависимость оросительной нормы от количества осадков за вегетационный период по вариантам опыта

Использование капельного способа орошения обеспечило возможность регулирования водного режима непосредственно в корнеобитаемом слое почвы и поддержания его влажности в пределах, установленных схемой опыта. В зависимости от величины предполивного порога и метеорологических условий конкретного вегетационного периода интервалы между поливами составляли 5–10 дней.

Разработанные режимы капельного орошения во взаимосвязи с изменением основных метеорологических показателей и динамикой влажности почвы по вариантам опыта представлены на рисунках 4.3–4.14. На них отражены среднесуточная температура и относительная влажность воздуха, суточное количество атмосферных осадков, а также изменение влажности почвы на протяжении вегетационного периода.

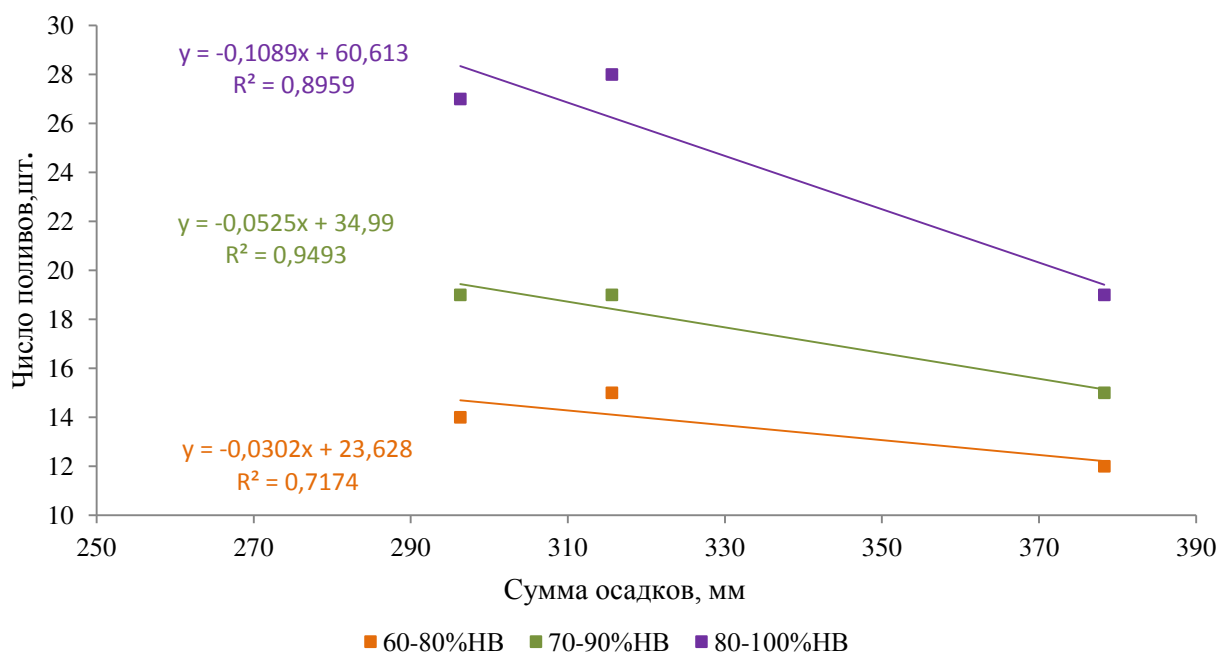


Рисунок 4.2 – Зависимость числа поливов от количества осадков за вегетационный период по вариантам опыта

Вегетационный сезон в 2023 году характеризовался неравномерным распределением осадков. Среднесуточная температура воздуха в мае составляла 3,1–19,1 °С, в июне — 9,5–21,7 °С, максимальные значения в июле–начале августа достигали 24–26 °С, в сентябре температура понижалась до 12–16 °С. Осадки выпадали преимущественно ливневым образом, с наибольшей интенсивностью во второй половине июля (суточные суммы до 20–30 мм), тогда как сентябрь отличался минимальным количеством осадков и преобладанием сухих дней. Относительная влажность воздуха в течение периода была в основном повышенной и составляла 70–90 %, с кратковременными снижениями до 50–60 % в наиболее тёплые и сухие периоды. Засушливый характер в конце вегетации мог ограничивать позднесезонные ростовые процессы вишни, особенно в вариантах без орошения. Динамика среднесуточной температуры, среднесуточной относительной влажности воздуха, количества выпавших за сутки осадков и влажности почвы по вариантам опыта за вегетационный период с 2023 по 2025 год показана на рисунках 4.3–4.14.

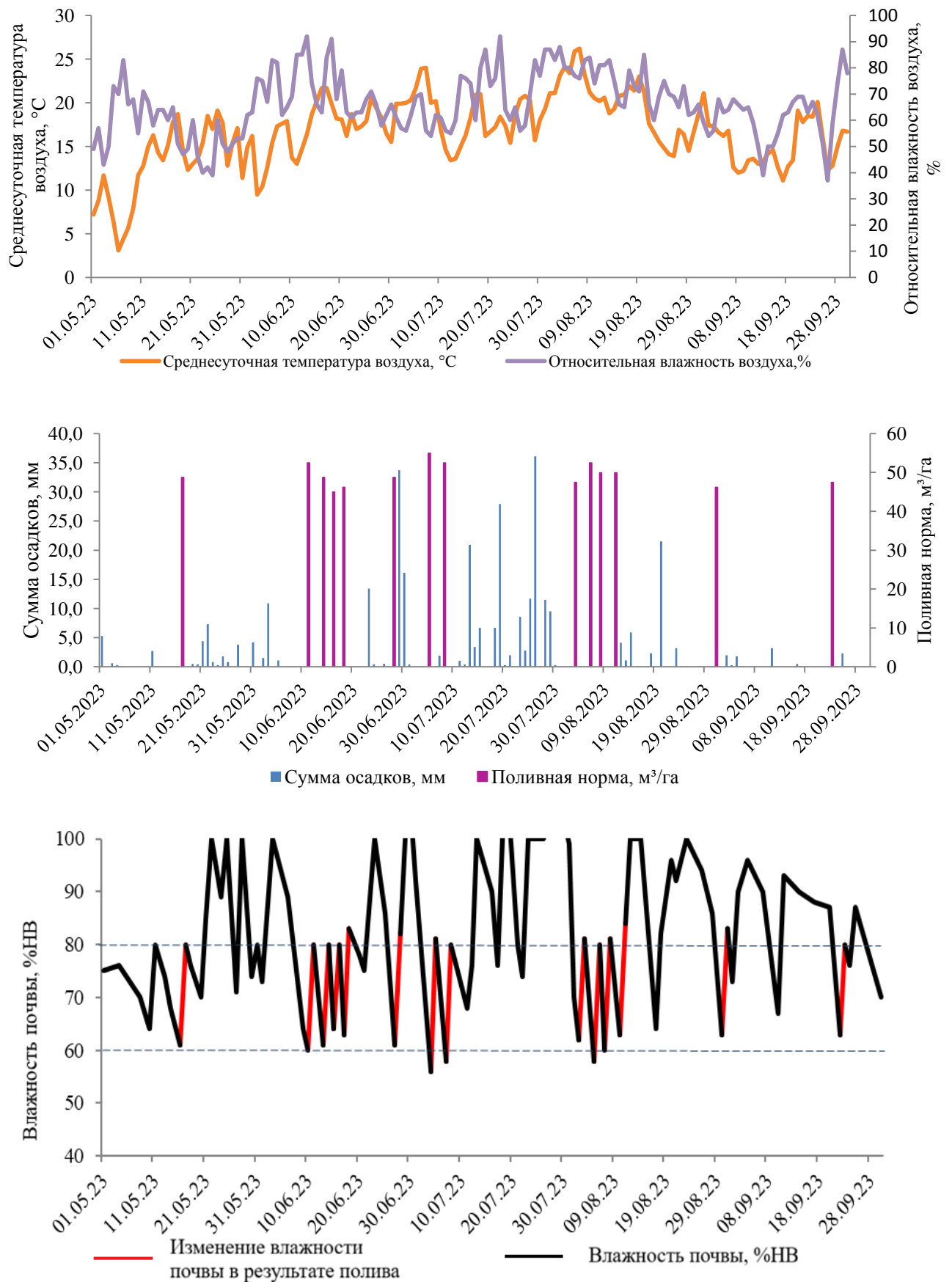


Рисунок 4.3 – Динамика влажности почвы режим орошения молодого вишневого сада в варианте опыта 60-80 % НВ, 2023 год

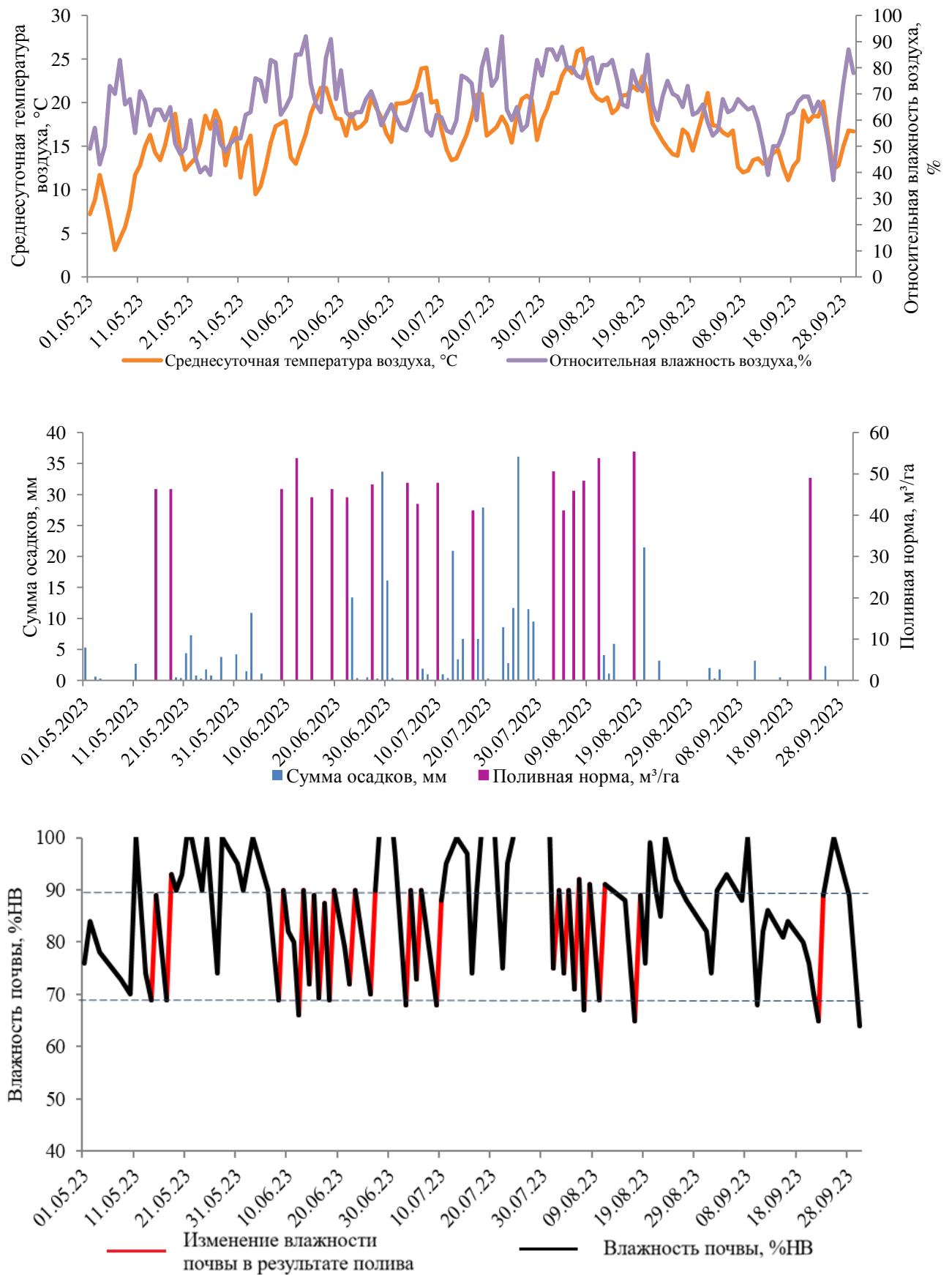


Рисунок 4.4 – Динамика влажности почвы режим орошения молодого вишневого сада в варианте опыта 70–90 % НВ, 2023 год

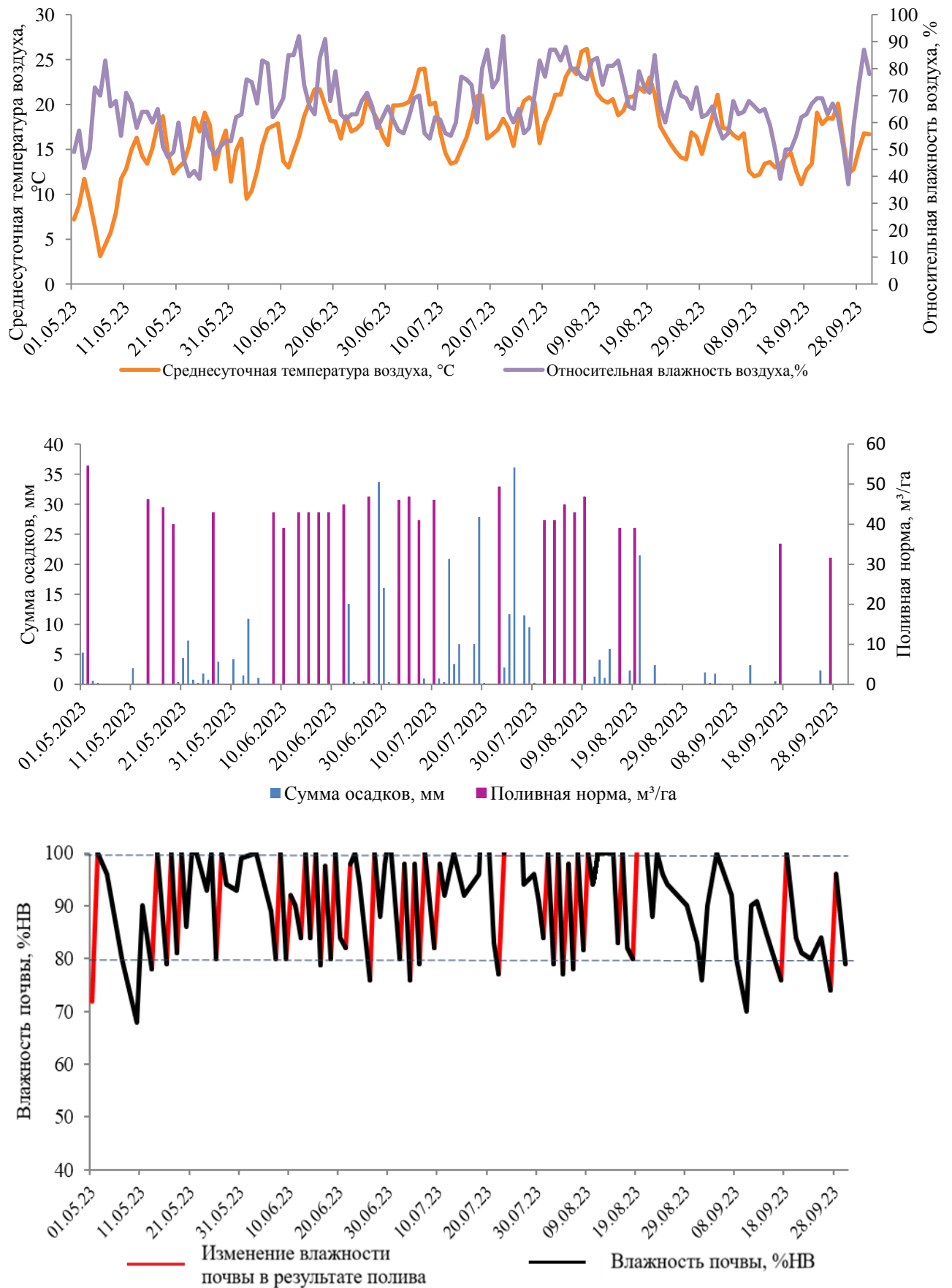


Рисунок 4.5 – Динамика влажности почвы режим орошения молодого вишневого сада в варианте опыта 80–100 % НВ, 2023 год

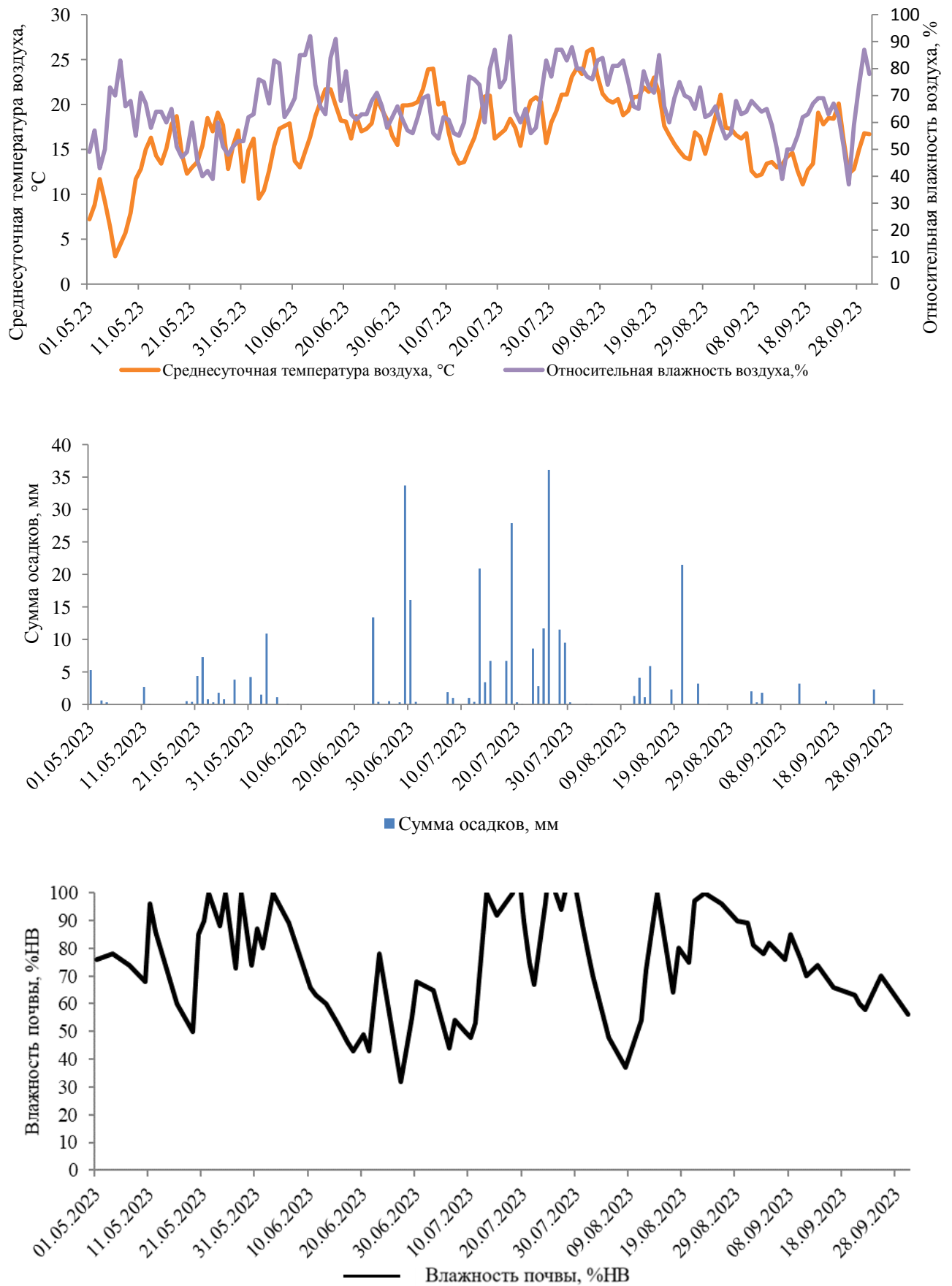


Рисунок 4.6 – Динамика влажности почвы режим орошения молодого вишневого сада в варианте опыта контроль (без орошения), 2023 год

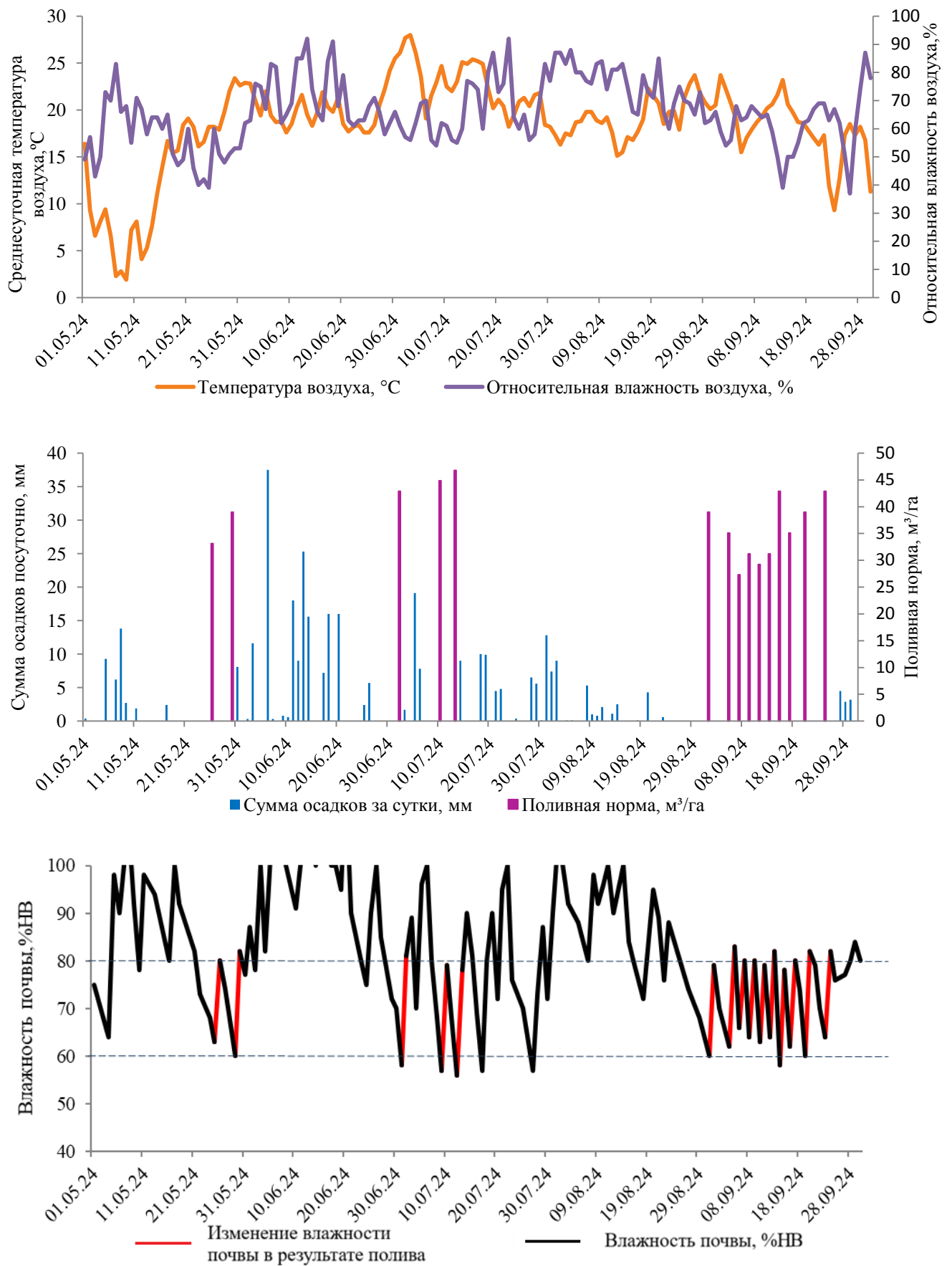


Рисунок 4.7 – Динамика влажности почвы режим орошения молодого вишневого сада в варианте опыта 60-80 % НВ, 2024 год

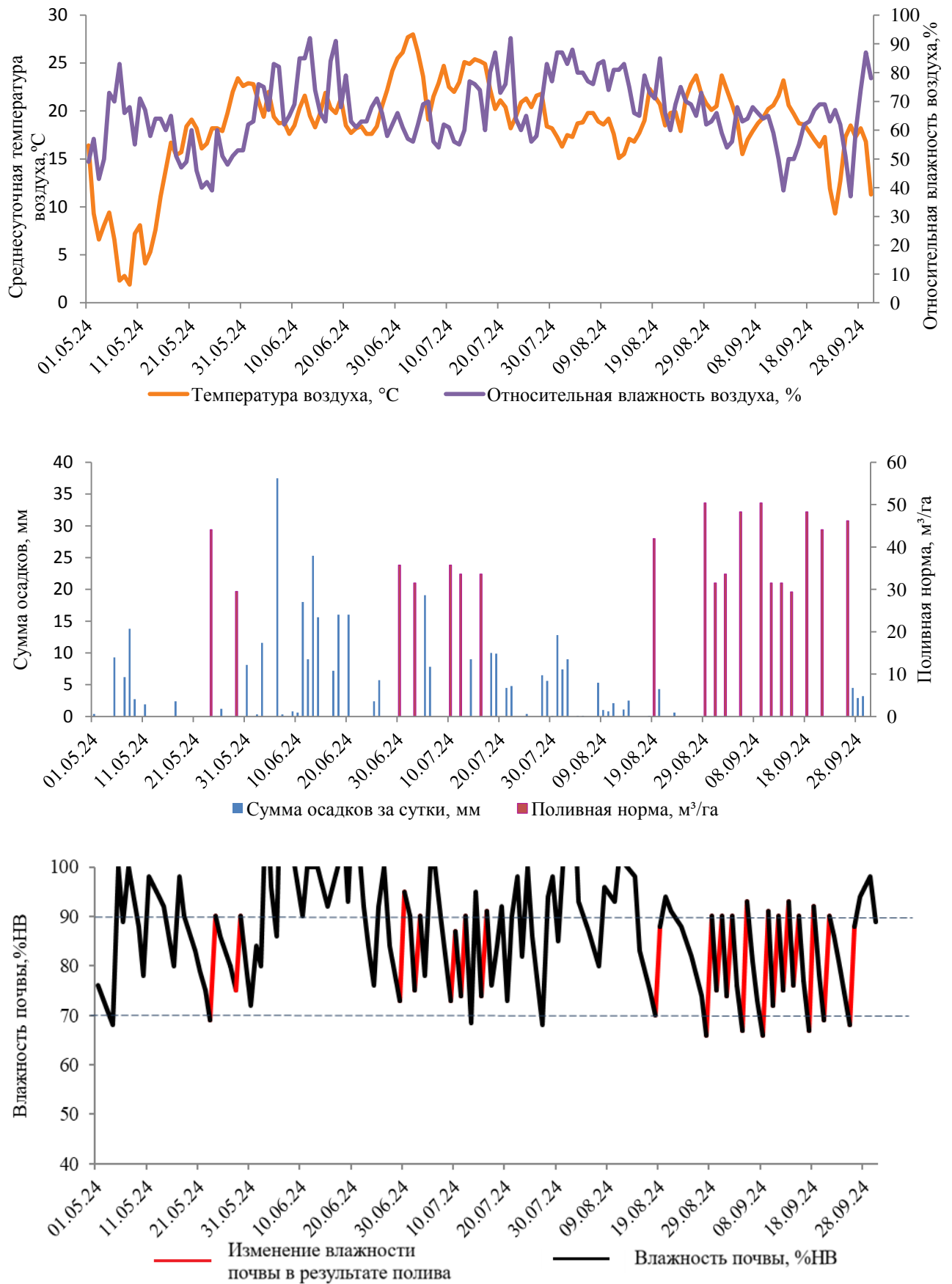


Рисунок 4.8 – Динамика влажности почвы режим орошения молодого вишневого сада в варианте опыта 70–90 % НВ, 2024 год

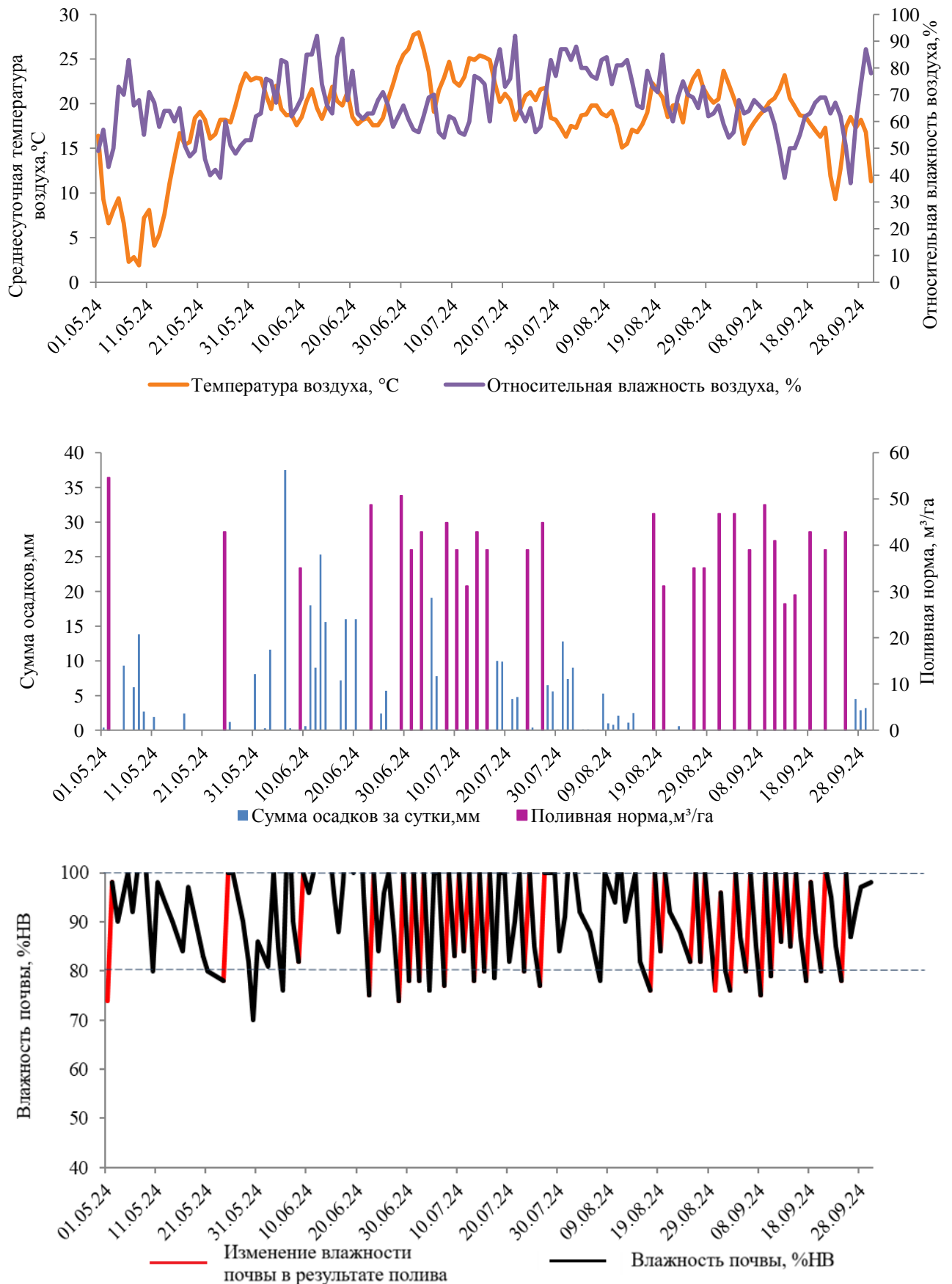


Рисунок 4.9 – Динамика влажности почвы режим орошения молодого вишневого сада в варианте опыта 80–100 % НВ, 2024 год

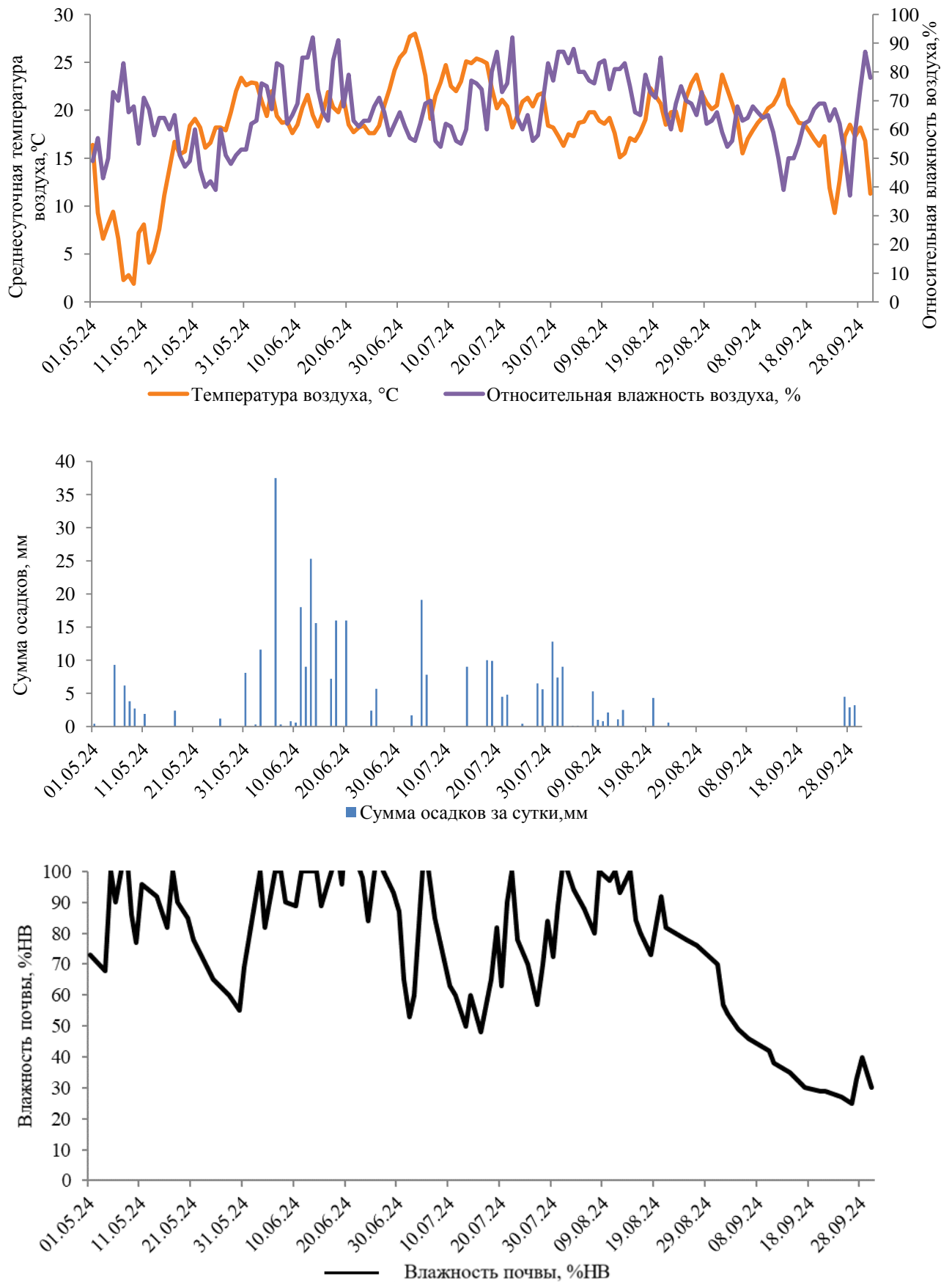


Рисунок 4.10 – Динамика влажности почвы режим орошения молодого вишневого сада в варианте опыта контроль (без орошения), 2024 год

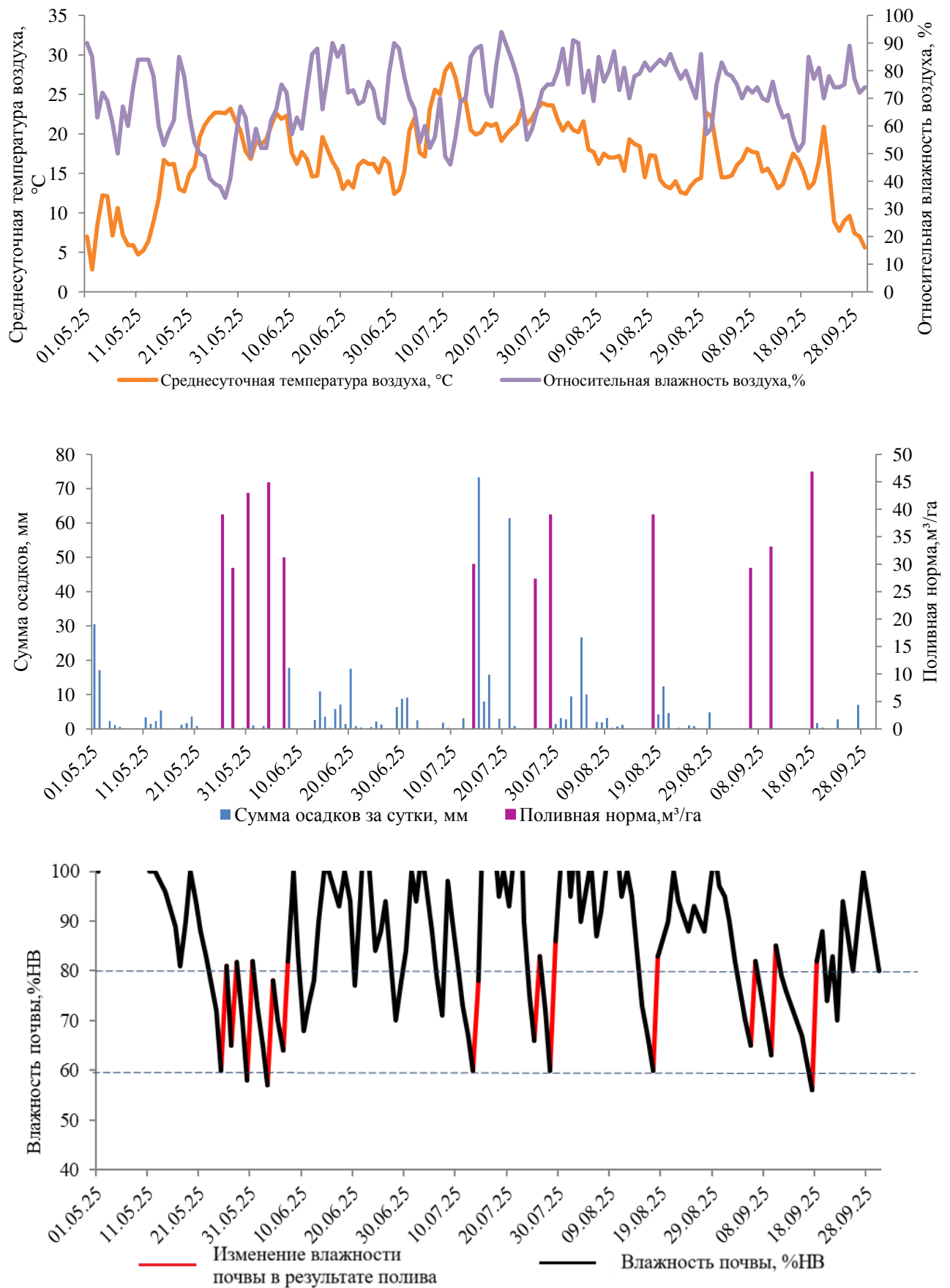


Рисунок 4.11 – Динамика влажности почвы режим орошения молодого вишневого сада в варианте опыта 60-80 % НВ, 2025 год

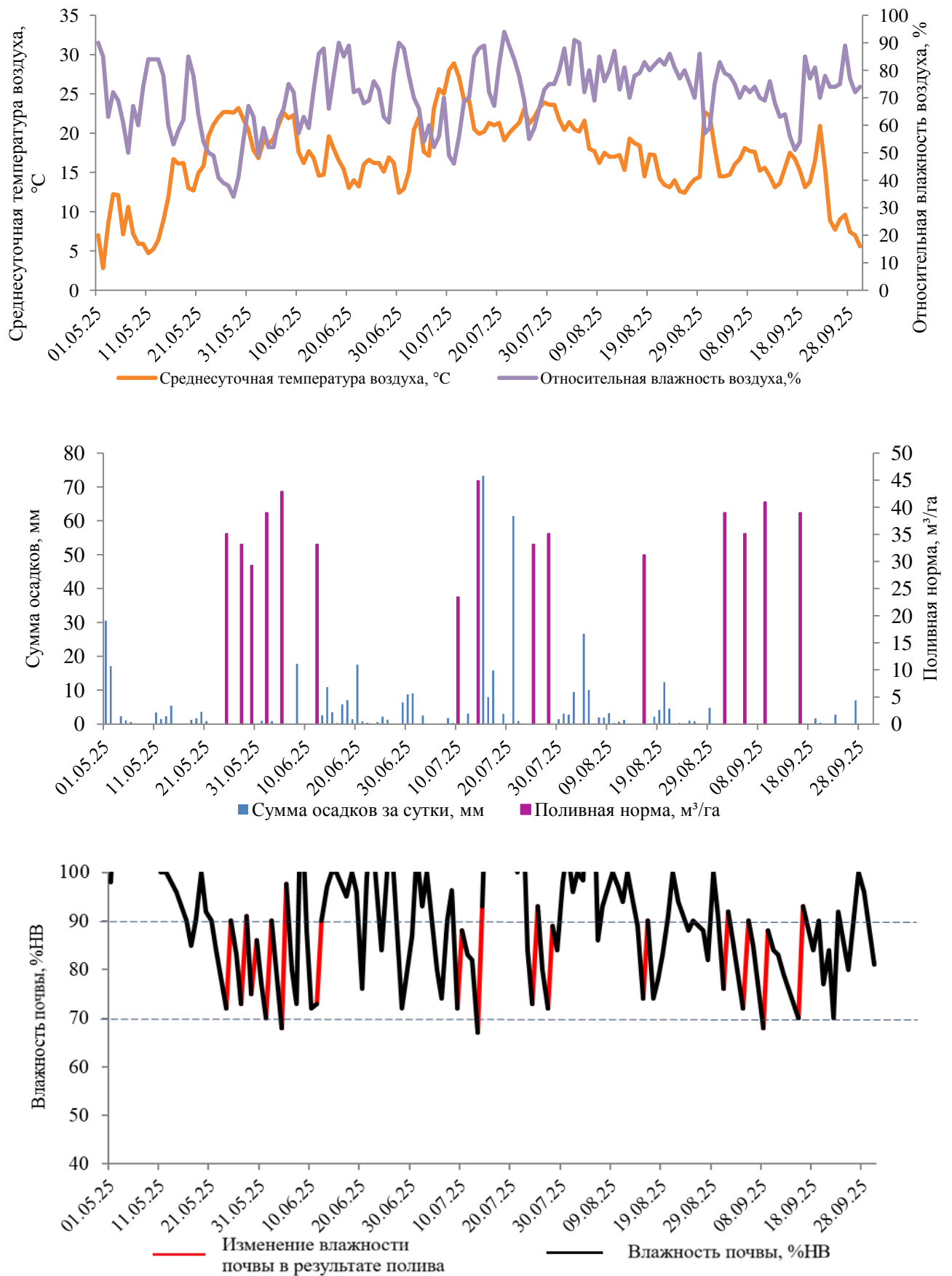


Рисунок 4.12 – Динамика влажности почвы режим орошения молодого вишневого сада в варианте опыта 70–90 % НВ, 2025 год

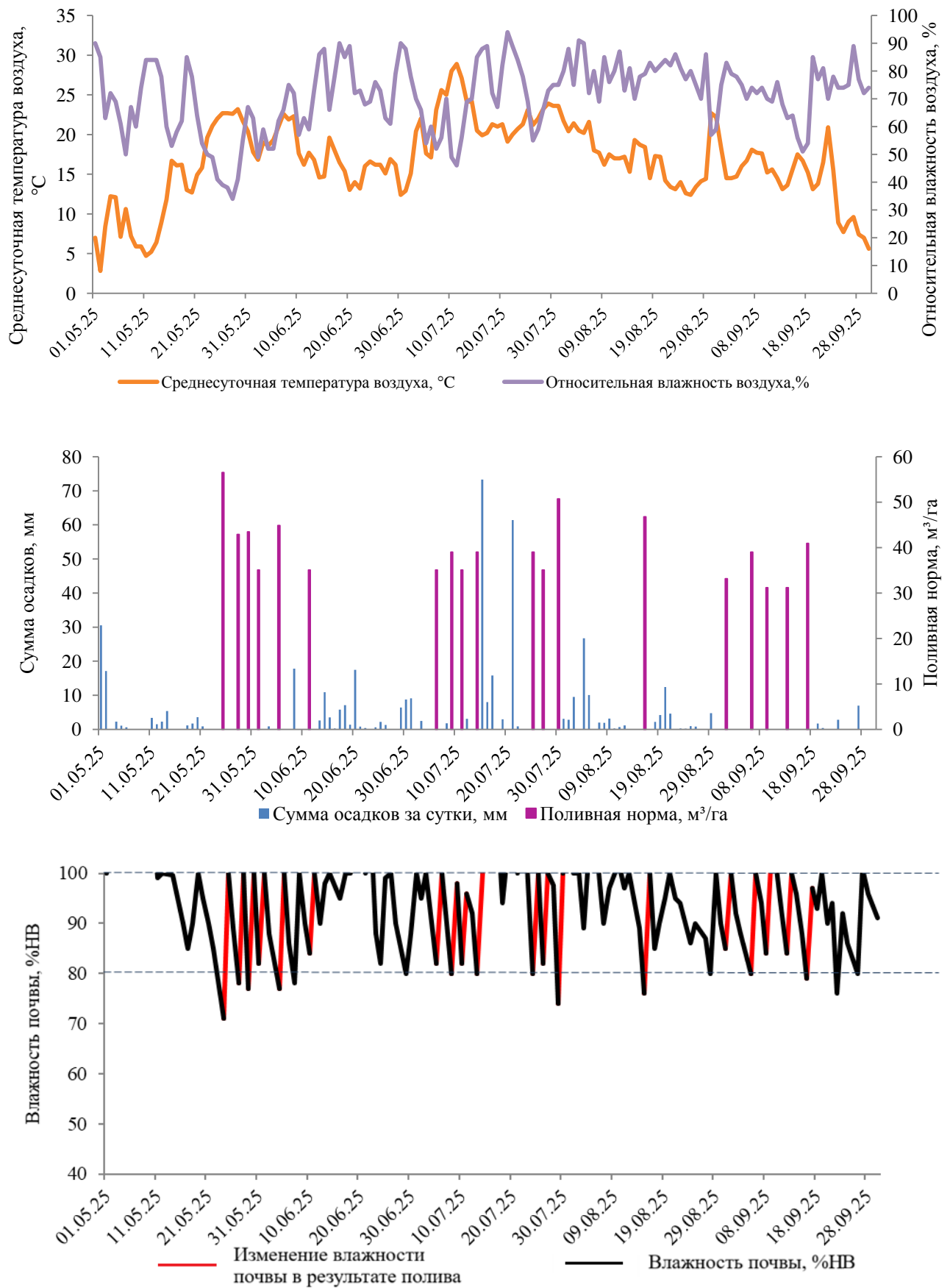


Рисунок 4.13 – Динамика влажности почвы, режим орошения молодого вишневого сада в варианте опыта 80-100%НВ, 2025 год

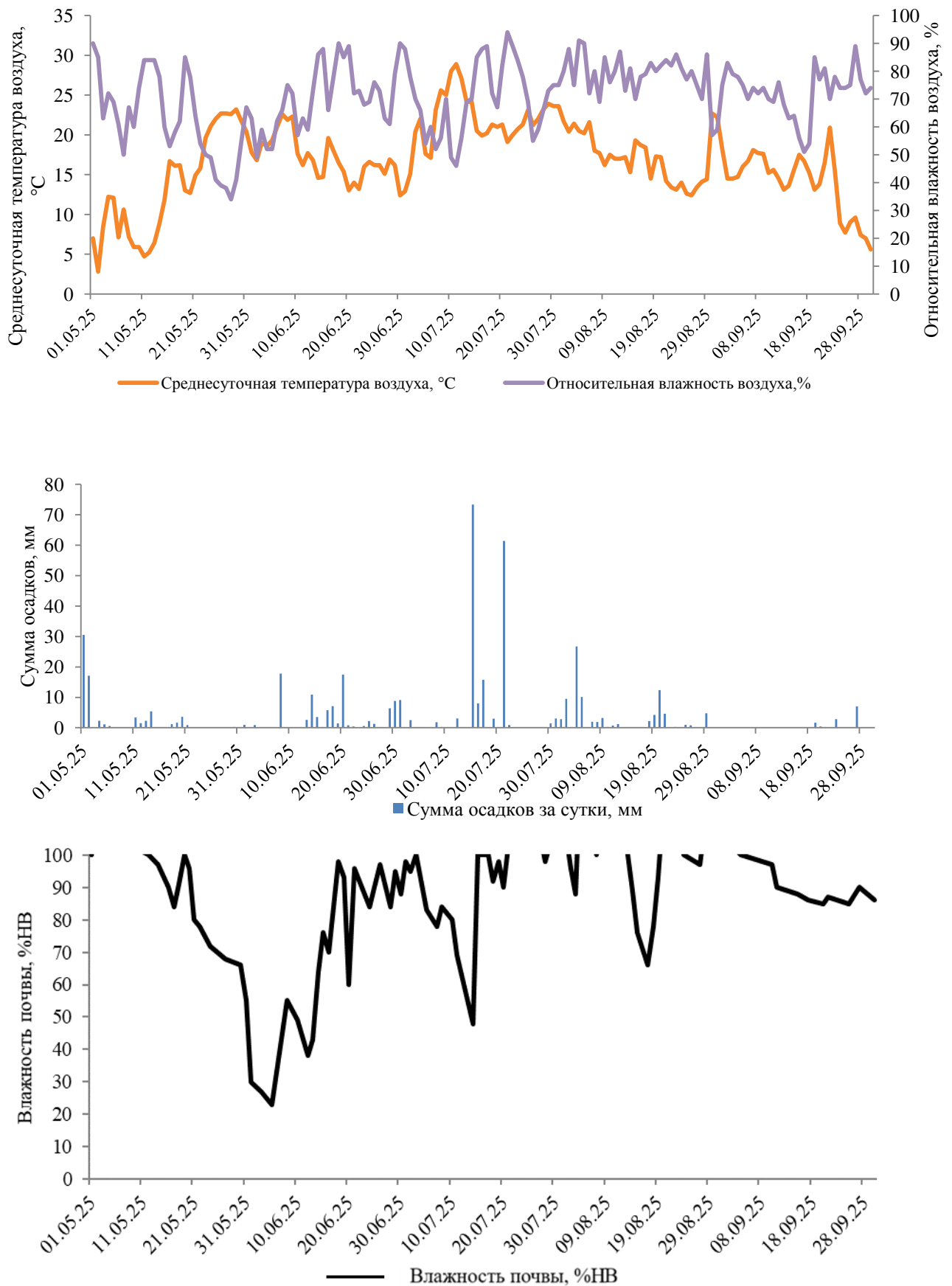


Рисунок 4.14 – Динамика влажности почвы режим орошения молодого вишневого сада в варианте опыта контроль (без орошения), 2025 год

В 2023 году при относительно тёплом вегетационном периоде и выраженной неравномерности осадков, в том числе дефиците влаги в конце лета, для поддержания влажности почвы в пределах 80–100% НВ потребовалось проведение 27 поливов с суммарной оросительной нормой 1185,6 м³/га, что существенно превышало показатели режимов 70–90% НВ (19 поливов, 896,9 м³/га) и 60–80% НВ (14 поливов, 690,1 м³/га). Повышенная частота поливов объясняется необходимостью компенсации высокой испаряемости при повышенных температурах и предотвращения пересыхания корнеобитаемого слоя.

В 2024 году, характеризовавшемся более равномерным распределением осадков и повышенной относительной влажностью воздуха, суммарные оросительные нормы и средние поливные нормы во всех вариантах снизились. Так, при режиме 70–90% НВ оросительная норма уменьшилась до 732,9 м³/га, а средняя поливная норма — до 38,6 м³/га, при сохранении числа поливов (19). На варианте орошения 60-80% НВ количество поливов увеличилось до 15, поливная норма до 37,3 м³/га.

В 2025 году при сохранении умеренно тёплого температурного режима, но наличии периодов снижения влажности почвы в отдельные фазы вегетации, число поливов снизилось. При режиме 70–90% НВ (15 поливов), 80–100% НВ (19 поливов), 60-80%НВ (12 поливов). Оросительные нормы при этом были ниже, чем в 2023 г., что свидетельствует о более рациональном распределении осадков.

В условиях Центрального Нечерноземья режим капельного орошения оказывал определяющее влияние на формирование водного режима почвы и, как следствие, на рост и развитие молодых деревьев вишни сортов Волочаевка и Молодёжная. Анализ метеорологических условий вегетационных периодов 2023–2025 гг. показал, что неравномерное распределение осадков и колебания температуры воздуха обуславливали значительные различия в динамике влажности почвы, особенно в засушливые периоды лета. В годы с дефицитом атмосферных осадков и повышенными температурами воздуха наблюдалось учащение поливов и увеличение оросительных норм, тогда как в более влажные

годы потребность в поливах снижалась, что отражалось на стабильности поддержания заданных уровней предполивной влажности.

Поддержание влажности почвы в диапазоне 70–90 % НВ обеспечивало наиболее благоприятные условия для роста растений, что проявлялось в максимальных значениях высоты ствола, площади листовой поверхности и диаметра штамба у обоих сортов. Режим 80–100 % НВ также способствовал улучшению биометрических показателей по сравнению с контролем, однако в ряде случаев уступал оптимальному режиму 70–90 % НВ. При режиме 60–80 % НВ положительный эффект капельного орошения сохранялся, но выраженность реакции растений была менее значительной. Контрольный вариант без орошения во все годы исследований характеризовался минимальными значениями изучаемых показателей, что подтверждает ограничивающее влияние недостатка влаги на ростовые процессы.

4.2. Запасы влаги в почве

Обеспеченность растений доступной влагой является одним из основных условий нормального роста и развития сельскохозяйственных культур. Влага считается недоступной для растений в том случае, если она удерживается почвенными частицами с силой, превышающей поглощающую способность корневой системы. Чем ниже осмотическое давление почвенного раствора, тем легче растения усваивают содержащуюся в почве воду. (Кауричев, 1975; 1989).

В таблицах 4.2–4.4 приводятся значения влажности почвы и запасов влаги на начало и конец декады каждого месяца вегетационных периодов 2023–2025 года.

В 2023 г. наибольшие запасы влаги наблюдались в наиболее увлажнённом варианте 80–100 % НВ, где в течение вегетационного периода показатели в среднем составляли 1800–2000 м³/га. Несколько ниже запасы влаги отмечались в варианте 70–90 % НВ, а минимальные — в варианте 60–80 % НВ и на контроле без орошения. Наименьшие запасы влаги были зафиксированы на контроле в июне–июле, когда влажность снижалась до 864–1065 м³/га, что соответствовало

43–53 % НВ. В вариантах с капельным орошением влажность почвы поддерживалась на более стабильном уровне, особенно в варианте 80–100 % НВ, где в отдельные периоды запасы влаги превышали 2200 м³/га.

Наибольшие запасы влаги в 2024 г. отмечались в варианте 80–100 % НВ, где в течение вегетационного периода они в среднем составляли 1800–2200 м³/га. Несколько ниже показатели наблюдались в вариантах 70–90 % НВ и 60–80 % НВ. Минимальные запасы влаги фиксировались на контроле без орошения, особенно в сентябре, когда влажность снижалась до 609–756 м³/га, что соответствовало 29–36 %НВ. В вариантах с орошением влажность почвы сохранялась на более стабильном уровне, что обеспечивало лучшие условия влагообеспеченности растений.

В 2025 г. наиболее высокие запасы влаги также были характерны для варианта 80–100 % НВ, где в отдельные периоды показатели достигали 2400 м³/га и более. Варианты 70–90 % НВ и 60–80 % НВ характеризовались несколько меньшими, но достаточно стабильными запасами влаги в течение всего вегетационного периода. На контроле без орошения в первой половине вегетации наблюдалось заметное снижение влажности почвы, особенно в июне, когда запасы влаги уменьшались до 1029–1155 м³/га (49–55 % НВ). В целом применение капельного орошения способствовало поддержанию оптимального уровня влажности почвы и предотвращало резкое иссушение корнеобитаемого слоя.

Таблица 4.2 – Влажность почвы и запасы влаги за каждую декаду вегетационного периода 2023 г. по вариантам опыта

Месяц	Декада	Единицы измерения	60–80% НВ		70–90% НВ		80–100% НВ		Контроль (без орошения)	
			начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады
Май	1	м ³ /га	1508	1286	1487	1307	1447	1367	1528	1367
		% НВ	75	64	74	65	72	68	76	68
	2	м ³ /га	1608	1407	2010	1869	1809	1709	1930	1709
		% НВ	80	70	100	93	90	85	96	85
	3	м ³ /га	1709	1608	2010	1910	2010	1869	1809	1749
		% НВ	85	80	100	95	100	93	90	87
Июнь	1	м ³ /га	1467	1206	1809	1648	1970	1849	1608	1407
		% НВ	73	60	90	82	98	92	80	70
	2	м ³ /га	1608	1568	1608	1588	1809	1648	1266	985
		% НВ	80	78	80	79	90	82	63	49
	3	м ³ /га	1508	1849	1588	1930	1608	2090	864	1367
		% НВ	75	92	79	96	80	104	43	68
Июль	1	м ³ /га	1849	1568	1910	1688	2090	1970	1367	1005
		% НВ	92	78	95	84	104	98	68	50
	2	м ³ /га	1367	1648	1910	2211	1849	2010	1065	1508
		% НВ	68	82	95	110	92	100	53	75
	3	м ³ /га	1608	1990	1809	2191	1668	2010	1347	1769
		% НВ	80	99	90	109	83	100	67	88
Август	1	м ³ /га	1407	1307	1508	1387	2010	1889	1407	1085
		% НВ	70	65	75	69	100	94	70	54
	2	м ³ /га	1688	1930	1829	1990	2010	2251	1447	1508
		% НВ	84	96	91	99	100	112	72	75
	3	м ³ /га	1849	1688	1809	1648	1970	1668	1950	1789
		% НВ	92	84	90	82	98	83	97	89
Итого	1	м ³ /га	1467	1347	1487	1367	1528	1407	1628	1528

Месяц	Декада	Единицы измерения	60–80% НВ		70–90% НВ		80–100% НВ		Контроль (без орошения)	
			начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады
		% НВ	73	67	74	68	76	70	81	76
	2	м ³ /га	1869	1789	1648	1528	1809	1688	1407	1266
		% НВ	93	89	82	76	90	84	70	63
	3	м ³ /га	1528	1407	1407	1286	1628	1588	1206	1126
		% НВ	76	70	70	64	81	79	60	56

Таблица 4.3 – Влажность почвы и запасы влаги за каждую декаду вегетационного периода 2024 г. по вариантам опыта

Месяц	Декада	Единицы измерения	60–80% НВ		70–90% НВ		80–100% НВ		Контроль (без орошения)	
			начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады
Май	1	м ³ /га	1575	1638	1596	1638	1554	1680	1533	1617
		% НВ	75	78	76	78	74	80	73	77
	2	м ³ /га	2058	1785	2058	1743	2058	1743	2016	1785
		% НВ	98	85	98	83	98	83	96	85
	3	м ³ /га	1722	1617	1659	1512	1680	1470	1638	1449
		% НВ	82	77	79	72	80	70	78	69
Июнь	1	м ³ /га	1827	1911	1764	1890	1806	2016	1680	1869
		% НВ	87	91	84	90	86	96	80	89
	2	м ³ /га	2100	2499	2100	2478	2100	2478	2100	2604
		% НВ	100	119	100	118	100	118	100	124
	3	м ³ /га	1890	1470	2226	1995	2016	1638	2247	1890
		% НВ	90	70	106	95	96	78	107	90
Июль	1	м ³ /га	1218	1176	1890	1869	2100	2100	1365	1323
		% НВ	58	56	90	89	100	100	65	63

Месяц	Декада	Единицы измерения	60–80% НВ		70–90% НВ		80–100% НВ		Контроль (без орошения)	
			начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады
	2	м ³ /га	1659	1512	1554	1491	1764	1722	1260	1323
		% НВ	79	72	74	71	84	82	60	63
	3	м ³ /га	1995	1890	1890	1785	1890	1911	1890	1869
		% НВ	95	90	90	85	90	91	90	89
Август	1	м ³ /га	2184	2016	2100	1953	2226	1974	2184	2037
		% НВ	104	96	100	93	106	94	104	97
	2	м ³ /га	2100	1869	2100	1974	2184	2100	2100	1932
		% НВ	100	89	100	94	104	100	100	92
	3	м ³ /га	1596	1323	1911	1701	1932	1806	1722	1470
		% НВ	76	63	91	81	92	86	82	70
Сентябрь	1	м ³ /га	1659	1659	1554	1512	1680	1659	1197	1008
		% НВ	79	79	74	72	80	79	57	48
	2	м ³ /га	1659	1743	1890	1890	2100	2121	756	609
		% НВ	79	83	90	90	100	101	36	29
	3	м ³ /га	1659	1680	1806	1869	1995	2058	609	630
		% НВ	79	80	86	89	95	98	29	30

Таблица 4.4 – Влажность почвы и запасы влаги за каждую декаду вегетационного периода 2025г. по вариантам опыта

Месяц	Декада	Единицы измерения	60–80% НВ		70–90% НВ		80–100% НВ		Контроль (без орошения)	
			начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады
Май	1	м ³ /га	2100	2352	2058	2310	2100	2352	2100	2394
		% НВ	100	112	98	110	100	112	100	114
	2	м ³ /га	2100	1974	2100	1932	2079	1995	2121	2016
		% НВ	100	94	100	92	99	95	101	96

Месяц	Декада	Единицы измерения	60–80% НВ		70–90% НВ		80–100% НВ		Контроль (без орошения)	
			начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады
	3	м ³ /га	1848	1722	1890	1764	1890	1806	1680	1386
		% НВ	88	82	90	84	90	86	80	66
Июнь	1	м ³ /га	1533	1428	1617	1512	2100	1890	1155	1029
		% НВ	73	68	77	72	100	90	55	49
	2	м ³ /га	1533	1617	1533	1596	2100	2205	1029	1260
		% НВ	73	77	73	76	100	105	49	60
	3	м ³ /га	1995	1764	2079	1785	2100	1848	2016	1848
		% НВ	95	84	99	85	100	88	96	88
Июль	1	м ³ /га	2100	1701	2184	1848	2100	1722	2058	1680
		% НВ	100	81	104	88	100	82	98	80
	2	м ³ /га	1533	1953	1743	2163	2016	2415	1449	1890
		% НВ	73	93	83	103	96	115	69	90
	3	м ³ /га	2163	2415	2100	2205	2100	2415	2205	2415
		% НВ	103	115	100	105	100	115	105	115
Август	1	м ³ /га	1995	2205	2016	2037	2100	2142	2268	2562
		% НВ	95	105	96	97	100	102	108	117
	2	м ³ /га	1995	1890	1974	1911	2037	2100	2415	2457
		% НВ	95	90	94	91	97	100	113	113
	3	м ³ /га	1890	1785	1806	1764	2100	2100	2205	2037
		% НВ	100	95	100	92	95	85	116	110
Сентябрь	1	м ³ /га	1890	1785	1806	1764	2100	2100	2205	2037
		% НВ	90	85	86	84	100	100	104	96
	2	м ³ /га	1659	1554	1743	1617	1953	1890	1890	1785
		% НВ	79	74	83	77	93	90	90	84
	3	м ³ /га	1743	1680	1764	1701	1974	1911	1827	1806
		% НВ	83	80	84	81	94	91	87	86

В 2023 г. (таблица 4.5) наиболее заметные различия между орошаемыми вариантами и контролем наблюдались в июне–июле, когда в контрольном варианте запасы продуктивной влаги снижались до 314–450 м³/га. Наиболее высокие показатели отмечались в варианте 80–100 % НВ, где в отдельные периоды запасы влаги достигали 1092–1256 м³/га. В варианте 70–90%НВ значения были несколько ниже, но также сохранялись на стабильном уровне. В варианте 60-80%НВ наблюдались более выраженные колебания влагозапаса. В августе и сентябре после выпадения осадков различия между вариантами несколько сглаживались, однако орошаемые варианты продолжали характеризоваться более благоприятным водным режимом.

Таблица 4.5 – Запасы продуктивной влаги за каждую декаду вегетационного периода 2023 года по вариантам опыта

Месяц	Декада	I вариант (60–80 % НВ)		II вариант (70–90 % НВ)		III вариант (80–100 % НВ)		Контроль (безорошения)	
		начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады
Май	1	751	601	737	614	710	655	764	655
	2	819	683	1092	996	956	887	1037	887
	3	887	819	1092	1024	1092	996	956	915
Июнь	1	723	546	956	846	1065	983	819	683
	2	819	792	819	805	956	846	587	396
	3	751	983	805	1037	819	1147	314	655
Июль	1	983	792	1024	874	1147	1065	655	410
	2	655	846	1024	1229	983	1092	450	751
	3	819	1078	956	1215	860	1092	642	928
Август	1	683	614	751	669	1092	1010	683	464
	2	874	1037	969	1078	1092	1256	710	751
	3	983	874	956	846	1065	860	1051	942
Сентябрь	1	723	642	737	655	764	683	833	764
	2	996	942	846	764	956	874	683	587
	3	764	683	683	601	833	805	546	491

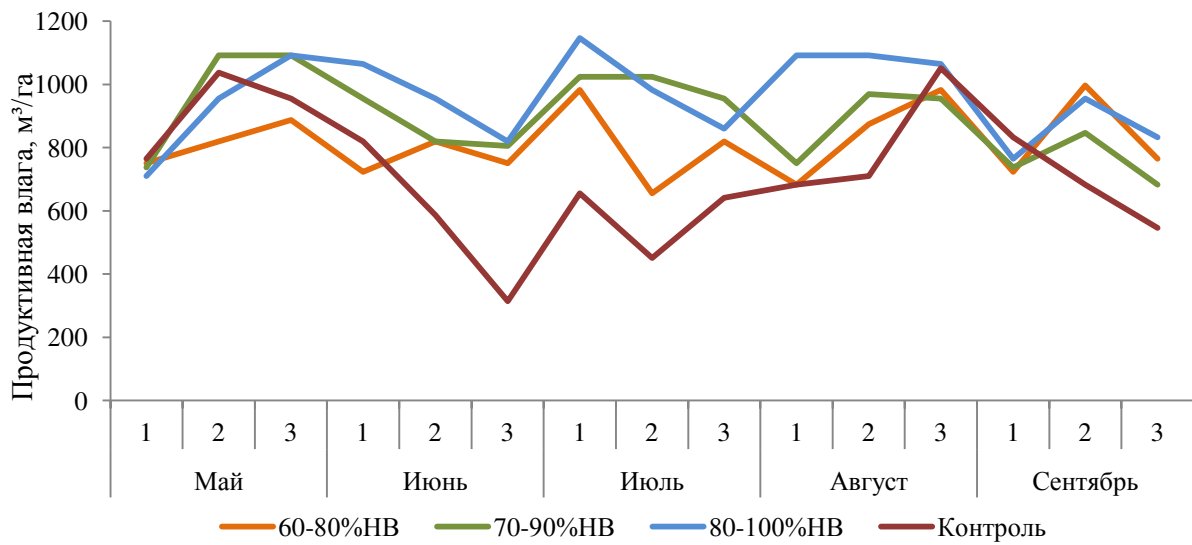


Рисунок 4.15 – Динамика запасов продуктивной влаги на начало декады (2023г.)

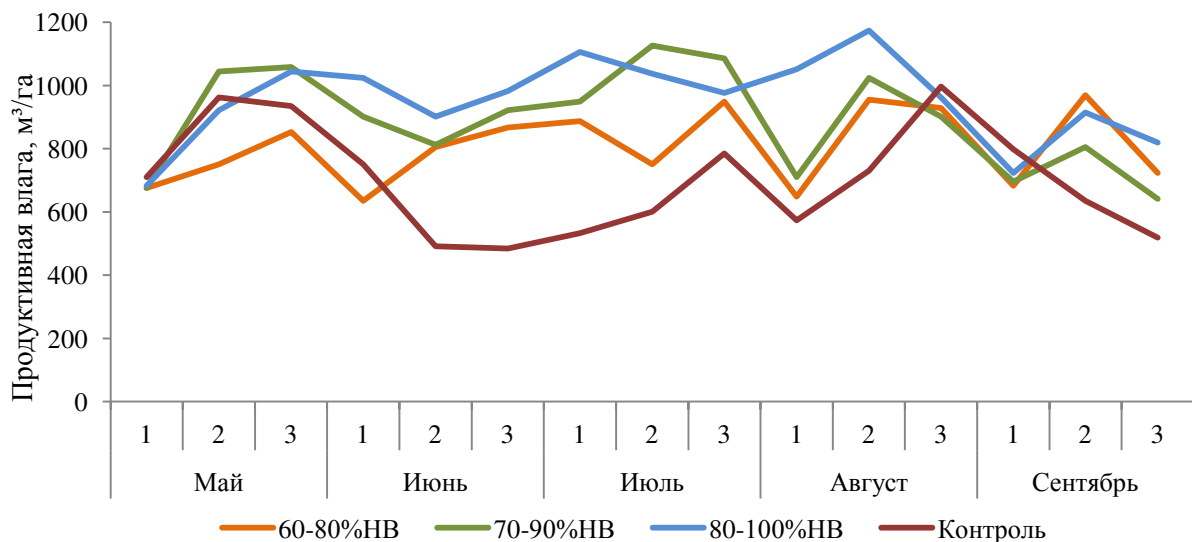


Рисунок 4.16 – Динамика средних значений запасов продуктивной влаги (2023г.)

В 2024 г. (таблица 4.6) различия между вариантами опыта были менее выражены вследствие более влажных погодных условий. Тем не менее, на контроле в сентябре отмечалось существенное снижение запасов продуктивной влаги до 123–191 м³/га. Наиболее стабильные показатели сохранялись в варианте 80–100 % НВ, где запасы продуктивной влаги в течение большей части вегетационного периода составляли 900–1174 м³/га. В варианте 70–90%НВ показатели были близки к варианту 80–100%НВ, тогда как в варианте 60–80%НВ

в июле наблюдалось временное снижение влагозапаса до 491–519 м³/га. После осадков в августе показатели влаги во всех вариантах возрастали.

В 2025 г. (таблица 4.7) наиболее высокие запасы продуктивной влаги также отмечались в варианте 80–100 % НВ, где в течение вегетационного периода показатели достигали 1092–1297 м³/га. В варианте 70–90%НВ значения были несколько ниже, но оставались стабильными. Минимальные запасы продуктивной влаги наблюдались в контрольном варианте в июне, когда показатели снижались до 396–478 м³/га. В орошаемых вариантах резкого иссушения почвы не отмечалось, а уровень влаги поддерживался в пределах, благоприятных для роста и развития растений.

Таблица 4.6 – Запасы продуктивной влаги за каждую декаду вегетационного периода 2024 года по вариантам опыта

Месяц	Декада	I вариант (60–80 % НВ)		II вариант (70–90 % НВ)		III вариант (80–100 % НВ)		Контроль (безорошения)	
		начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады
Май	1	751	792	764	792	737	819	723	778
	2	1065	887	1065	860	1065	860	1037	887
	3	846	778	805	710	819	683	792	669
Июнь	1	915	969	874	956	901	1037	819	942
	2	1092	1351	1092	1338	1092	1338	1092	1420
	3	956	683	1174	1024	1037	792	1188	956
Июль	1	519	491	956	942	1092	1092	614	587
	2	805	710	737	696	874	846	546	587
	3	1024	956	956	887	956	969	956	942
Август	1	1147	1037	1092	996	1174	1010	1147	1051
	2	1092	942	1092	1010	1147	1092	1092	983
	3	764	587	969	833	983	901	846	683
Сентябрь	1	805	805	737	710	819	805	505	382
	2	805	901	956	956	1065	1092	191	123
	3	805	819	901	942	1024	1065	123	137

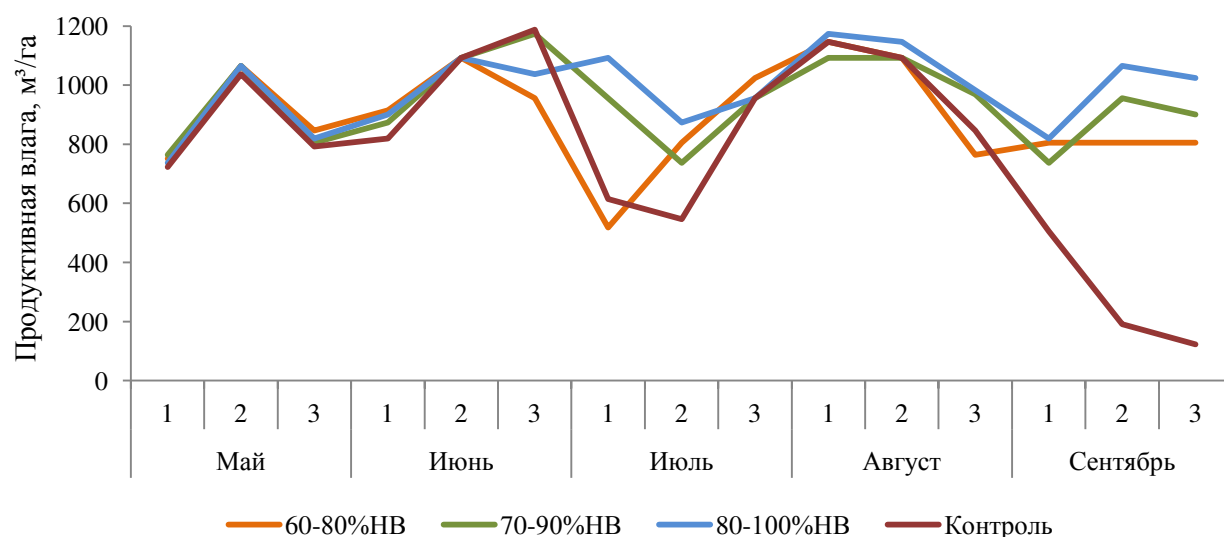


Рисунок 4.17 – Динамика запасов продуктивной влаги на начало декады (2024г.)

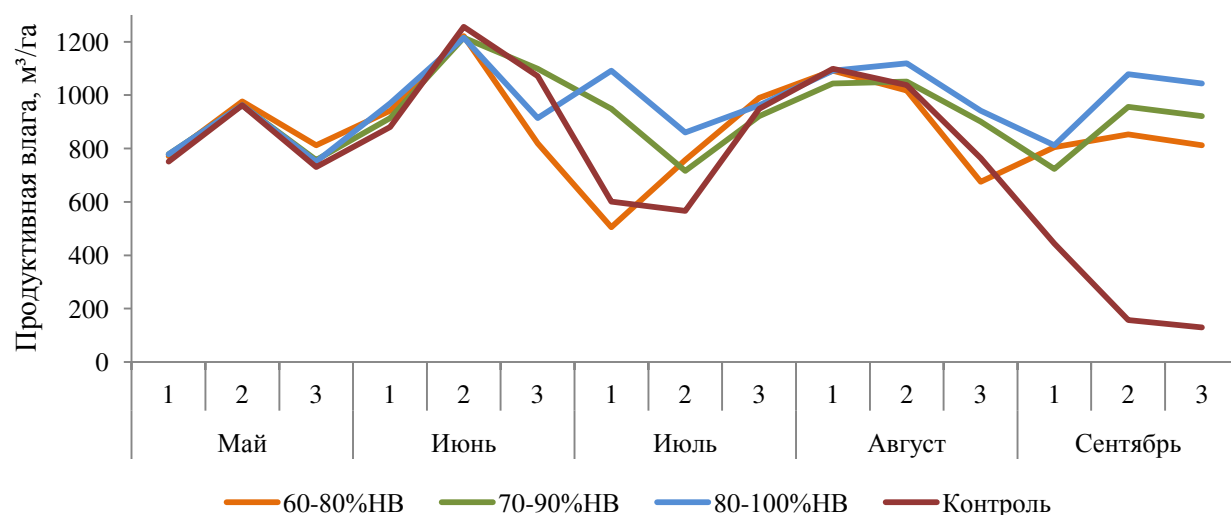


Рисунок 4.18 – Динамика средних значений запасов продуктивной влаги (2024г.)

Для оценки различий в обеспеченности растений доступной почвенной влагой на рисунках 4.15–4.20 приведена динамика её продуктивных запасов в корнеобитаемом слое 0–50 см за трёхлетний период наблюдений. Представленные материалы включают величину запасов продуктивной влаги, определённую в начале вегетации, а также их средние значения, рассчитанные отдельно для каждой декады вегетационного периода.

Анализ данных за 2023–2025 гг. показал, что проведение капельного орошения позволяло поддерживать запасы доступной растениям влаги на более высоком и устойчивом уровне по сравнению с контрольным вариантом, где

поливов отсутствовали. Максимальная влагообеспеченность корнеобитаемого слоя отмечалась при режиме 80–100 % НВ. В данном варианте сохранялись наиболее высокие запасы продуктивной влаги, при этом выраженного иссушения почвы в течение вегетации не наблюдалось.

Однако, в июне 2024 года и в мае 2025 года влажность почвы в корнеобитаемом слое достигала более 100%НВ, что могло негативно сказаться на жизнедеятельности деревьев вишни. Контрольный вариант отличался резкими колебаниями влажности и снижением запасов продуктивной влаги в засушливые периоды вегетации.

Таблица 4.7 – Запасы влаги за каждую декаду вегетационного периода 2025 года по вариантам опыта

Месяц	Декада	I вариант (60–80 % НВ)		II вариант (70–90 % НВ)		III вариант (80–100 % НВ)		Контроль (безорошения)	
		начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады	начало декады	конец декады
Май	1	1092	1256	1065	1229	1092	1256	1092	1283
	2	1092	1010	1092	983	1078	1024	1106	1037
	3	928	846	956	874	956	901	819	628
Июнь	1	723	655	778	710	1092	956	478	396
	2	723	778	723	764	1092	1160	396	546
	3	1024	874	1078	887	1092	928	1037	928
Июль	1	1092	833	1147	928	1092	846	1065	819
	2	723	996	860	1133	1037	1297	669	956
	3	1133	1297	1092	1160	1092	1297	1160	1297
Август	1	1024	1160	1037	1051	1092	1119	1201	1392
	2	1024	956	1010	969	1051	1092	1297	1324
	3	1092	1024	1092	983	1024	887	1365	1283
Сентябрь	1	956	887	901	874	1092	1092	1160	1051
	2	805	737	860	778	996	956	956	887
	3	860	860	860	860	860	860	860	860

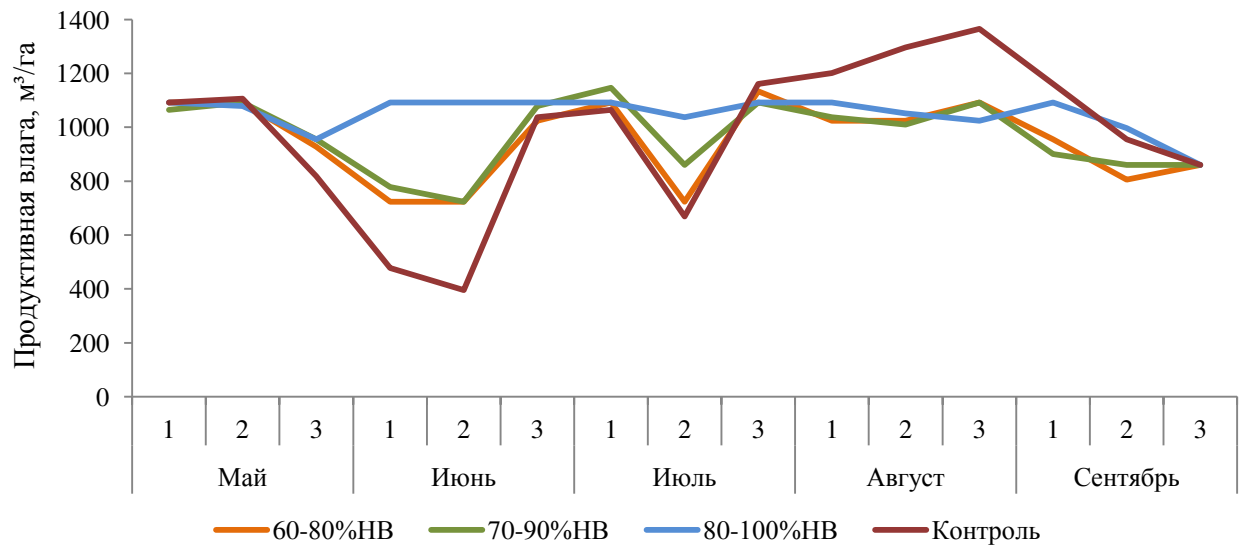


Рисунок 4.19 – Динамика запасов продуктивной влаги на начало декады (2025г.)

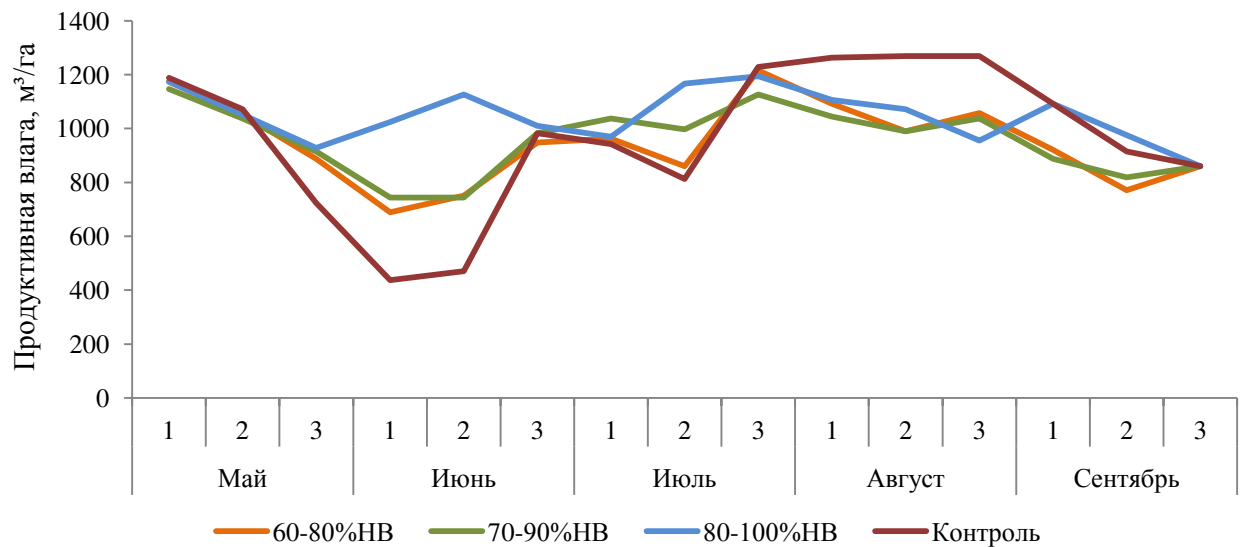


Рисунок 4.20 – Динамика средних значений запасов продуктивной влаги (2025г.)

4.3. Распределение влаги по почвенному профилю

В условиях Центрального Нечерноземья при возделывании молодых плодовых садов особое значение приобретает оптимизация водного режима почвы, поскольку дерново-подзолистые почвы характеризуются сравнительно невысокой влагоёмкостью, неоднородностью профиля и повышенной чувствительностью к переувлажнению и иссушению. В этой связи капельное орошение рассматривается как наиболее перспективный способ орошения молодых садов, обеспечивающий локальное увлажнение корнеобитаемой зоны и

рациональное использование оросительной воды (Дубенок с соавт., 2018; Штанько с соавт., 2022; Dubenok, 2014).

При капельном орошении в почве формируются локальные зоны увлажнения — контуры (или луковицы) увлажнения. В работах отечественных исследователей показано, что контуры увлажнения характеризуются выраженной пространственной неравномерностью распределения влаги, а их форма и размеры зависят от расхода капельниц, продолжительности и кратности поливов, водно-физических свойств почвы и предполивной влажности почвы (Ахмедов с соавт., 2012; Сторчоус с соавт., 2014; Штанько с соавт., 2023; Assouline, 2002). В связи с этим параметры контуров увлажнения рассматриваются как важнейший критерий обоснования режима капельного орошения

Существенный вклад в развитие научных представлений о формировании контуров увлажнения при капельном поливе внесли исследования, направленные на экспериментальное картирование влажности почвы и построение изолиний влажности. Установлено, что увеличение поливной нормы и продолжительности полива, как правило, приводит к росту глубины промачивания, тогда как горизонтальные размеры контура в большей степени зависят от расхода водовыпуска и параметров почвы (Васильев с соавт., 2020; Штанько с соавт., 2017, 2023).

В работах Л.В. Кирейчевой предложены расчётные подходы к определению параметров контуров увлажнения, позволяющие обосновывать поливные нормы при капельном орошении садовых насаждений. Автором показано, что оптимальный режим капельного полива должен обеспечивать формирование контура увлажнения, охватывающего активную часть корневой системы при сохранении благоприятного воздушного режима почвы (Кирейчева с соавт., 2020).

Для условий Центрального Нечерноземья значительный интерес представляют исследования, выполненные на дерново-подзолистых почвах. В них показано, что при правильно подобранном режиме капельного орошения возможно поддержание заданной влажности корнеобитаемого слоя без

ухудшения аэрации и без потерь влаги за пределы корнеобитаемой зоны (Романовская с соавт., 2021). Это подтверждает целесообразность анализа не только средней влажности почвы, но и пространственных параметров контура увлажнения.

В исследованиях Н.Н. Дубенка и соавторов режим капельного орошения обосновывается через поддержание влажности почвы на уровне не ниже 60–80 % НВ, при этом формирование контуров увлажнения рассматривается как ключевой фактор, определяющий развитие корневой системы и рост растений. Авторами показано, что повышение уровня влажности сопровождается увеличением размеров и однородности контуров увлажнения, однако требует строгого контроля для предотвращения переувлажнения почвы (Дубенок с соавт., 2020; Dubenok, 2020).

Таким образом, анализ отечественных исследований показывает, что при капельном орошении молодых плодовых садов, в том числе вишни, параметры контуров увлажнения являются интегральным показателем эффективности выбранного режима полива. Для дерново-подзолистых почв Центрального Нечерноземья оптимальный режим капельного орошения должен обеспечивать формирование устойчивых контуров увлажнения, охватывающих корнеобитаемую зону без избыточного промачивания нижележащих горизонтов, что требует дальнейших экспериментальных исследований применительно к молодым вишнёвым садам. Поэтому с целью установления влияния различных режимов капельного орошения молодого вишнёвого сада на параметры формирующихся контуров увлажнения в условиях дерново-подзолистых почв Центрального Нечерноземья для обоснования оптимального диапазона поддерживаемой влажности почвы были построены контура увлажнения. В период с 2023 по 2025 годы производились точечные измерения влажности по сетке в подкапельном пространстве на глубине 0-60см и на расстоянии от оси капельницы с шагом в 10см, данные представлялись в виде числовых матриц, которые интерпретировались в карты изопьез (в долях от НВ). Отборы образцов

почв на влажность отбирались почвенным буром, влажность определялась термостатно-весовым методом.

По результатам проведенных полевых наблюдений с 2023 по 2025 год были получены контуры увлажнения для каждого варианта опыта с поддержанием влажности в корнеобитаемом слое 60–80 % НВ, 70–90% НВ и 80–100% (рисунки 4.21–4.23).

Анализ распределения влажности почвы в подкапельном пространстве показал, что формирование контуров увлажнения существенно зависело от установленного режима орошения. На примере варианта 60–80% НВ (2023 г.) установлено, что максимальные значения влажности фиксировались в зоне, прилегающей к оси капельницы (0–10 см), где на глубине 10 см влажность достигала 94,3% НВ (таблица 4.8). По мере удаления от оси капельницы и увеличения глубины отмечалось снижение влажности почвы. Данные по распределению влажности почвы в подкапельном пространстве на других вариантах опыта в 2023 году отображены в приложениях 1–2.

Таблица 4.8 – Данные по распределению влажности почвы в подкапельном пространстве на варианте 60–80% НВ в 2023 году

Глубина контура, см	Шаг замера от оси капельницы, см						
	30	20	10	0	10	20	30
	Влажность почвы, %НВ						
10	67,4	76,2	85,0	93,5	84,2	73,6	70,4
20	62,8	65,1	82,6	85,8	83,3	69,4	66,1
30	59,9	64,8	78,3	81,6	78,1	61,7	58,9
40	58,6	63,1	67,3	74,4	72,6	60,3	54,2
50	56,4	60,7	61,8	64,0	62,5	57,6	53,7
60	42,8	47,4	52,6	58,7	56,2	54,3	49,9

Вертикальное распределение влаги носило выраженный градиентный характер: на глубине 10–20 см формировалась наиболее интенсивно увлажнённая зона (80–90 и 90–100% НВ), тогда как на глубине 40–60 см влажность снижалась до 40–60% НВ. Горизонтально контур увлажнения распространялся в пределах 20–30 см от капельницы, при этом за пределами 30 см влажность приближалась к фоновым значениям.

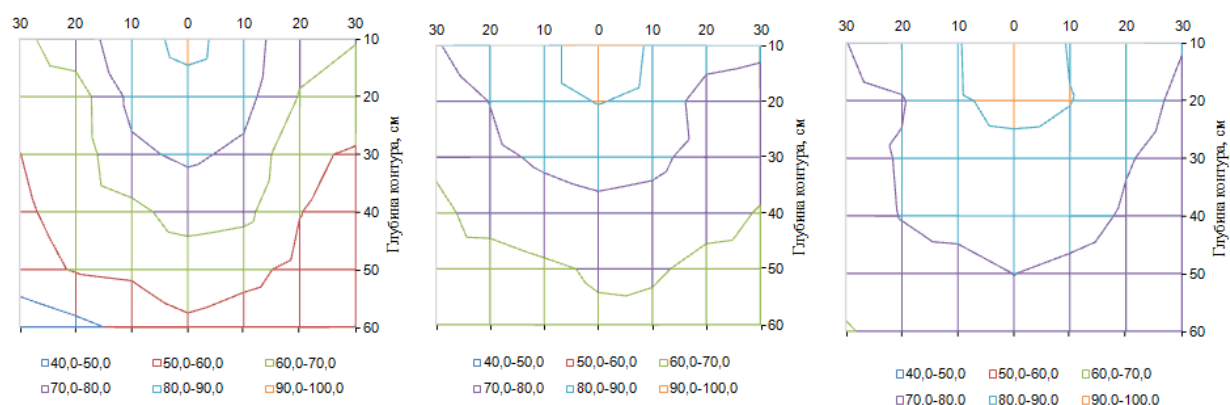


Рисунок 4.21 – Контура увлажнения варианта орошения 60–80%НВ, 70–90%НВ и 80–100% соответственно НВ в 2023 году (слева направо)

Сравнение контуров увлажнения по трём режимам орошения (60–80; 70–90 и 80–100% НВ) показало выраженную зависимость их параметров от установленного диапазона поддерживаемой влажности почвы.

С увеличением интенсивности режима орошения последовательно возрастают глубина промачивания, ширина контура и объём почвы с влажностью выше 70–80 % НВ. При этом режим 70–90% НВ обеспечивает оптимальное соотношение глубины и ширины контура.

В 2024 г. при режиме капельного орошения 70–90% НВ формировался более равномерный контур увлажнения по сравнению с вариантом 60–80% НВ предыдущего года (таблица 4.9). Максимальные значения влажности фиксировались в зоне, прилегающей к оси капельницы, где на глубине 10 см влажность достигала 94,3 % НВ. В слое 10–30 см сохранялась устойчивая зона с влажностью 80–90 % НВ, что свидетельствует о формировании оптимально увлажнённого корнеобитаемого горизонта. Данные по распределению влажности почвы в подкапельном пространстве на других вариантах опыта в 2024 году отображены в приложениях 3-4. Анализ представленных контуров показал, что характер распределения влаги сохраняет общую закономерность, выявленную ранее: с увеличением диапазона поддерживаемой влажности почвы возрастает глубина и ширина контура увлажнения.

Таблица 4.9 – Данные по распределению влажности почвы в подкапельном пространстве на варианте 70–90%НВ в 2024 году

Глубина контура, см	Шаг замера от оси капельницы, см						
	30	20	10	0	10	20	30
	Влажность почвы, %НВ						
10	77,8	84,1	88,3	94,3	87,8	77,4	67,7
20	72,3	69,0	88,4	90,9	88,6	68,8	61,2
30	64,8	66,9	80,8	84,2	82,9	73,4	58,9
40	59,2	65,0	75,2	77,2	76,3	68,6	54,1
50	53,6	59,8	66,8	68,2	67,3	65,0	49,3
60	46,9	48,1	57,9	65,2	56,7	53,8	47,4

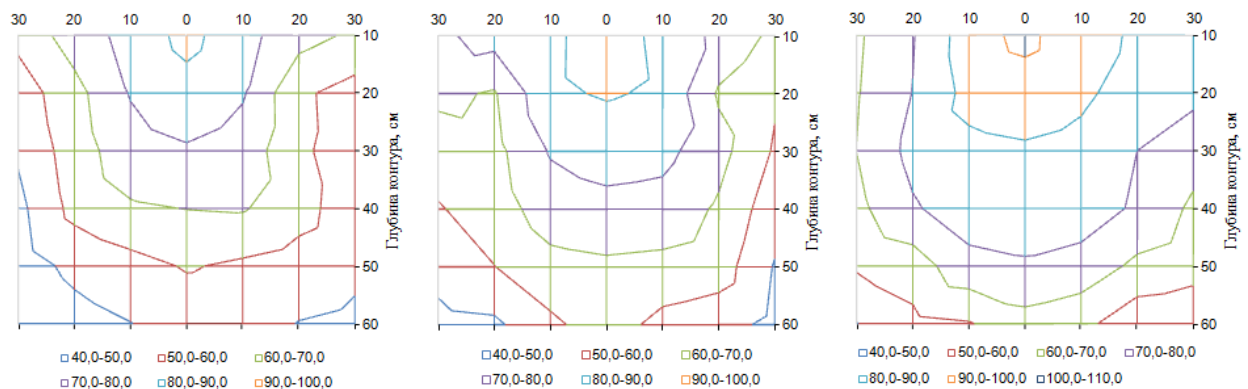


Рисунок 4.22 – Контура увлажнения варианта орошения 60–80%НВ, 70–90%НВ и 80–100%НВ соответственно в 2024 году (слева направо)

Наиболее мощный контур формируется при режиме 80–100 % НВ. В этом варианте зона повышенной влажности (80–90 % НВ и выше) охватывает практически весь корнеобитаемый слой до 50–60 см. Отмечается максимальное горизонтальное распространение влаги (до 25–30 см от оси капельницы).

В 2025 г. при режиме капельного орошения 80–100% НВ Максимальные значения влажности фиксировались в приосевой зоне капельницы: на глубине 10 см влажность достигала 99,9 % НВ, в слое 10–20 см устойчиво сохранялись значения 91–97 % НВ. Данные по распределению влажности почвы в подкапельном пространстве на других вариантах опыта в 2025 году отображены в приложениях 3–4.

Таким образом, увеличение предполивного порога влажности приводит к последовательному росту глубины и площади контура увлажнения. Режим 70–90 % НВ обеспечивает более сбалансированное распределение влаги в пределах

корнеобитаемого слоя, тогда как режим 80–100 % НВ формирует наиболее мощный, но более водоёмкий контур.

Таблица 4.10 – Данные по распределению влажности почвы в подкапельном пространстве на варианте 80–100%НВ в 2025 году

Глубина контура, см	Шаг замера от оси капельницы, см						
	30	20	10	0	10	20	30
	Влажность почвы, %НВ						
10	81,2	86,7	91,4	99,9	92,2	87,6	79,8
20	76,4	82,9	93,5	97,2	93,7	83,9	77,4
30	71,8	85,0	88,3	89,8	88,7	85,2	73,7
40	67,5	82,8	85,5	86,9	85,8	83,3	69,5
50	62,1	76,5	80,1	80,3	78,4	74,2	67,6
60	56,4	64,8	75,8	73,4	72,6	69,8	64,1

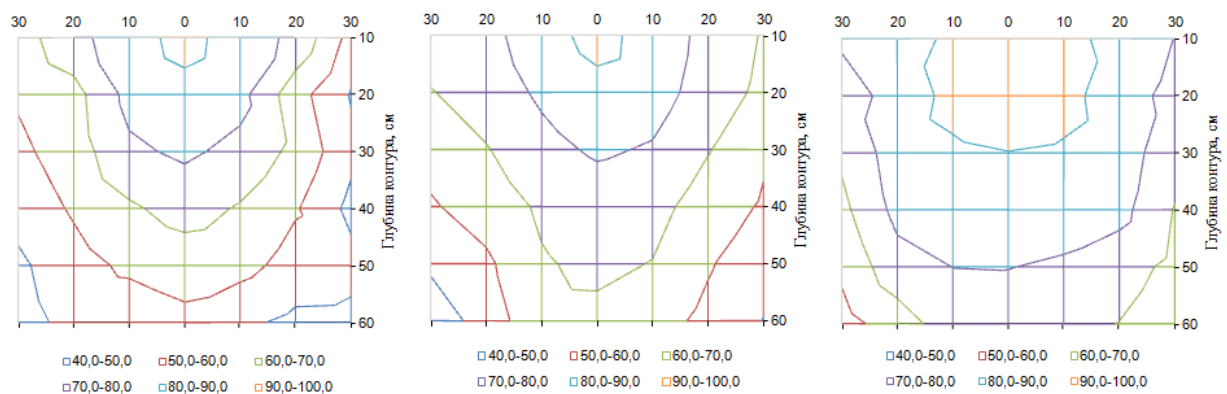


Рисунок 4.23 – Контура увлажнения варианта орошения 60–80%НВ, 70–90%НВ и 80–100%НВ соответственно в 2025 году (слева направо)

Проведённые трёхлетние исследования подтвердили определяющую роль режима капельного орошения в формировании параметров контуров увлажнения и развитии корневой системы молодого вишнёвого сада в условиях дерново-подзолистых почв Центрального Нечерноземья. Установлено, что геометрические характеристики контуров увлажнения (глубина промачивания, горизонтальное распространение влаги) напрямую зависят от уровня поддерживаемой влажности почвы.

4.4. Особенности водопотребления молодых деревьев вишни

С помощью уравнения водного баланса можно рассчитать эвапотранспирацию (Ионова, 1985):

$$\Delta W = O_c + m + (\uparrow q_1 - \downarrow q_2) + (\Pi - \bar{\Pi}) + K + (O - \bar{O}) - (E_{\text{тр}} + E_{\text{п}}), \quad (4.1)$$

где: ΔW – изменение запасов влаги в расчетном почвенном слое, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

O_c – используемые атмосферные осадки за расчетный период, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

m – оросительная норма, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

$\uparrow q_1$ – капиллярное подпитывание грунтовыми водами, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

$\downarrow q_2$ – отток за счет инфильтрации в грунтовые воды, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

Π – приток поверхностных вод, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

$\bar{\Pi}$ – отток поверхностных вод, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

K – конденсация водяных паров, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

O – приток грунтовых вод, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

$\bar{O}$ – отток грунтовых вод, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

$E_{\text{тр}}$ – испарение влаги растениями, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

$E_{\text{п}}$ – физическое испарение влаги с поверхности почвы, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

Опытный участок расположен на склоне холма крутизной менее 1° . С учётом особенностей рельефа и установленных ранее водно-физических свойств почвы составляющие водного баланса, характеризующие приток (Π) и оттока ($\bar{\Pi}$) поверхностных вод, принимались пренебрежимо малыми. Это обусловлено тем, что атмосферные осадки преимущественно поглощаются почвой непосредственно в месте их выпадения и не формируют выраженного поверхностного стока. В связи с этим при расчётах учитывали только количество осадков, непосредственно поступивших на территорию опытного участка.

Приток (O) и оттока ($\bar{O}$) грунтовых вод также принимались равными нулю. На исследуемой территории функционирует осушительная дренажная система, при этом в период наиболее активной вегетации растений, с мая по август, уровень грунтовых вод не поднимался выше 1,8–2,1 м. Вклад конденсации водяных паров (K) в общий водный баланс оценивался как незначительный, поскольку в течение периода исследований осуществлялся регулярный контроль влажности почвы. Согласно литературным данным (Астапов, 1958; Климахина, 2010), при подекадном расчёте динамики почвенной влажности доля влаги,

поступающей за счёт конденсации водяных паров, по отдельным оценкам не превышает 3 %.

При выполнении водобалансовых расчётов капиллярное поступление влаги из грунтовых вод и её потери вследствие инфильтрации учитывали совместно в составе комплексного показателя вертикального водообмена ($V_{v,\alpha}$) за соответствующий расчётный период. Такой подход применялся при условии расположения уровня грунтовых вод в пределах возможной высоты капиллярного поднятия влаги.

Таким образом, уравнение водного баланса можно записать в следующем виде:

$$\Delta W = O_c + m \pm V_{v,\alpha} - (E_{\text{ТР}} + E_{\text{П}}), \quad (4.2)$$

где: ΔW – изменение запасов влаги в расчетном почвенном слое, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

O_c – используемые атмосферные осадки за расчетный период, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

m – оросительная норма, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

$V_{v,\alpha}$ – величина вертикального водообмена, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

$E_{\text{ТР}}$ – испарение влаги растениями, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

$E_{\text{П}}$ – физическое испарение влаги с поверхности почвы, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

При этом величина вертикального водообмена находится в зависимости от интенсивности водообмена (Голованов, 1983):

$$V_{v,\alpha} = 10000 \cdot g_{v,\alpha} \cdot t, \quad (4.3)$$

где: $V_{v,\alpha}$ – величина вертикального водообмена, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

$g_{v,\alpha}$ – интенсивность водообмена, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

t – расчетный период, сутки.

Показатель интенсивности вертикального водообмена с учетом водно-физических свойств почвы и известной средней влажности активного слоя почвы за расчетный период определялся по формуле (Голованов, 1983):

$$g_{v,\alpha} = K(W) \cdot \bar{W}_m^n \cdot \left(1 - \exp \left(- \frac{n \cdot h_s}{2 \cdot h_{wp}} \right) \right)^{-1} -$$

$$-K(W) \exp\left(-\frac{n \cdot h_s}{2 \cdot h_{wp}}\right) \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{n \cdot h_s}{2 \cdot h_{wp}}\right)\right)^{-1}, \quad (4.4)$$

где: $g_{v,\alpha}$ – интенсивность водообмена, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

$K(W)$ – коэффициент водопроницаемости почвы, $\text{м} \cdot \text{сутки}^{-1}$;

n – числовой коэффициент (для средних и легких суглинков $n = 5$);

h_s – средняя глубина грунтовых вод за расчетный период, м;

h_{wp} – высота капиллярного поднятия, м;

$\bar{W}_m$ – средняя влажность активного слоя почвы за расчетный период, %.

Определение коэффициента водопроницаемости почвы выполнялось по модифицированной формуле С.Ф. Аверьянова. Данная формула позволяет находить значение коэффициента водопроницаемости при известном значении насыщения почвы водой:

$$K(W) = K_\phi \cdot \left(\frac{\text{ПВ} - \gamma - W_{\max}}{\text{ПВ} - W_{\max}}\right)^n, \quad (4.5)$$

где: $K(W)$ – коэффициент водопроницаемости почвы, $\text{м} \cdot \text{сутки}^{-1}$;

K_ϕ – коэффициент фильтрации почвы, $\text{м} \cdot \text{сутки}^{-1}$;

ПВ – полная влагоемкость, %;

γ – поправочный коэффициент (0,07 от объема почвы);

n – числовой коэффициент (для средних и легких суглинков $n = 5$);

$W_{\max}$ – максимальная гигроскопичность, %.

Допускается принимать $W_m = W_{sl}$.

Величина средней влажности почвы в корнеобитаемом слое в начальный момент времени определялась по следующей:

$$\bar{W}_m = \frac{W_{sl} - W_{\max}}{\text{ПВ} - \gamma - W_{\max}}, \quad (4.6)$$

где: $\bar{W}_m$ – средняя влажность активного слоя почвы за расчетный период, %;

W_{sl} – средняя влажность активного слоя в начале расчетного периода, %;

W_{max} – максимальная гигроскопичность, %;

ПВ – полная влагоемкость, %

γ – поправочный коэффициент (0,07 от объема почвы).

Расчет суммарного водопотребления сельскохозяйственной культуры может быть выполнен несколькими методами. Первый метод основан на уравнении водного баланса по А.Н. Костякову, позволяющем наиболее полно учитывать все составляющие прихода и расхода влаги, включая атмосферные осадки, запасы почвенной влаги и оросительные нормы.

$$E = M + 10 \times \mu \times P \pm \Delta W + W_{гв} \quad , (4.7)$$

где: E – суммарное водопотребление, м³/га;

M – оросительная норма, м³/га;

P – сумма выпавших за расчетный период осадков, мм;

μ – коэффициент использования осадков;

ΔW – изменение запасов почвенной влаги за рассматриваемый период, м³/га;

$W_{гв}$ – подпитывание активного слоя почвы грунтовыми водами, м³/га.

И. А. Шаров (1959) предложил метод определения суммарного испарения в зависимости от температуры воздуха:

$$E = e \times (\sum t + 4a) \quad (4.8)$$

где: E – суммарное испарение, м³/га;

e – модуль испарения, м³/(га·°С);

$\sum t$ – сумма среднесуточных температур воздуха в течение вегетационного периода, °С;

a – число дней вегетационного периода.

По оценке В. С. Мезенцева (1969), одним из ограничений рассматриваемой формулы является использование постоянного значения модуля e . Такой подход не позволяет учитывать изменение данного показателя в зависимости от

фактической влажности почвы, принятого режима орошения, применяемой техники полива и ряда других факторов. Вместе с тем метод может использоваться для определения величины суммарного испарения за различные временные интервалы.

Иной подход к оценке суммарного испарения был предложен Д. А. Штойко (1965). Разработанный им биофизический метод предусматривает проведение расчётов на основе двух зависимостей.

1. В период от начала развития растений до полного затенения ими поверхности почвы, а также на этапе созревания величину суммарного испарения определяют по следующей формуле:

$$E = \sum t(0,1t + \frac{f}{100}) \quad (4.9)$$

где: E – суммарное испарение, м³/га;

$\sum t$ – сумма среднесуточных температур воздуха в течение вегетационного периода, °С;

t – среднемесячная температура воздуха, °С;

f – среднемесячная относительная влажность воздуха, %;

2. Суммарное испарение в период наиболее активного водопотребления со времени затенения поверхности почвы растениями:

$$E = \sum t(0,1t - \frac{1-f}{100}) \quad (4.10)$$

где: E – суммарное испарение, м³/га;

$\sum t$ – сумма среднесуточных температур воздуха в течение вегетационного периода, °С;

t – среднемесячная температура воздуха, °С;

f – среднемесячная относительная влажность воздуха, %;

Для сопоставления результатов на рисунке 1 приведено сравнение расчетов, выполненных всеми тремя методами. Поскольку формулы Д.А. Штойко и И.А. Шарова не учитывают орошение, для корректного сравнения на график нанесены результаты, полученные по уравнению водного баланса для варианта без орошения за все три года исследований.

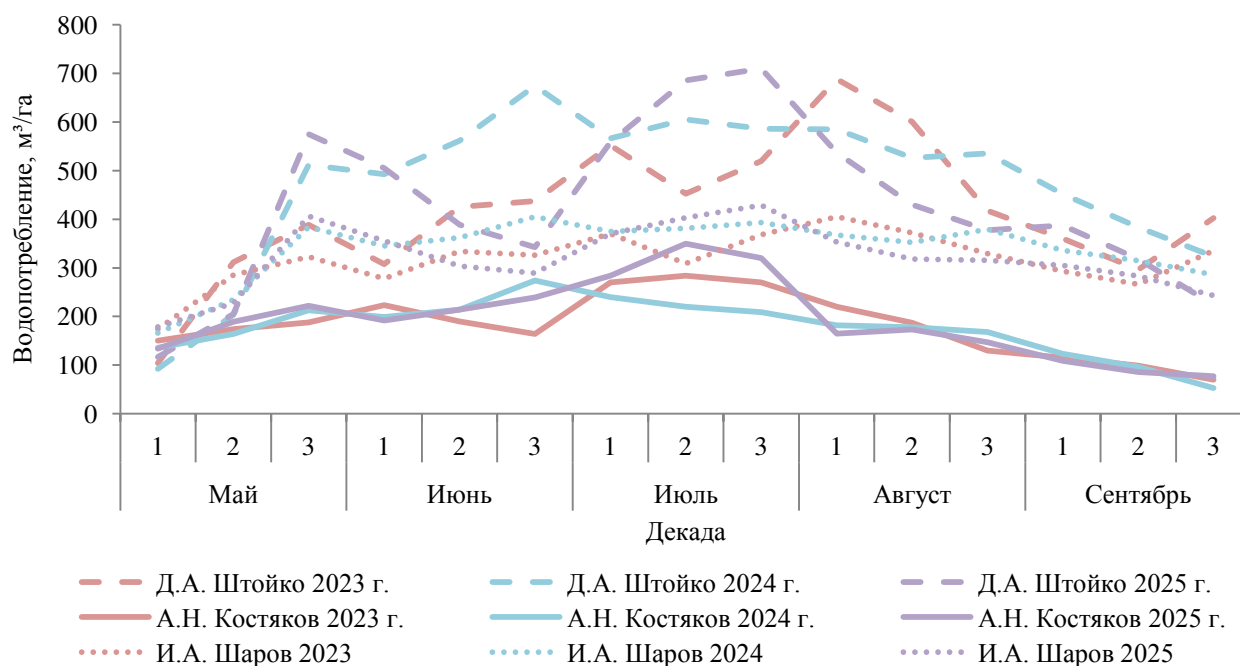


Рисунок 4.24 – Сравнение расчетных данных по определению водопотребления
ВИШНИ

Второй и третий методы представлены эмпирическими формулами Д.А. Штойко и И.А. Шарова. Данные зависимости широко применяются для оценки суммарного водопотребления, однако они не учитывают влияние орошения на водный режим культуры. В связи с этим в рамках исследования в качестве основного был принят расчет по уравнению водного баланса, на основе которого было определено суммарное водопотребление исследуемой культуры.

Подекадные значения водопотребления деревьев вишни при различных режимах увлажнения представлены в таблицах 4.11–4.13. Во все годы исследований наибольшее суммарное водопотребление отмечалось в вариантах с поддержанием влажности почвы на уровне 70–90 и 80–100 % НВ, тогда как минимальные значения наблюдались на контроле без орошения.

В 2023 г. максимальное суммарное водопотребление за вегетационный период отмечено в варианте 80–100 % НВ и составило 3223 м³/га, тогда как в контроле – 2734 м³/га. Наибольшие показатели водопотребления наблюдались в июле, особенно в первой–второй декадах, когда значения достигали 309–322 м³/га. В 2024 г. наиболее высокое суммарное водопотребление зафиксировано в

варианте 70–90 % НВ — 3530 м³/га. Максимальные значения приходились на июнь–июль и достигали 353–369 м³/га в наиболее увлажняемых вариантах. Контрольный вариант характеризовался более низким уровнем водопотребления — 2669 м³/га. В 2025 г. максимальное суммарное водопотребление отмечалось в варианте 70–90 % НВ и составило 3881 м³/га, что является наибольшим показателем за весь период исследований. Пик водопотребления наблюдался во второй декаде июля, когда значения достигали 424–445 м³/га. В контроле суммарное водопотребление составило 2996 м³/га. Максимальные значения приходились на летний период, характеризующийся наиболее высокой температурой воздуха и интенсивным развитием растений. Установлено, что водопотребление молодых деревьев вишни зависит от среднесуточной температуры воздуха в течение вегетационного периода. Данная зависимость обусловлена особенностями водного обмена растений, в первую очередь интенсивностью транспирации, которая возрастает с повышением температуры и активизацией физиологических процессов (Спицын, 2002).

Таблица 4.11 – Подекадное водопотребление деревьев вишни при различных условиях увлажнения почвы в 2023 году, м³/га

Месяц	Декада	(60–80% НВ)	(70–90% НВ)	(80–100% НВ)	Контроль (без орошения)
Май	1	160	160	160	150
	2	209	211	203	174
	3	215	216	203	188
Июнь	1	264	253	242	223
	2	280	284	280	190
	3	250	273	274	164
Июль	1	310	321	322	270
	2	298	309	290	284
	3	248	248	262	270
Август	1	219	219	247	220
	2	191	197	214	187
	3	176	179	198	130
Сентябрь	1	122	129	129	115
	2	106	117	120	99
	3	90	97	79	70
Сумма		3138	3213	3223	2734

Таблица 4.12 – Подекадное водопотребление деревьев вишни при различных условиях увлажнения почвы в 2024 году, м³/га

Месяц	Декада	(60–80% НВ)	(70–90% НВ)	(80–100% НВ)	Контроль (без орошения)
Май	1	163	177	173	136
	2	205	210	221	164
	3	230	246	240	213
Июнь	1	232	245	221	199
	2	317	325	300	214
	3	345	353	369	274
Июль	1	308	316	346	240
	2	316	324	308	220
	3	281	287	272	209
Август	1	220	250	231	182
	2	216	247	212	178
	3	182	206	184	168
Сентябрь	1	134	133	157	123
	2	125	113	125	96
	3	97	98	106	53
Сумма		3371	3530	3465	2669

Таблица 4.13 – Подекадное водопотребление деревьев вишни при различных условиях увлажнения почвы в 2025 году, м³/га

Месяц	Декада	(60–80% НВ)	(70–90% НВ)	(80–100% НВ)	Контроль (без орошения)
Май	1	161	166	161	134
	2	202	207	175	189
	3	224	242	228	222
Июнь	1	268	279	259	192
	2	255	316	289	214
	3	276	321	294	239
Июль	1	347	373	349	284
	2	419	445	424	350
	3	320	414	396	320
Август	1	219	342	329	23
	2	201	208	206	200
	3	182	188	194	147
Сентябрь	1	131	132	150	109
	2	130	139	126	86
	3	105	109	117	77
Сумма		3440	3881	3697	2996

На основании экспериментальных данных за трёхлетний период была проанализирована структура суммарного водопотребления саженцев (рисунок 4.25). Установлено, что на орошаемых вариантах основными источниками поступления влаги являлись атмосферные осадки и вода, подаваемая при капельном орошении. Доля осадков в общем водопотреблении составляла от 60 до 70 %, тогда как вклад оросительной нормы изменялся в пределах от 13 до 36 %. Соотношение отдельных составляющих водного баланса заметно зависело от метеорологических условий конкретного года. В периоды с повышенным количеством атмосферных осадков, как это наблюдалось в 2025 году, их удельный вклад в суммарное водопотребление возрастал. В более засушливых условиях, характерных, например, для 2024 года, доля атмосферной влаги, напротив, уменьшалась, а значение оросительной нормы в обеспечении растений возрастало. На контрольном варианте, где поливы не проводились, водообеспечение растений формировалось преимущественно за счёт атмосферных осадков и расходования ранее накопленных запасов почвенной влаги.

Для выявления характера данной зависимости были построены и проанализированы графические зависимости водопотребления от средней температуры воздуха за декаду в течение всего вегетационного периода за годы исследований (рисунки 4.25–4.31). Анализ проводился с учетом фенологических фаз развития вишни, что позволило дифференцировать особенности водопотребления на различных этапах роста и развития растений.

В результате выделено три основных фазы. Первая фаза — фаза роста и цветения (с первой декады мая по первую декаду июня). В этот период наблюдается активный рост побегов, распускание листьев и цветение растений. Водопотребление характеризуется умеренными значениями и увеличивается по мере повышения температуры воздуха. Ограниченный уровень водопотребления на данном этапе связан с неполным развитием листового аппарата и, соответственно, относительно невысокой интенсивностью транспирации.

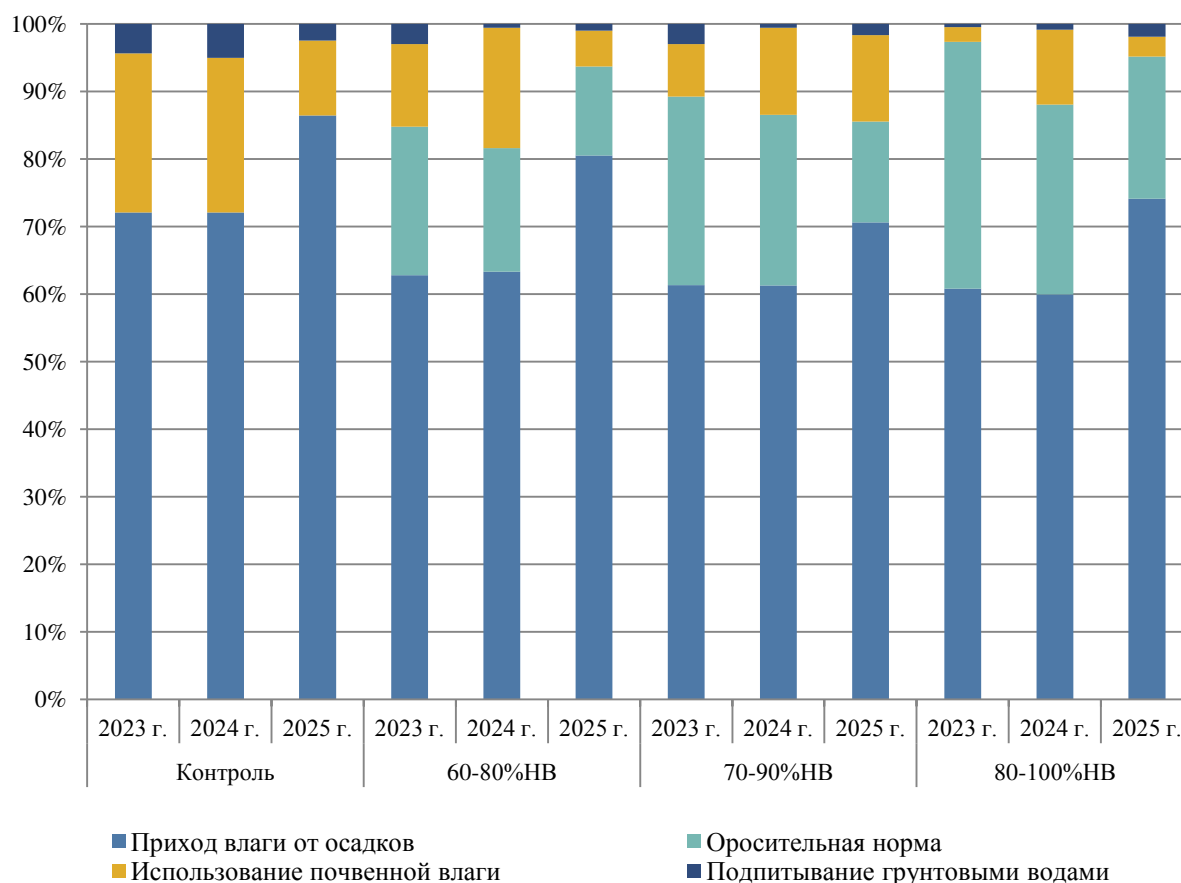


Рисунок 4.25 – Структура суммарного водопотребления молодых деревьев вишни

Вторая фаза — фаза наибольшего водопотребления (со второй декады июня по третью декаду июля). В данный период происходит интенсивное формирование и рост плодов, а также достигается максимальное развитие листовой поверхности. Установлено, что именно в этот период наблюдаются наибольшие значения водопотребления, что связано с высокой интенсивностью транспирации и фотосинтетической активности растений. Повышенные температуры воздуха дополнительно усиливают потребность растений в воде.

Третья фаза связана с периодом после сбора урожая (с первой декады августа по третью декаду сентября). Для данной фазы характерно снижение интенсивности водопотребления. После съема урожая ростовые процессы замедляются, уменьшается активность транспирации, что приводит к снижению потребности растений в воде. Вместе с тем водный режим сохраняет важное значение для процессов накопления запасных веществ и подготовки растений к периоду покоя.

По результатам обработки экспериментальных данных для каждого исследуемого варианта были установлены регрессионные зависимости, характеризующие связь между величиной суммарного водопотребления деревьев вишни за декадный период и среднесуточной температурой воздуха (рисунки 4.26–4.32). Полученные математические зависимости дают возможность определять расчётные усреднённые значения водопотребления в зависимости от температурных условий. Разработанные уравнения могут быть использованы при выполнении водобалансовых расчётов и прогнозировании суммарной потребности молодых насаждений вишни в воде применительно к природно-климатическим условиям Центрального района Нечерноземной зоны России.

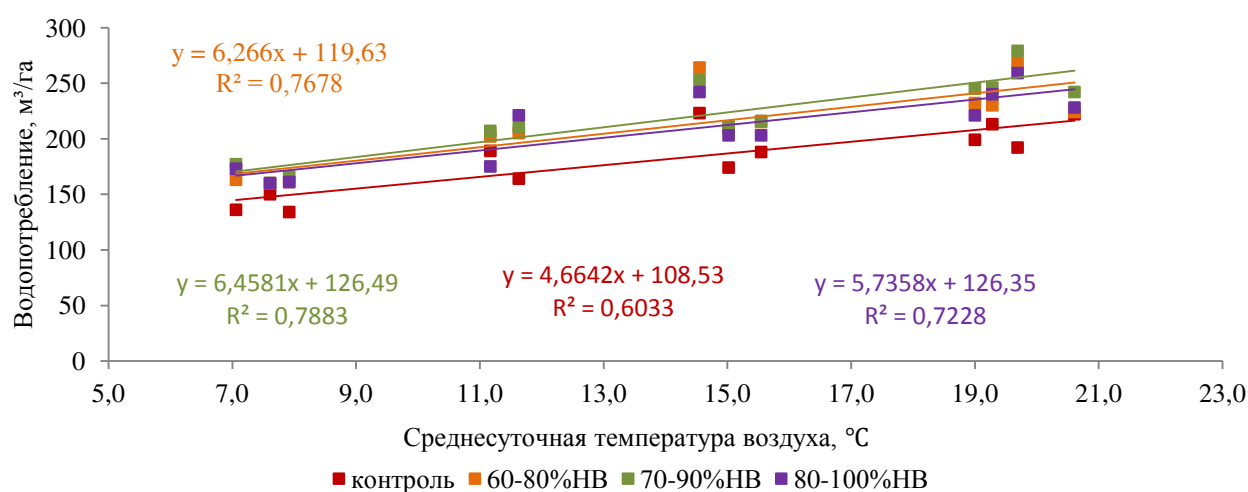


Рисунок 4.26 – Зависимость суммарного водопотребления за декаду от среднесуточной температуры воздуха в I фазе развития в 2023–2025 годы

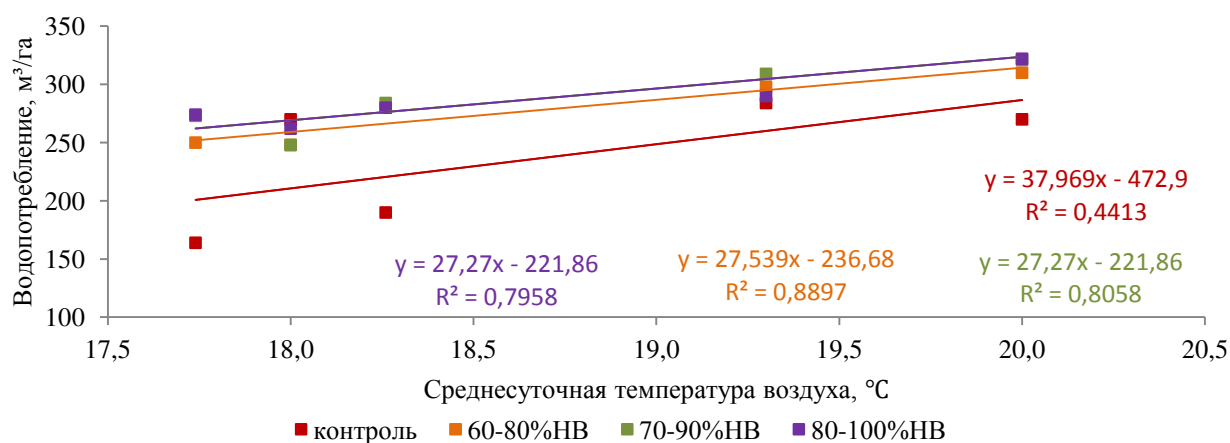


Рисунок 4.27 – Зависимость суммарного водопотребления за декаду от среднесуточной температуры воздуха во II фазе развития в 2023 году

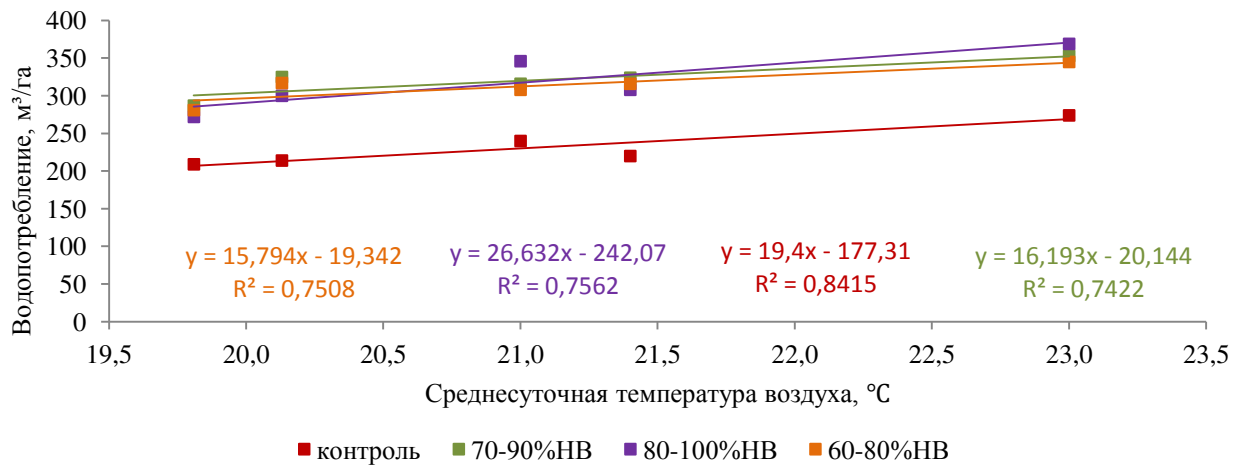


Рисунок 4.28 – Зависимость суммарного водопотребления за декаду от среднесуточной температуры воздуха во II фазе развития в 2024 году

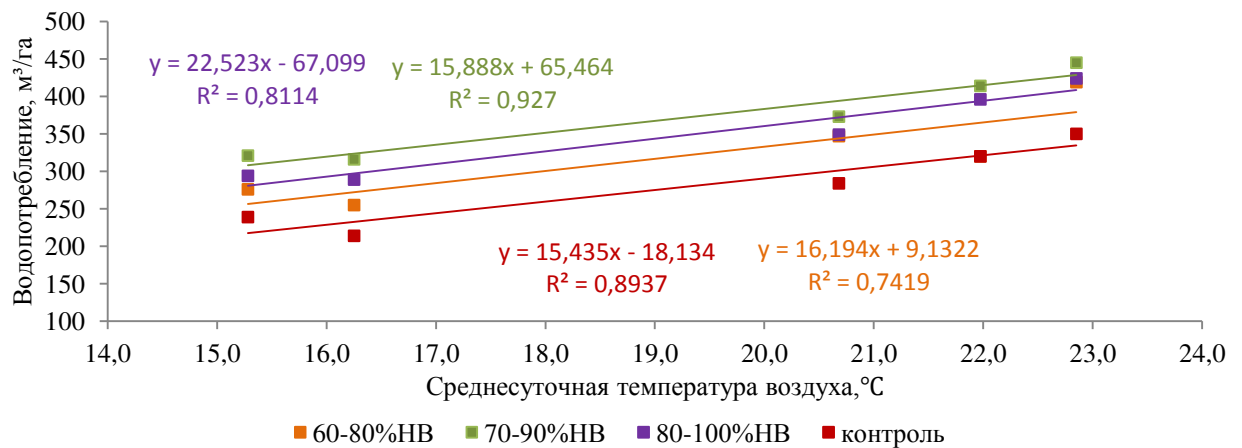


Рисунок 4.29 – Зависимость суммарного водопотребления за декаду от среднесуточной температуры воздуха во II фазе развития в 2025 году

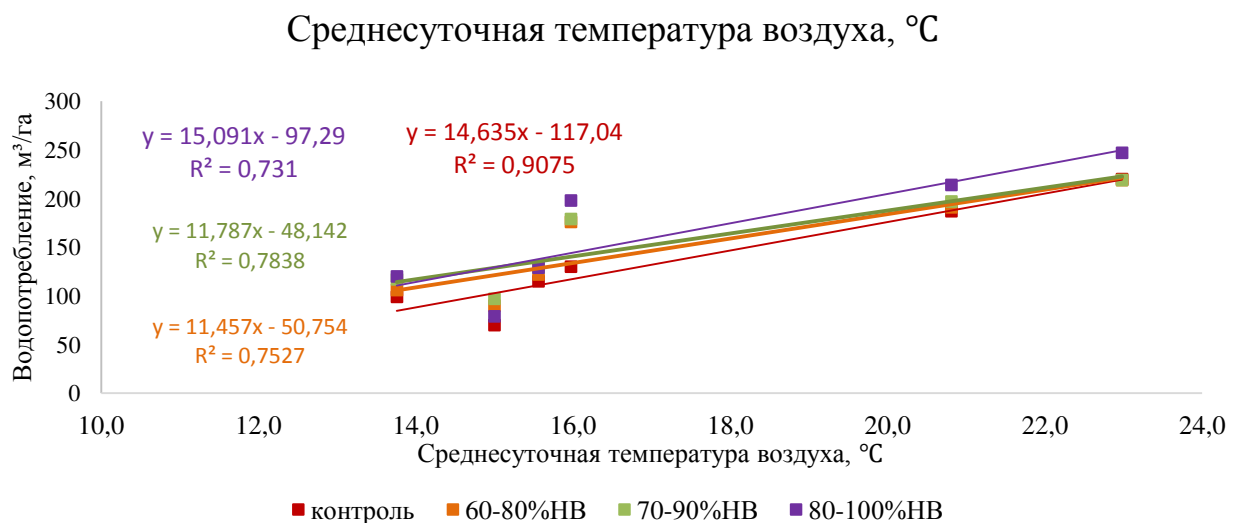


Рисунок 4.30 – Зависимость суммарного водопотребления за декаду от среднесуточной температуры воздуха в III фазе развития в 2023 году

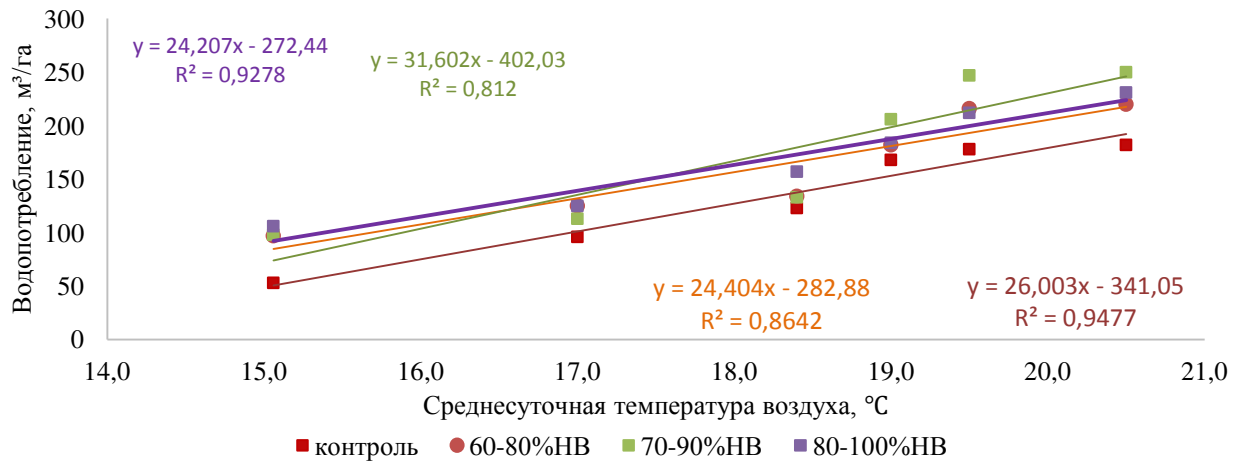


Рисунок 4.31 – Зависимость суммарного водопотребления за декаду от среднесуточной температуры воздуха в III фазе развития в 2024 году

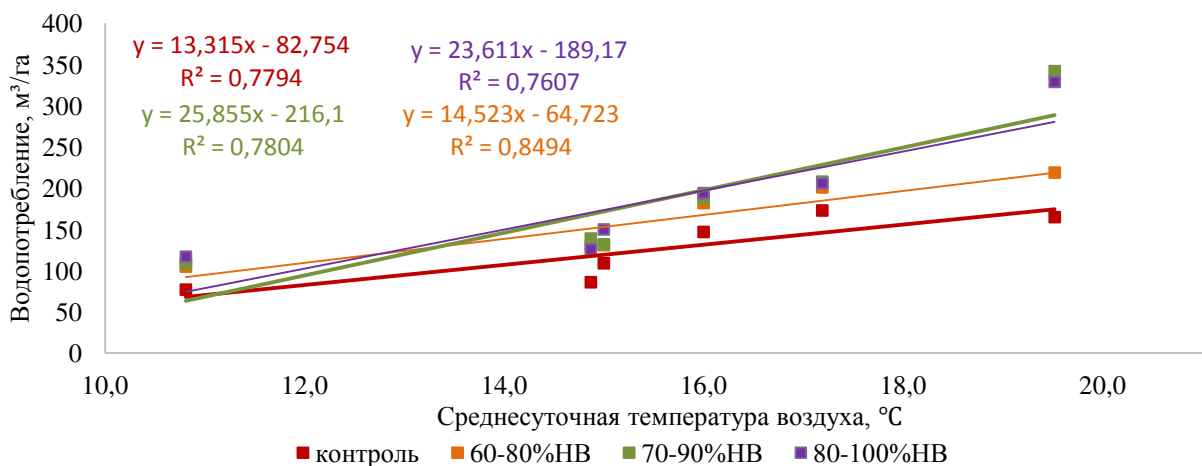


Рисунок 4.32 – Зависимость суммарного водопотребления за декаду от среднесуточной температуры воздуха в III фазе развития в 2025 году

По результатам обработки экспериментальных данных 2023–2025 гг. методом множественного регрессионного анализа получена зависимость водопотребления молодого вишневого сада от температуры воздуха, возраста насаждений и фазы развития растений.

$$E = aT + bA + cF_{\text{плоды}} - dF_{\text{после}} - e \quad (4.11)$$

где: E – декадное водопотребление, м³/га;

T – среднедекадная температура воздуха, °C;

A – возраст сада, лет;

$F_{\text{плоды}}/ F_{\text{после}}$ – код фазы развития растений.

a, b, c, d, e – эмпирические коэффициенты, установленные в результате исследования и изменяющиеся в зависимости от режима орошения и возраста деревьев.

Общая модель будет выглядеть следующим образом:

$$E = 10,22T + 16,81A + 47,65F_{\text{плоды}} - 76,94F_{\text{после}} - 13,53 \quad (4.12)$$

где: E – декадное водопотребление, м³/га;

T – среднедекадная температура воздуха, °С;

A – возраст сада, лет;

$F_{\text{плоды}}/F_{\text{после}}$ – переменные фаз развития растений

Для учета влияния фаз развития растений в модели использованы фиктивные переменные.

Фаза цветения принята в качестве базовой, при которой:

$$F_{\text{плоды}}=0; F_{\text{после}}=0$$

В этом случае водопотребление определяется только температурой воздуха и возрастом насаждений.

Для фазы формирования плодов принималось:

$$F_{\text{плоды}}=1; F_{\text{после}}=0,$$

что обеспечивало увеличение расчетного водопотребления относительно фазы цветения.

Для послеуборочного периода принималось:

$$F_{\text{плоды}}=0; F_{\text{после}}=1,$$

что приводило к снижению расчетного водопотребления вследствие уменьшения транспирационной активности и замедления ростовых процессов.

В общей модели для фазы цветения $F_{\text{плоды}}=0$ и $F_{\text{после}}=0$, тогда модель примет вид:

$$E = 10,22T + 16,81A - 13,53 \quad (4.13)$$

Данная модель отражает зависимость водопотребления вишни за декаду от среднедекадной температуры воздуха и возраста деревьев.

Для расчета водопотребления в фазу созревания плодов $F_{\text{плоды}}=1$ и $F_{\text{после}}=0$, тогда модель будет иметь следующий вид:

$$E = 10,22T + 16,81A + 47,65F_{\text{плоды}} - 13,53 \quad (4.14)$$

В данном случае фазу роста и формирования плодов водопотребление увеличивается по сравнению с фазой цветения.

Для расчета водопотребления в фазу после сбора урожая $F_{\text{плоды}}=0$ и $F_{\text{после}}=1$, тогда модель будет иметь следующий вид:

$$E = 10,22T + 16,81A - 76,94F_{\text{после}} - 13,53 \quad (4.15)$$

В данную фазу водопотребление снижается, транспирационная активность уменьшается, ростовые процессы замедляются.

Таблица 4.14 – Значение эмпирических коэффициентов

Модель	Эмпирические коэффициенты					Коэффициент корреляции, r	Коэффициент детерминации, R^2	Ошибка, %
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>			
Общая	10,22	16,81	47,65	-76,94	-13,53	0,81	0,83	9,42
60-80%НВ	10,62	10,01	37,18	-85,23	19,12	0,95	0,86	8,49
70-90%НВ	11,12	22,21	42,50	-83,41	-47,89	0,92	0,83	9,94
80-100%НВ	9,22	17,48	62,63	-63,20	-11,57	0,95	0,83	9,84

В таблице 4.14 приведены значения эмпирических коэффициентов моделей водопотребления, где:

a– коэффициент при температуре воздуха;

b– коэффициент при возрасте насаждений;

c– коэффициент фазы формирования плодов;

d– коэффициент послеуборочного периода;

e– свободный член уравнения.

Для режима поддержания предполивной влажности почвы 70–90% НВ была разработана частная регрессионная модель декадного водопотребления молодого вишневого сада. В результате обработки экспериментальных данных 2023–2025 гг. получена следующая зависимость:

$$E = 11,12T + 22,21A + 42,50F_{\text{плоды}} - 83,41F_{\text{после}} - 47,89 \quad (4.16)$$

где: E – декадное водопотребление, м³/га;

T – среднедекадная температура воздуха, °С;

A – возраст сада, лет;

$F_{\text{плоды}}/F_{\text{после}}$ – код фазы развития растений.

Коэффициент детерминации модели составил 0,83, что свидетельствует о высокой степени соответствия расчетных и экспериментальных данных.

Установлено, что повышение температуры воздуха на 1°С приводит к увеличению декадного водопотребления на 11,12 м³/га. В фазу формирования плодов водопотребление возрастало на 42,50 м³/га по сравнению с фазой цветения, тогда как после сбора урожая наблюдалось его снижение на 83,41 м³/га.

Сравнение модели и фактических значений водопотребления вишни за 2023–2025 годы представлены на рисунках 4.33–435.

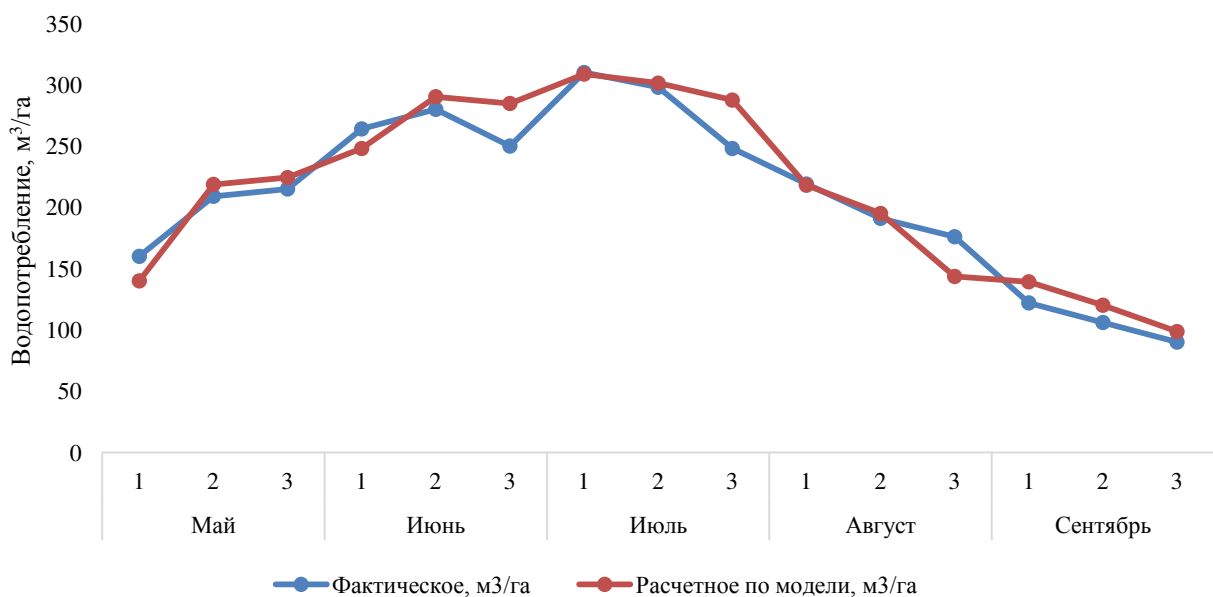


Рисунок 4.33 – Сравнение фактического и расчетного декадного водопотребления молодого вишневого сада при режиме орошения 60–80% НВ (2023 г.)

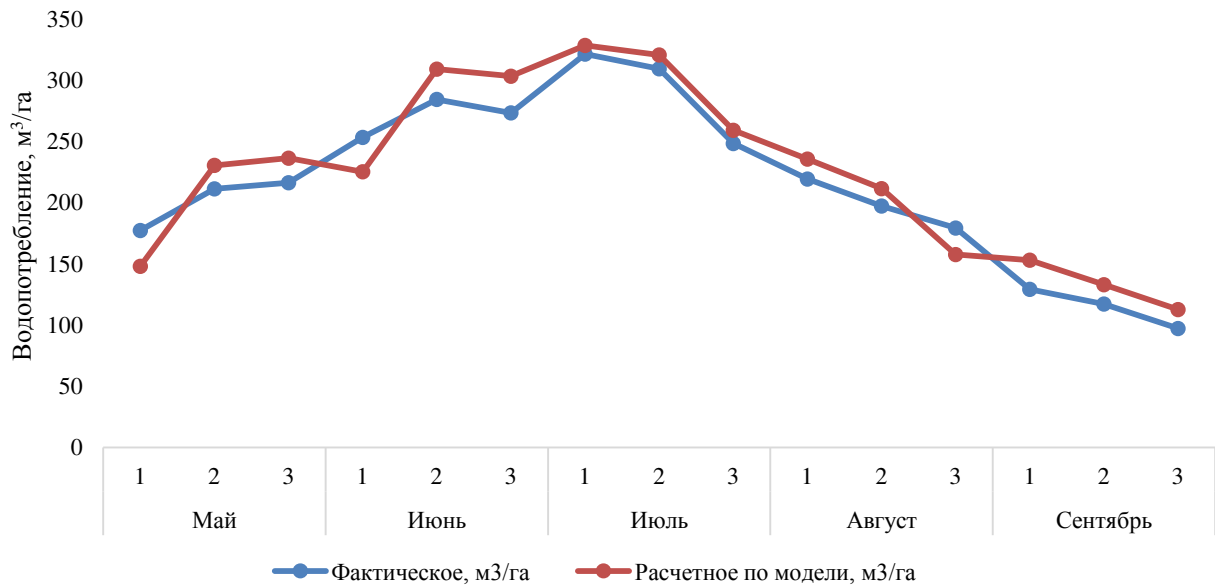


Рисунок 4.34 – Сравнение фактического и расчетного декадного водопотребления молодого вишневого сада при режиме орошения 70–90% НВ (2024 г.)

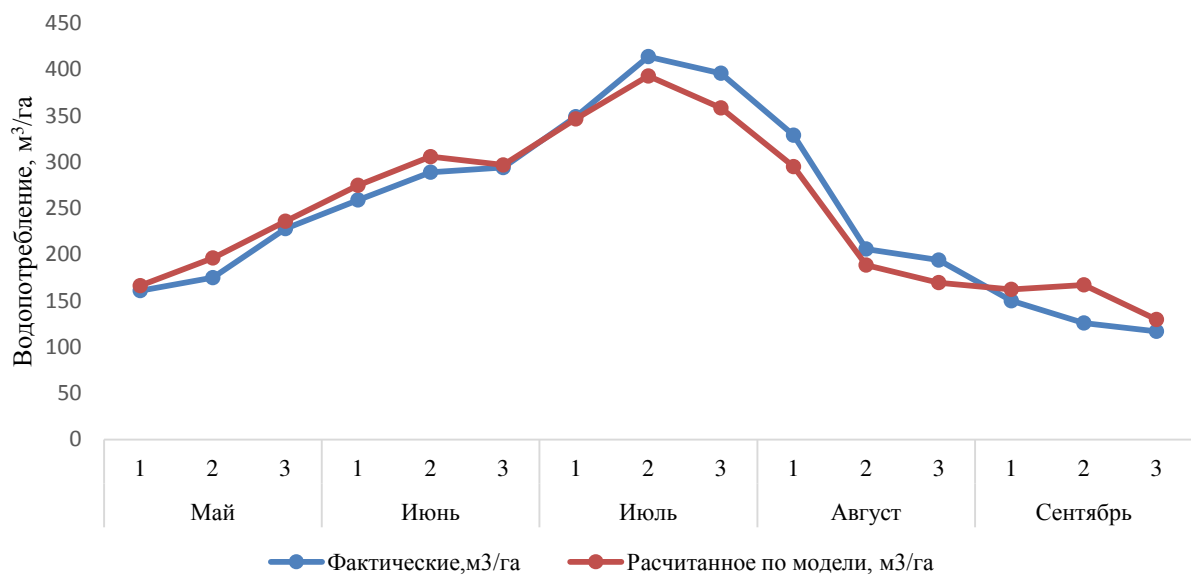


Рисунок 4.35 – Сравнение фактического и расчетного декадного водопотребления молодого вишневого сада при режиме орошения 80–100% НВ (2025 г.)

На рисунке 4.36 представлено соотношение расчетных и фактических значений декадного водопотребления молодого вишневого сада по общей регрессионной модели.

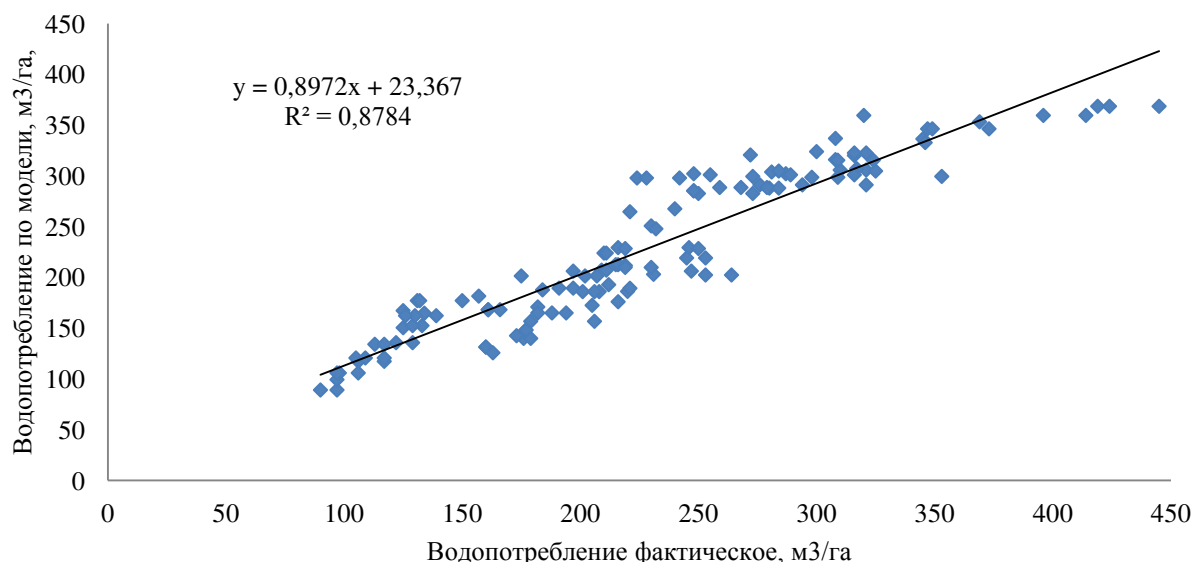


Рисунок 4.36 – Соотношение расчетных и фактических значений декадного водопотребления по общей регрессионной модели

Анализ диаграммы показал наличие устойчивой линейной зависимости между расчетными и экспериментальными данными. Основная часть наблюдений располагается вблизи линии тренда, что свидетельствует о высокой степени соответствия модели фактическому водопотреблению растений. Коэффициент детерминации составил 0,88 что подтверждает высокую объясняющую способность разработанной модели. Отдельные отклонения расчетных значений от фактических обусловлены влиянием природно-климатических и биологических факторов, не включенных в модель, в том числе осадков, влажности воздуха.

Полученные результаты подтверждают возможность использования разработанной регрессионной зависимости для оценки декадного водопотребления молодого вишневого сада при различных режимах капельного орошения.

Разработка как общей, так и частных моделей по отдельным режимам орошения позволила установить особенности формирования водопотребления молодого вишневого сада при различном уровне влагообеспеченности почвы и повысить точность инженерной оценки режимов капельного орошения.

Широкое распространение нашел биоклиматический метод расчета суммарного испарения по дефицитам влажности воздуха, предложенный А.М. Алпатьевым (Алпатьев, 1969) и получивший дальнейшее развитие в работе С. М. Алпатьева (Алпатьев, 1973). По данной зависимости можно определить биоклиматический коэффициент.

$$K_6 = \frac{E}{\sum d} \quad (4.17)$$

где: K_6 – биоклиматический коэффициент;

E – суммарное водопотребление, мм;

$\sum d$ – сумма дефицитов влажности воздуха за расчетный период, мм

Для орошаемых районов рекомендуют постоянные декадные значения K_6 , пользуясь которыми, можно определить E при условии оптимального увлажнения расчетного слоя почвы.

Формула Г.К. Льгова (Льгов, 1979) позволяет рассчитать биофизический коэффициент:

$$K_0 = \frac{E}{\sum t} \quad (4.18)$$

где: K_0 – биофизический коэффициент;

E – водопотребление, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$;

$\sum t$ – сумма среднесуточных температур за расчетный период, $^{\circ}\text{C}$.

И. А. Шаров (Шаров, 1959) предложил метод определения испарения в зависимости от температуры воздуха. По данной формуле можно рассчитать модуль испарения:

$$e = \frac{E}{(\sum t + 4a)} \quad (4.19)$$

где: e – модуль испарения, $\text{м}^3/(\text{га} \cdot ^{\circ}\text{C})$;

E – суммарное испарение, $\text{м}^3/\text{га}$;

$\sum t$ – сумма среднесуточных температур воздуха в течение вегетационного периода за расчетный период, $^{\circ}\text{C}$;

a – число дней вегетационного периода.

Широкое распространение при расчете суммарного испарения в зоне недостаточного увлажнения получила зависимость, предложенная Н. Н. Ивановым (Иванов, 1954). Формула позволяет рассчитать биоклиматический коэффициент:

$$Кб = \frac{E}{10 \cdot \sum E_0} \quad (4.20)$$

где: Кб – биоклиматический коэффициент;

E_0 – испаряемость за расчетный период, мм

$$E_0 = 0,0018 \times (100 - f) \times (25 + t)^2 \times 0,8, \quad (4.21)$$

где: f – среднемесячная относительная влажность воздуха за расчетный период, %;

t – среднемесячная температура воздуха за расчетный период, °С.

Формула получена при работе с испарителями, поэтому для применения ее в полевых условиях Л. А. Молчановым введена поправка 0,8 (Молчанов, 1963).

Но она вряд ли сможет увязать испаряемость с водной поверхностью с испарением с сельскохозяйственного поля. Она сугубо региональна и совершенно не учитывает специфику испарения с сельскохозяйственных полей. На эти недостатки указывали В. С. Мезенцев (1969) и А. Р. Константинов (1986).

Подекадные результаты расчетов биоклиматических коэффициентов по методикам И.А. Шарова, Г.К. Льгова, А.М. и С.М. Алпатьевых, а также Н.Н. Иванова для всех вариантов опыта и лет исследований различной обеспеченности представлены в приложениях 3–5. Визуальное представление динамики рассчитанных коэффициентов отображено на рисунках 4.37–4.40. Анализ полученных данных показал, что максимальные значения коэффициентов в большинстве случаев отмечались в вариантах с поддержанием влажности почвы на уровне 70–90 и 80–100 % НВ. Наиболее высокие значения коэффициентов наблюдались в период наиболее интенсивного роста и формирования плодов – со второй декады июня по первую декаду августа.

При снижении предполивного порога влажности почвы с 80–100 до 70–90 % НВ значения коэффициентов изменялись в среднем на 5–12 %, а при

дальнейшем снижении до 60–80 % НВ – на 5–15 %. В контрольном варианте коэффициенты были ниже по сравнению с орошаемыми вариантами в среднем на 15–35 %, что свидетельствует о снижении интенсивности водообмена растений при недостаточном увлажнении почвы.

С учетом полученных значений биоклиматических коэффициентов, величины суммарного водопотребления и урожайности наиболее эффективным режимом орошения для растений вишни следует считать вариант с поддержанием влажности почвы на уровне 70–90 % НВ, обеспечивающий наиболее рациональное использование водных и тепловых ресурсов растений.

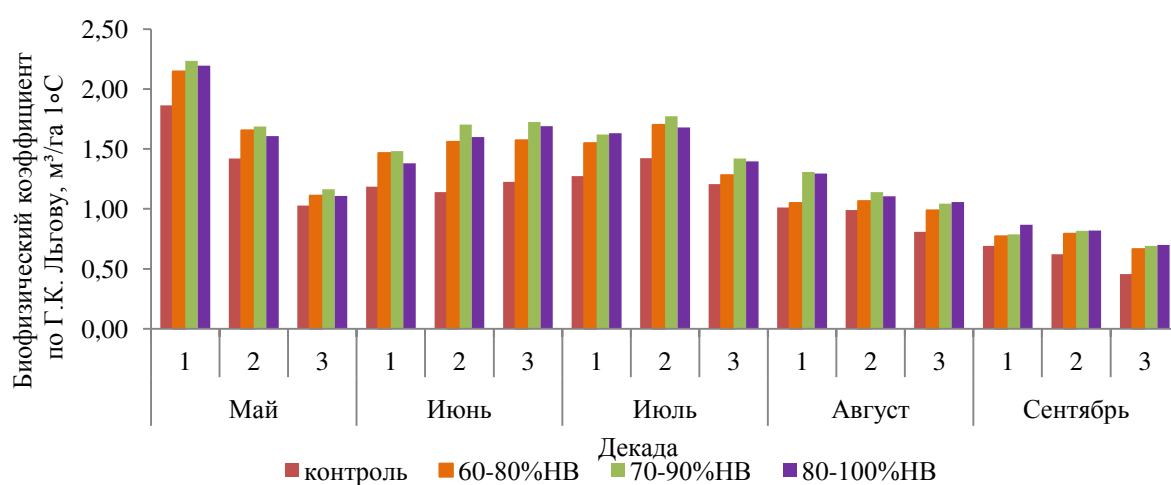


Рисунок 4.37 – Динамика средних значений биофизического коэффициента по Г.К. Льгову за 2023–2025 годы

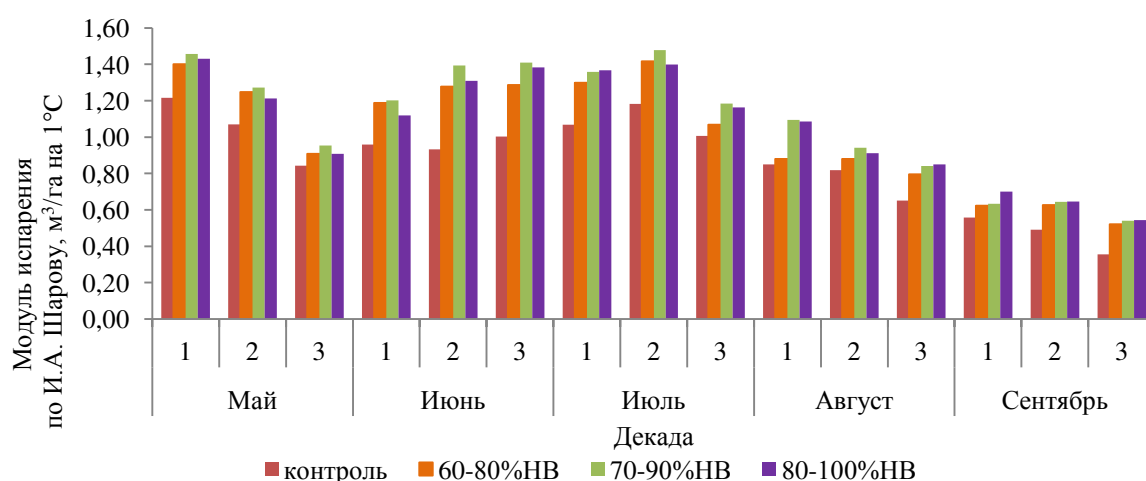


Рисунок 4.38 – Динамика средних значений модуля испарения по И.А. Шарову за 2023–2025 годы

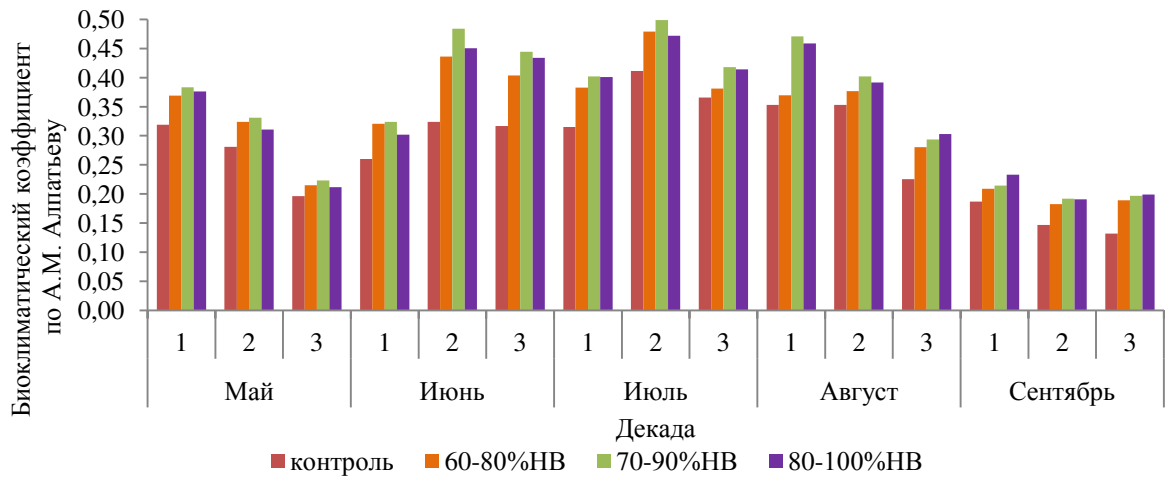


Рисунок 4.39 – Динамика средних значений биоклиматического коэффициента по А.М. Алпатьеву за 2023–2025 годы

В 2023–2025 гг. средние значения модуля испарения по И.А. Шарову в орошаемых вариантах составляли 1,00–1,20 мм/°С, тогда как в контроле — 0,80–0,87 мм/°С. Биофизический коэффициент Г.К. Льгова изменялся в пределах 1,26–1,51 мм/°С в орошаемых вариантах и 1,00–1,14 мм/°С в контроле. Аналогичная закономерность отмечена для коэффициентов А.М. Алпатьева и Н.Н. Иванова, значения которых в условиях орошения были выше в среднем на 10–25 % по сравнению с контролем.

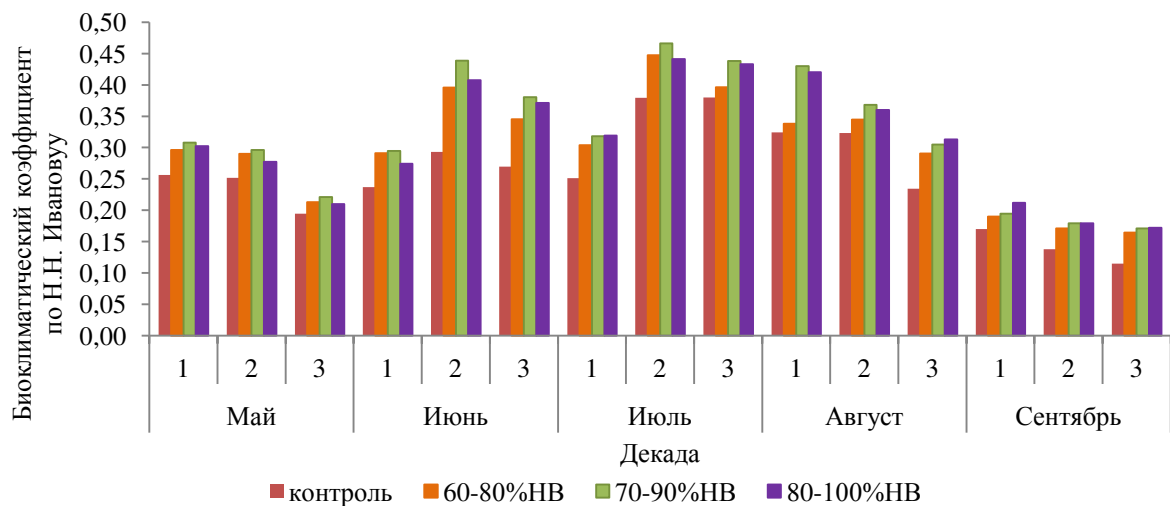


Рисунок 4.40 – Динамика средних значений биоклиматического коэффициента по Н.Н. Иванову за 2023–2025 годы

Таблица 4.15 – Средние значения коэффициентов за 2023 год

Вариант опыта	Средняя	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Модуль испарения И.А. Шарова, мм на 1 °С					
60-80 % НВ	1,00	0,40	1,45	0,32	32,40
70-90 % НВ	1,02	0,43	1,50	0,32	31,13
80-100 % НВ	1,02	0,35	1,41	0,31	29,84
Контроль	0,87	0,31	1,38	0,30	34,22
Биофизический коэффициент Г.К. Льгова, мм на 1 °С					
60-80 % НВ	1,26	0,49	2,10	0,45	35,48
70-90 % НВ	1,29	0,53	2,10	0,44	33,98
80-100 % НВ	1,29	0,43	2,10	0,42	32,66
Контроль	1,10	0,38	1,97	0,42	37,90
Биоклиматический коэффициент А.М. Алпатьева					
60-80 % НВ	0,33	0,14	0,67	0,12	37,92
70-90 % НВ	0,34	0,15	0,70	0,13	37,61
80-100 % НВ	0,34	0,12	0,66	0,12	36,58
Контроль	0,29	0,11	0,64	0,13	42,28
Биоклиматический коэффициент Н.Н. Иванова					
60-80 % НВ	0,30	0,13	0,54	0,10	34,24
70-90 % НВ	0,31	0,14	0,56	0,10	33,74
80-100 % НВ	0,31	0,11	0,53	0,11	34,09
Контроль	0,27	0,10	0,52	0,11	42,07

Таблица 4.16 – Средние значения коэффициентов за 2024 год

Вариант опыта	Средняя	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Модуль испарения И.А. Шарова, мм на 1 °С					
60-80 % НВ	1,00	0,51	1,47	0,30	30,19
70-90 % НВ	1,05	0,51	1,60	0,32	30,72
80-100 % НВ	1,04	0,56	1,56	0,32	30,52
Контроль	0,80	0,28	1,23	0,24	30,23
Биофизический коэффициент Г.К. Льгова, мм на 1 °С					
60-80 % НВ	1,26	0,64	2,31	0,45	35,46
70-90 % НВ	1,32	0,65	2,51	0,48	36,49
80-100 % НВ	1,30	0,70	2,45	0,47	36,43
Контроль	1,00	0,35	1,93	0,37	36,64
Биоклиматический коэффициент А.М. Алпатьева					
60-80 % НВ	0,29	0,11	0,54	0,13	41,52
70-90 % НВ	0,30	0,10	0,55	0,12	39,93
80-100 % НВ	0,30	0,11	0,51	0,12	40,65
Контроль	0,23	0,08	0,37	0,09	40,27
Биоклиматический коэффициент Н.Н. Иванова					
60-80 % НВ	0,27	0,11	0,51	0,11	41,01
70-90 % НВ	0,28	0,10	0,52	0,12	40,19
80-100 % НВ	0,27	0,11	0,48	0,10	37,87
Контроль	0,21	0,07	0,34	0,08	37,49

Таблица 4.17 – Средние значения коэффициентов за 2025 год

Вариант опыта	Средняя	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Модуль испарения И.А. Шарова, мм на 1 °С					
60-80 % НВ	1,08	0,64	1,56	0,31	28,44
70-90 % НВ	1,20	0,65	1,66	0,37	30,39
80-100 % НВ	1,15	0,67	1,58	0,32	27,55
Контроль	0,80	0,46	1,30	0,29	36,67
Биофизический коэффициент Г.К. Льгова, мм на 1 °С					
60-80 % НВ	1,35	0,80	2,03	0,41	30,05
70-90 % НВ	1,51	0,81	2,10	0,46	30,72
80-100 % НВ	1,44	0,85	2,03	0,40	27,81
Контроль	1,14	0,58	1,69	0,39	33,91
Биоклиматический коэффициент А.М. Алпатъева					
60-80 % НВ	0,32	0,14	0,53	0,12	36,92
70-90 % НВ	0,35	0,15	0,67	0,16	41,52
80-100 % НВ	0,34	0,15	0,65	0,14	40,74
Контроль	0,27	0,13	0,46	0,12	39,69
Биоклиматический коэффициент Н.Н. Иванова					
60-80 % НВ	0,33	0,14	0,47	0,10	31,74
70-90 % НВ	0,37	0,16	0,62	0,15	39,14
80-100 % НВ	0,36	0,15	0,59	0,13	37,46
Контроль	0,28	0,11	0,40	0,10	35,92

Анализ статистических показателей биоклиматических коэффициентов (таблицы 4.15-4.17) показал, что значения коэффициентов характеризовались средней и повышенной степенью вариабельности. Коэффициенты вариации в большинстве случаев находились в пределах 27-42 %, что свидетельствует о существенном влиянии погодных условий, фаз развития растений и режима увлажнения почвы на процессы водопотребления и испарения. Наибольшая изменчивость отмечалась для коэффициентов, рассчитываемых по методике А.М. Алпатъева, что связано с высокой чувствительностью показателя к изменению дефицита влажности воздуха.

Выводы по главе

1. За все годы исследований при поддержании влажности почвы в пределах 60–80 % НВ оросительная норма была наименьшей и составляла 690,10; 559,60 и 440,70 м³/га в 2023, 2024 и 2025 гг. соответственно. Число поливов при этом режиме изменялось от 14 до 15 за сезон, а межполивной период достигал 8–10 дней. При режиме 70–90 % НВ оросительная норма

возрастала до 896,9; 732,90 и 524,60 м³/га по годам исследования, а число поливов увеличивалось до 15–19 за сезон. Межполивной период сокращался до 6–7 дней. Наибольшие значения оросительной нормы отмечены при режиме 80–100 % НВ, где она достигала 1185,6–1127,1 м³/га в 2023–2024 гг. и снижалась до 778,6 м³/га в 2025 г. При этом число поливов увеличивалось до 19–28 за сезон, а межполивной период сокращался до 5 дней. Проведение систематических поливов малыми нормами обеспечило поддержание влажности почвы на заданных условиях опыта уровнях.

2. Максимальные различия по величине запасов продуктивной влаги в пределах корнеобитаемого слоя установлены при сопоставлении режима 80–100 % НВ с контрольным вариантом, где поливы не проводились. Применение капельного орошения обеспечивало более устойчивую влагообеспеченность растений: на протяжении всего периода исследований количество продуктивной влаги в почве на орошаемых вариантах сохранялось на уровне не менее 600 м³/га.

3. Установлено, что параметры формирующихся контуров увлажнения при капельном орошении существенно зависят от диапазона поддерживаемой влажности почвы. В условиях дерново-подзолистых почв Центрального Нечерноземья режим 70–90% НВ может рассматриваться как наиболее сбалансированный, обеспечивающий формирование достаточного объёма увлажнённой почвы и интенсивное развитие корневой системы при более рациональном использовании оросительной воды по сравнению с режимом 80–100% НВ.

4. Водопотребление деревьев вишни зависело от условий увлажнения, погодных факторов и фазы активного роста растений. Максимальные значения приходились на летний период, характеризующийся наиболее высокой температурой воздуха и интенсивным развитием растений. На основании зависимости водопотребления молодых деревьев вишни от среднедекадной температуры воздуха, возраста и фазы развития растения получена модель расчета водопотребления молодого вишневого сада. Наиболее высокие значения

биоклиматических коэффициентов наблюдались в период наиболее интенсивного роста и формирования плодов – со второй декады июня по первую декаду августа.

ГЛАВА V. БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОЛОДОГО ВИШНЕВОГО САДА

5.1. Развитие надземной части вишни

Капельное орошение обеспечивает локальное увлажнение зоны размещения корней, снижает потери воды на испарение и фильтрацию, а также позволяет оперативно регулировать водный режим растений в зависимости от погодных условий и фазы развития. Установлено, что поддержание предполивной влажности в диапазонах 60–80, 70–90 и 80–100% НВ позволяет формировать различные уровни водообеспеченности растений и объективно оценивать их реакцию на дефицит или избыток влаги (Куликов с соавт., 2024). Такой подход особенно важен при многолетних наблюдениях, поскольку делает возможным сопоставление результатов по годам с различными гидротермическими условиями.

В ряде работ показано, что водный режим почвы оказывает существенное влияние на высоту деревьев, диаметр штамба и интенсивность прироста побегов (Дубенок с соавт., 2025; Мелихова, 2019; Кружилин с соавт., 2021). Диаметр ствола широко применяются для оценки силы роста деревьев и степени их обеспеченности влагой, особенно в молодых садах (Дубенок с соавт., 2021).

Особое значение в формировании продуктивности имеет состояние листового аппарата. По данным отечественных авторов, дефицит почвенной влаги приводит к уменьшению размеров листьев, снижению площади ассимиляционной поверхности и, как следствие, к ослаблению фотосинтетической активности растений (Кружилин, 2008). При оптимальном водном режиме, напротив, отмечается формирование более крупных листьев и увеличение суммарной листовой поверхности, что положительно отражается на росте и развитии плодовых деревьев (Шуравилин с соавт., 2011; Кружилин с соавт., 2021, Perez-Pastor, 2019).

Сортовые особенности вишни также оказывают влияние на величину биометрических показателей. Согласно описаниям, сорт Молодёжная

характеризуется умеренной силой роста и относительно компактной кроной, тогда как сорт Волочаевка относится к более сильнорослым и формирует более мощный вегетативный аппарат. В то же время, при одинаковых условиях выращивания реакция различных сортов на улучшение водного режима носит сходный характер, выражаясь в увеличении размеров листьев, высоты деревьев и диаметра ствола (Григоров с соавт., 2007).



Рисунок 5.1 – Определение площади листовой поверхности при помощи электронного планиметра Planix

Ряд исследований, выполненных в условиях Центрального Нечерноземья, показывает, что максимальные биометрические показатели не всегда достигаются при поддержании влажности на уровне 80–100% НВ. В некоторых случаях оптимальным по сочетанию интенсивности роста и рационального использования воды выделяется режим 70–90% НВ, обеспечивающий близкие к максимальным значения высоты и диаметра ствола при меньших затратах оросительной воды (Куликов с соавт., 2024; Григоров с соавт., 2007). Это указывает на необходимость детального анализа закономерностей влияния различных режимов

капельного орошения на рост и развитие молодых деревьев вишни с учётом сортовых особенностей и погодных условий года.

На рисунках 5.2–5.4 представлены сравнительные результаты исследования по изучению влияния режима орошения на высоту растения, площади листовой поверхности и диаметр ствола по сортам «Молодежная» и «Волочаевка» за все годы исследования (рисунок 5.1).

Таблица 5.1 – Параметры деревьев вишни сорта «Молодежная» и «Волочаевка» по вариантам опыта в 2023 году

Режим орошения	Высота ствола, см	Площадь листовой поверхности, см ²	Диаметр растения, мм
Волочаевка			
60-80% НВ	86	652	12,3
70-90% НВ	94	720	15,0
80-100% НВ	92	755	13,6
Контроль (без орошения)	84	600	13,8
НСР _{0,05} (по режиму)	2,98	43,40	1,03
Молодежная			
60-80% НВ	90	540	13,3
70-90% НВ	94	630	14,7
80-100% НВ	92	615	13,8
Контроль (без орошения)	78	550	11,8
НСР _{0,05} (по режиму)	6,80	25,78	2,93
НСР _{0,05} (по сорту)	3,24	35,06	0,89

Анализ биометрических показателей деревьев вишни сортов «Волочаевка» и «Молодёжная» в 2023 г. (таблица 5.1) показал чёткую зависимость роста и развития растений от режима капельного орошения. В варианте опыта 70–90%НВ поддержание регулируемого водного режима способствовало улучшению ростовых показателей по сравнению с контролем без орошения. Однако, при поддержании влажности почвы в пределах 60–80%НВ и 80–100%НВ диаметр растения был ниже, чем на контроле (Дубенок с соавт., 2026^а).

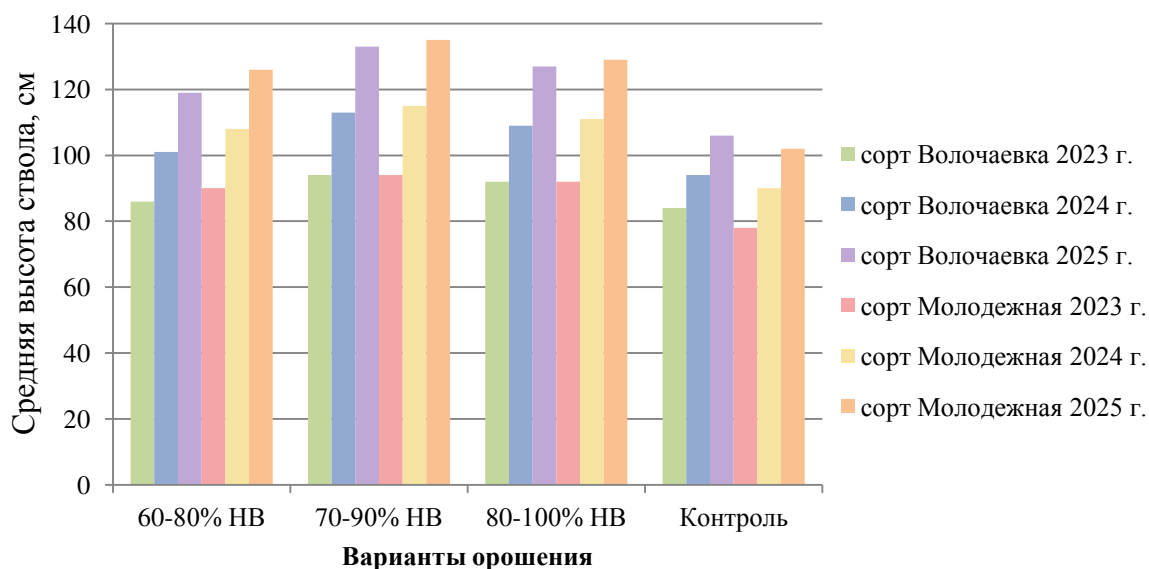


Рисунок 5.2 – Средняя высота ствола деревьев вишни сорта «Молодежная» и «Волочаевка» по вариантам опыта

У сорта «Волочаевка» наибольшая высота главного ствола (94 см) и диаметр у корневой шейки (15,0 мм) отмечены при поддержании влажности почвы на уровне 70-90% HB, что свидетельствует о формировании оптимальных условий водообеспеченности для вегетативного роста. При режиме 80–100% HB высота ствола была несколько ниже (92 см), а диаметр уменьшался до 13,6 мм. Вариант 60–80% HB обеспечивал промежуточные значения показателей, тогда как в контроле фиксировались минимальные значения высоты (84 см) и площади листовой поверхности (600 см²).

У сорта «Молодёжная» максимальные значения высоты ствола (94 см), площади листовой поверхности (630 см²) и диаметра растения (14,7 мм) получены при режиме 70–90% HB. В условиях увлажнения при режиме 80–100% HB биометрические показатели несколько снижались, а при ограниченном увлажнении (60-80% HB) занимали промежуточное положение. В контроле без орошения отмечалось существенное снижение всех параметров, особенно высоты ствола (78 см) и диаметра растения (11,8 мм).

Площадь листовой поверхности у обоих сортов возрастала с улучшением водообеспеченности, достигая максимальных значений при режимах 70–90% HB

и 80–100% НВ, что свидетельствует об активном формировании ассимиляционного аппарата при достаточном увлажнении почвы.

В 2023 году на основании расчёта $НСР_{0,05}$ установлено достоверное влияние режима капельного орошения на биометрические показатели деревьев вишни. Для сорта Волочаевка $НСР_{0,05}$ по режиму орошения составила 3,0 см по высоте ствола, 43,4 см² по площади листовой поверхности (сумма по 30 листьям) и 1,03 мм по диаметру растения. Это свидетельствует о высокой чувствительности сорта к изменению условий увлажнения, особенно по высоте и ассимиляционной поверхности.

У сорта Молодёжная величина $НСР_{0,05}$ по режиму орошения была выше и составила 6,8 см по высоте ствола, 25,8 см² по площади листовой поверхности и 2,93 мм по диаметру растения, что указывает на больший внутривариантный разброс и реакцию сорта на изменение режимов увлажнения. В целом в 2023 году различия между орошаемыми вариантами и контролем по большинству показателей превышали значения $НСР_{0,05}$, что подтверждает статистическую значимость эффекта капельного орошения.

Таблица 5.2 – Параметры деревьев вишни сорта «Молодежная» и «Волочаевка» по вариантам опыта в 2024 году

Режим орошения	Высота ствола, см	Площадь листовой поверхности, см ²	Диаметр растения, мм
Волочаевка			
60-80% НВ	101	691	15,0
70-90% НВ	113	792	18,9
80-100% НВ	109	815	16,9
Контроль (без орошения)	94	618	15,9
$НСР_{0,05}$ (по режиму)	5,41	39,55	1,23
Молодежная			
60-80% НВ	108	572	16,5
70-90% НВ	115	693	18,8
80-100% НВ	111	664	17,4
Контроль (без орошения)	90	566	13,9
$НСР_{0,05}$ (по режиму)	6,10	31,93	0,91
$НСР_{0,05}$ (по сорту)	5,30	33,04	1,00

В 2024 г. у деревьев вишни сортов «Волочаевка» и «Молодёжная» сохранялась выраженная зависимость биометрических показателей от режима капельного орошения. Как и в 2023 г., наибольшие значения высоты ствола и диаметра у корневой шейки у обоих сортов были отмечены при поддержании влажности почвы на уровне 70-90% НВ, что подтверждает оптимальность данного режима орошения.

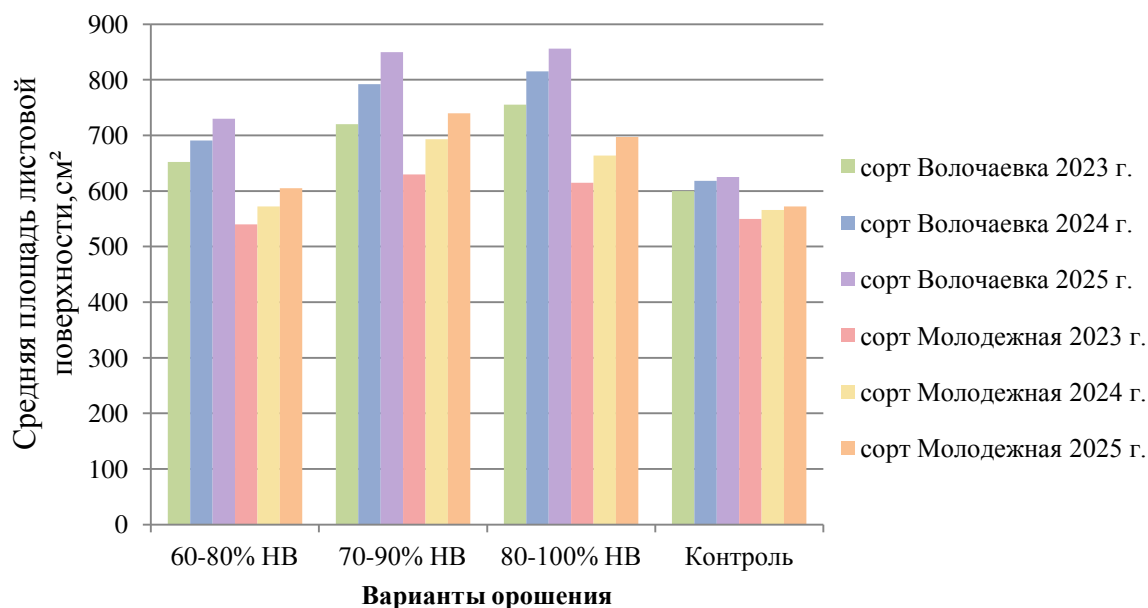


Рисунок 5.3 – Средняя площадь листовой поверхности деревьев вишни сорта «Молодежная» и «Волочаевка» по вариантам опыта

У сорта «Волочаевка» при режиме 70–90% НВ высота ствола достигала 113 см, диаметр растения — 18,9 мм, что превышало показатели 2023 г. на 19 см и 3,9 мм соответственно. Площадь листовой поверхности также увеличилась по сравнению с предыдущим годом, особенно в вариантах с орошением, что свидетельствует об усилении ассимиляционной деятельности растений. В контроле без орошения прирост показателей был менее выраженным.

Аналогичная тенденция отмечена у сорта «Молодёжная». В 2024 г. максимальные значения высоты ствола (115 см), площади листовой поверхности (693 см²) и диаметра растения (18,8 мм) также зафиксированы при режиме 70–90% НВ, что превышает соответствующие показатели 2023 г. При режиме 80–

100% НВ значения биометрических показателей были несколько ниже, а в контроле сохранялись минимальными.

Таблица 5.3 – Параметры деревьев вишни сорта «Молодежная» и «Волочаевка» по вариантам опыта в 2025 году

Режим орошения	Высота ствола, см	Площадь листовой поверхности, см ²	Диаметр растения, мм
Волочаевка			
60-80% НВ	119	730	23,0
70-90% НВ	133	850	27,9
80-100% НВ	127	856	24,9
Контроль (без орошения)	106	625	20,9
НСР _{0,05} (по режиму)	6,17	36,6	1,13
Молодежная			
60-80% НВ	126	605	24,5
70-90% НВ	135	740	27,8
80-100% НВ	129	697	25,4
Контроль (без орошения)	102	572	19,9
НСР _{0,05} (по режиму)	6,19	31,85	1,04
НСР _{0,05} (по сорту)	6,19	31,8	1,00

В 2025 г. у деревьев вишни сортов «Волочаевка» и «Молодёжная» отмечено дальнейшее увеличение всех биометрических показателей, что связано как с возрастным развитием растений (6-й год), так и с действием регулируемого водного режима. Как и в предыдущие годы, наибольшие значения высоты ствола и диаметра у корневой шейки у обоих сортов были зафиксированы при режиме капельного орошения 70–90% НВ.

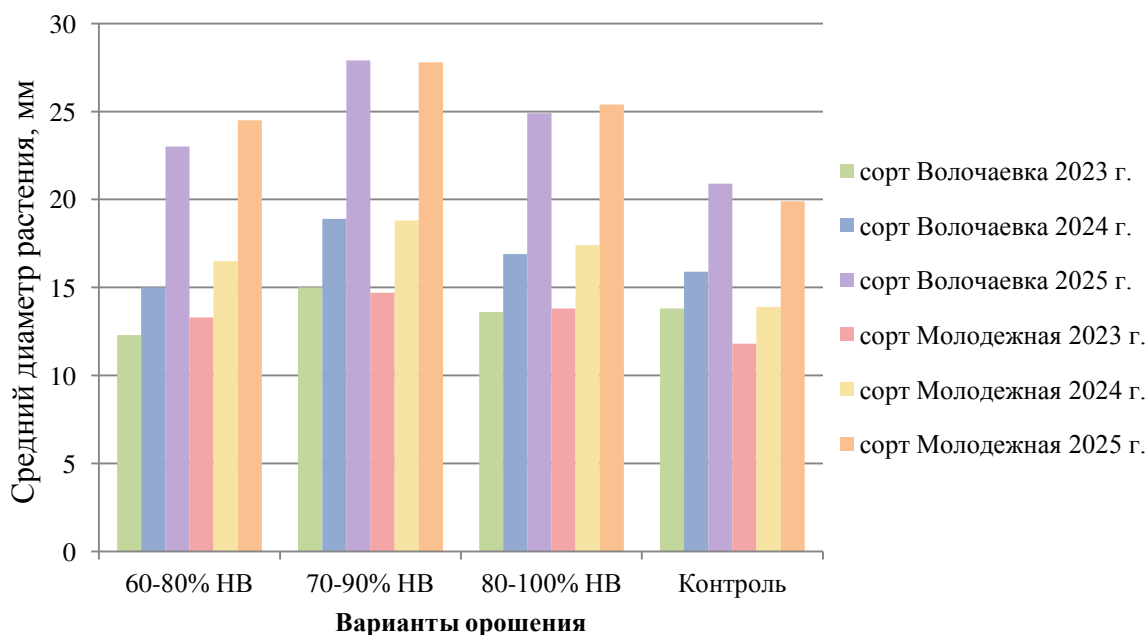


Рисунок 5.4 – Средний диаметр деревьев вишни сорта «Молодежная» и «Волочаевка» по вариантам опыта

У сорта «Волочаевка» при режиме 70–90% НВ высота ствола достигала 133 см, диаметр растения — 27,9 мм, что превышало показатели вариантов 60–80% НВ и 80–100% НВ. Площадь листовой поверхности была максимальной при режимах 70–90% НВ (850 см²) и 80–100% НВ (856 см²), однако при более высоком уровне увлажнения не наблюдалось дополнительного прироста диаметра ствола. В контроле без орошения отмечались минимальные значения всех показателей.

Аналогичная закономерность выявлена у сорта «Молодёжная». Максимальные показатели высоты ствола (135 см), площади листовой поверхности (740 см²) и диаметра растения (27,8 мм) получены при режиме 70–90% НВ. При режиме 80–100% НВ значения биометрических показателей были несколько ниже, а в контроле без орошения сохранялись на минимальном уровне.

Сравнительный анализ данных за три года показал зависимость биометрических показателей вишни от режима капельного орошения. Контроль (без орошения) во все годы характеризовался наименьшими значениями высоты ствола, диаметра у корневой шейки и площади листовой поверхности. Дефицит влаги ограничивал ростовые процессы, особенно в годы с неравномерным

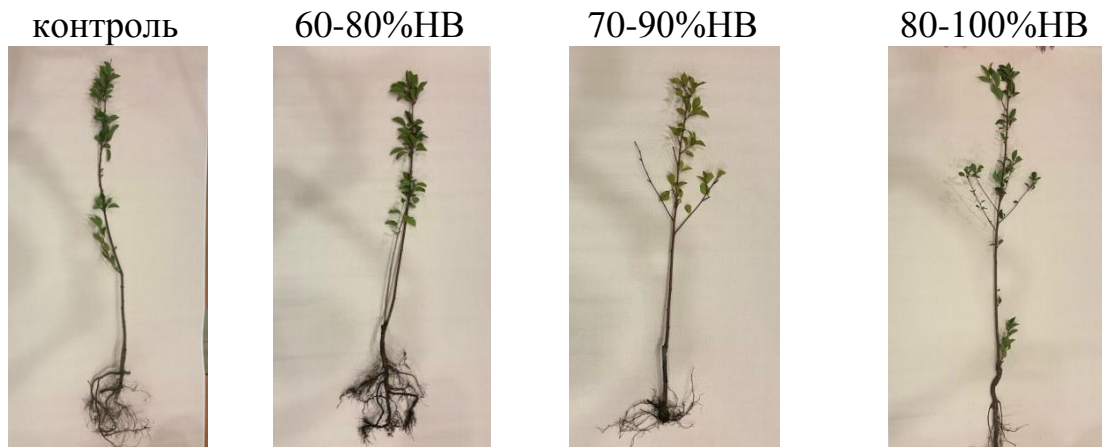
распределением осадков. Режим 60–80% НВ обеспечивал улучшение биометрических показателей по сравнению с контролем, однако рост деревьев оставался менее интенсивным, чем при более высоких процентах наименьшей влагоемкости. Режим 70–90% НВ на протяжении всех трёх лет являлся наиболее оптимальным, обеспечивая максимальные или близкие к максимальным значения высоты ствола, диаметра у корневой шейки и площади листовой поверхности у обоих сортов. Данный режим отличался наилучшим сочетанием активного вегетативного роста и формирования ассимиляционного аппарата. Режим 80–100% НВ способствовал увеличению площади листовой поверхности. У сорта вишни «Молодежная» площадь листовой поверхности превышает данный параметр по сравнению с сортом «Волочаевка», однако режим 80–100% НВ не обеспечивал пропорционального увеличения диаметра ствола и высоты растений по сравнению с режимом 70–90% НВ, что указывает на отсутствие дополнительного положительного эффекта данного режима орошения.

5.2. Развитие корневой системы вишни

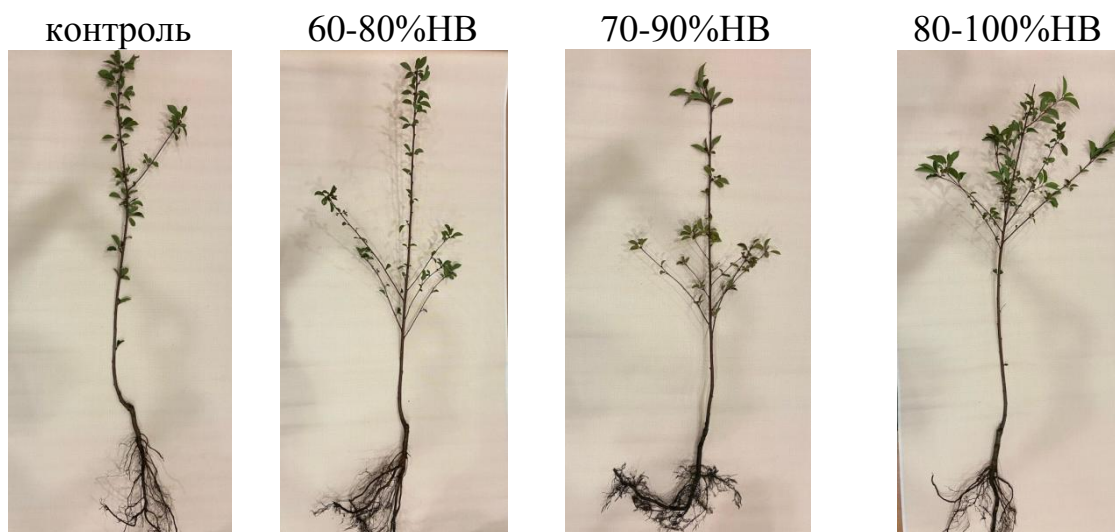
Корневая система плодовых культур отличается высокой пластичностью и активно реагирует на изменение условий увлажнения почвы. Установлено, что при капельном орошении основная масса активных корней концентрируется в зоне локального увлажнения, при этом объём и разветвлённость корневой системы увеличиваются по мере повышения уровня предполивной влажности (Овчинников с соавт., 2016; Шуравилин с соавт., 2012). Это особенно важно для молодых насаждений, у которых формирование мощной корневой системы определяет дальнейшую устойчивость растений к стрессовым факторам.

Определение объема корневой системы вишни производился по методу Сабинина и Колосова (Беловолова с соавт., 2019) при помощи цилиндрического сосуда. Результаты определения среднего объема корневой системы вишни по вариантам опыта в 2023–2025 году представлены в таблице 5.4 и графически отражены на рисунке 5.6.

2023 г.



2024 г.



2025 г.



Рисунок 5.5 – Деревья молодого вишневого сада при разных режимах орошения в
годы исследования

Таблица 5.4 – Средний объем корневой системы вишни по вариантам опыта в 2023–2025 г.

Режим орошения	Средний объем корневой системы в 2023 г., см ³	Средний объем корневой системы в 2024 г., см ³	Средний объем корневой системы в 2025 г., см ³
60-80% НВ	875	981	1103
70-90% НВ	941	1036	1132
80-100% НВ	1074	1172	1294
Контроль (без орошения)	687	763	827
НСР _{0,05} (по режиму)	25,59	27,91	31,08

Степень увлажнения почвы и распределения влаги по почвенному контуру оказывают влияние на биометрические показатели развития корневой системы вишни (таблица 5.4). Полученные данные свидетельствуют о выраженной зависимости формирования корневой системы от уровня влагообеспеченности. Во все годы исследований максимальный объем корней формировался при наиболее высоком режиме увлажнения (80–100% НВ). Вариант 70–90% НВ также обеспечивал интенсивное развитие корневой системы и лишь незначительно уступал режиму 80–100% НВ. При снижении влажности до 60–80% НВ наблюдалось уменьшение объема корней, однако показатели существенно превышали контроль. Минимальные значения во все годы отмечены на контроле, что подтверждает лимитирующее влияние дефицита влаги на рост корневой системы.

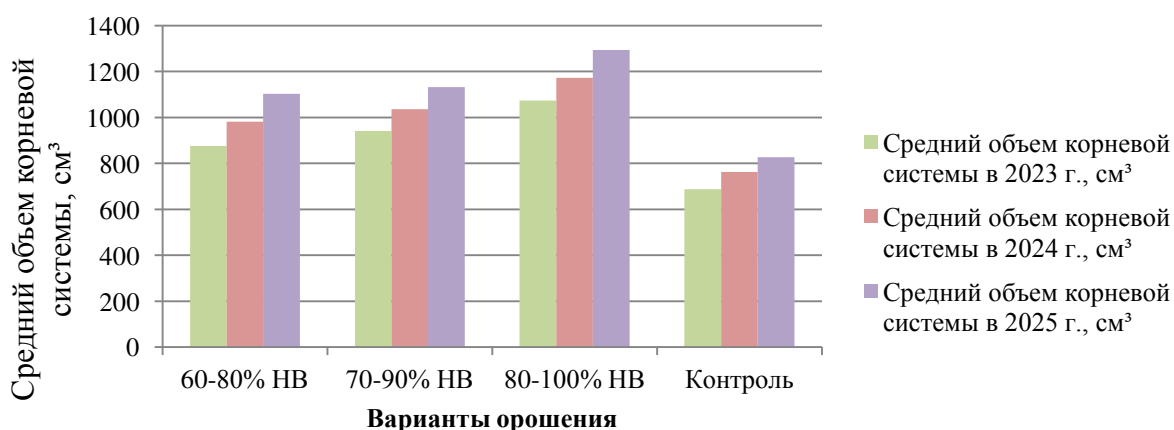


Рисунок 5.6 – Средний объем корневой системы вишни по вариантам опыта

Статистический анализ подтвердил достоверность выявленных различий. Наименьшая существенная разница ($НСР_{0,05}$) составила 25,6 см³ в 2023 г., 27,9 см³ в 2024 г. и 31,1 см³ в 2025 г. Различия между вариантами орошения превышали соответствующие значения $НСР_{0,05}$ во все годы исследований, что свидетельствует о статистически значимом влиянии режима капельного орошения на объём корневой системы вишни ($p \leq 0,05$).

Выводы по главе

1. В условиях Центрального Нечерноземья режим капельного орошения оказывал определяющее влияние на формирование водного режима почвы и, как следствие, на рост и развитие молодых деревьев вишни сортов Волочаевка и Молодёжная.

2. Поддержание влажности почвы в диапазоне 70–90 % НВ обеспечивало наиболее благоприятные условия для роста растений, что проявлялось в максимальных значениях высоты ствола, площади листовой поверхности и диаметра штамба у обоих сортов. Режим 80–100 % НВ также способствовал улучшению биометрических показателей по сравнению с контролем, однако в ряде случаев уступал оптимальному режиму 70–90 % НВ. При режиме 60–80 % НВ положительный эффект капельного орошения сохранялся, но выраженность реакции растений была менее значительной. Контрольный вариант без орошения во все годы исследований характеризовался минимальными значениями изучаемых показателей, что подтверждает ограничивающее влияние недостатка влаги на ростовые процессы.

3. Объём корневой системы вишни во все годы исследований увеличивался по мере повышения уровня увлажнения почвы. Максимальные значения показателя отмечены при режиме 80–100 % НВ (до 1294 см³ в 2025 г.), минимальные – на контроле без орошения.

ГЛАВА VI. УРОЖАЙНОСТЬ И БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛОДОВ ВИШНИ

6.1. Урожайность вишни сортов «Волочаевка» и «Молодежная»

Урожайность является одним из основных показателей эффективности возделывания вишни (*Prunus cerasus* L.) и определяется биологическими особенностями сорта, условиями выращивания и уровнем агротехники.

В условиях Центрального региона России урожайность вишни значительно варьирует по годам в зависимости от погодных условий. По данным Г.Ю. Упадышевой, в благоприятные годы потенциал продуктивности сортов реализуется на высоком уровне, обеспечивая урожайность 7,0–9,0 т/га. Однако неблагоприятные зимние условия и повреждение цветковых почек могут приводить к резкому снижению урожая, что подчеркивает необходимость разработки приемов, направленных на стабилизацию водного режима растений и повышение их устойчивости к стрессовым факторам (Упадышева, 2017).

Исследования, проведенные в условиях южного садоводства России, показали, что продуктивность современных сортов вишни существенно зависит от адаптивности растений к абиотическим стрессам. Так, по данным Т.А. Копниной и Р.Ш. Заремука, наиболее высокой и стабильной урожайностью характеризовались сорта Ивановна и Ходоса, средняя урожайность которых за период исследований составила 15,7 кг с дерева или около 10,5 т/га. Авторами установлена тесная связь урожайности с количеством выпадающих осадков ($r = 0,87$), что подтверждает высокую чувствительность культуры к водообеспеченности насаждений (Копнина, 2023).

После сбора урожая (рисунок 6.1) и расчета показателей, отраженных в таблице 6.1, были получены результаты по динамике средней массы одного плода, средней массы плодов с одного дерева и урожайность деревьев вишни по каждому сорту с 2023 по 2025 год. Определение средней массы одного плода и средней массы плодов с одного дерева производилось в трехкратной повторности.



Рисунок 6.1 – Сбор плодов вишни на опытном участке

Таблица 6.1– Характеристика урожайности вишни «Волочаевка» и «Молодежная»

Режим орошения	Средняя масса одного плода, г			Средняя масса плодов с одного дерева, кг			Урожайность на 1 га, т		
	сорт Волочаевка								
	2023	2024	2025	2023	2024	2025	2023	2024	2025
60-80% НВ	3,5	4,0	3,8	2,0	3,2	4,0	10,3	16,5	20,6
70-90% НВ	3,9	4,4	4,2	2,5	3,8	4,7	12,9	19,5	24,2
80-100% НВ	4,1	4,9	4,5	2,3	3,5	4,3	11,8	18,0	22,1
Контроль (без орошения)	3,0	3,3	3,2	1,2	2,0	2,7	6,2	10,3	13,9
НСР _{0,05}	0,13	0,19	0,17	0,32	0,24	0,23	-		
	сорт Молодежная								
60-80% НВ	4,0	4,5	4,3	2,4	3,6	4,5	12,3	18,5	23,1
70-90% НВ	4,5	5,0	4,8	3,0	4,5	5,3	15,4	23,1	27,3
80-100% НВ	4,7	5,3	5,0	2,7	4,0	5,0	13,9	20,6	25,7
Контроль (без орошения)	3,3	3,6	3,5	1,5	2,5	3,0	7,7	12,9	15,4
НСР _{0,05}	0,15	0,16	0,16	0,29	0,25	0,22	-		

Анализ урожайности сортов Волочаевка и Молодёжная в 2023–2025 годах показал устойчивую зависимость продуктивности от режима орошения (таблица 6.1). В среднем у сорта Волочаевка урожайность в 2023 году составила 11,8–12,9 т/га при орошении и 6,2 т/га без полива; в 2024 году — 16,5–19,5 т/га при

поливе и около 10,3 т/га в контроле; в 2025 году — до 24,2 т/га при режиме 70–90 % НВ и не более 13,9 т/га без орошения. У сорта Молодёжная показатели были выше: в 2023 году урожайность достигала 13,9–15,4 т/га при орошении и около 7,7 т/га в контроле; в 2024 году — 18,5–23,1 т/га при поливе и 12,9 т/га без него; в 2025 году — до 27,3 т/га при 70–90 % НВ и около 15,4 т/га без орошения.

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась методом однофакторного дисперсионного анализа с последующим определением наименьшей существенной разности ($НСР_{0,05}$). Для сорта Волочаевка величина $НСР_{0,05}$ по средней массе одного плода составила 0,13–0,19 г, а по средней массе плодов с одного дерева — 0,23–0,32 кг. Для сорта Молодежная значения $НСР_{0,05}$ по средней массе плода находились в пределах 0,15–0,16 г, а по средней массе плодов с одного дерева — 0,22–0,29 кг. Сопоставление фактических различий между вариантами опыта с величинами $НСР_{0,05}$ показало, что увеличение средней массы плода и массы плодов с одного дерева при применении различных режимов орошения по сравнению с контролем носило статистически достоверный характер.

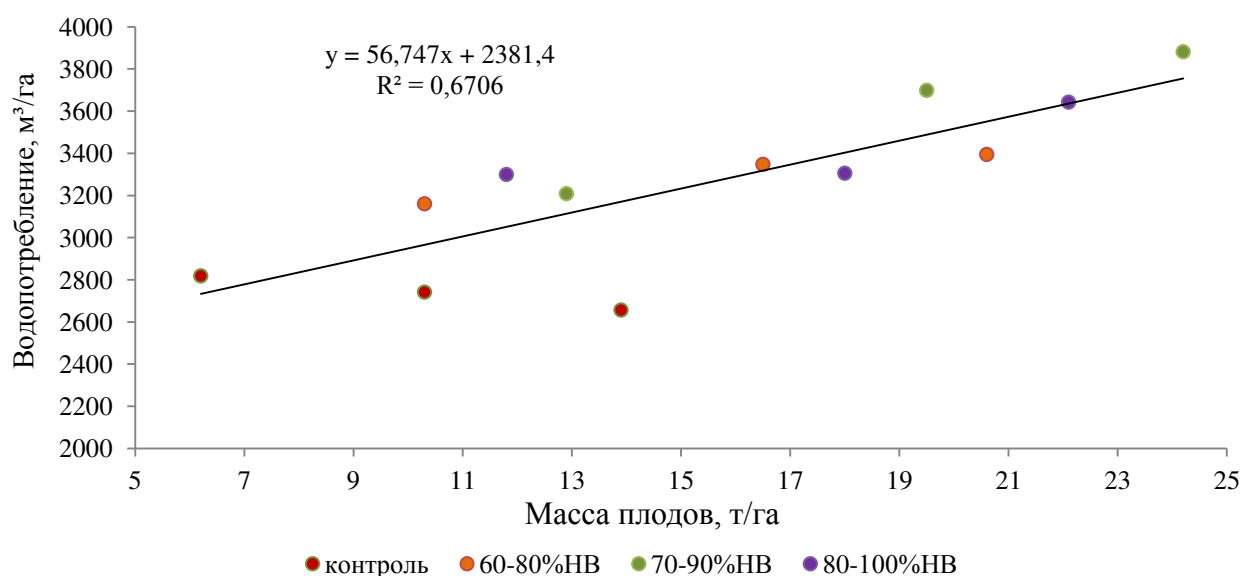


Рисунок 6.3 – Зависимость водопотребления вишни от массы плодов (2023–2025 г.)

На рисунке 6.3 представлена зависимость массы плодов вишни от суммарного водопотребления при различных режимах орошения. Установлено, что с увеличением водопотребления возрастала масса сформированных плодов. Наибольшая масса плодов отмечена при режимах 70–90 % НВ и 80–100 % НВ, где водопотребление составляло в пределах 3208–3881 м³/га. В контрольном варианте масса плодов была ниже и находилась в пределах 6,2–13,9 т/га.

Оптимальным режимом для обоих сортов стал 70–90 % НВ, при котором сочетались наибольшая урожайность и стабильность плодоношения. При 80–100 % НВ урожайность оставалась высокой, но плоды отличались меньшей концентрацией сухих веществ (таблица 6.2–6.4). Режим 60–80 % НВ давал несколько меньшую урожайность, но плоды формировались более плотные и концентрированные. В вариантах без орошения урожайность снижалась на 30–40 %, особенно в засушливые годы, что подтверждает критическую роль дополнительного орошения для формирования стабильных урожаев вишни в условиях Центрального региона.

6.2. Биохимический состав плодов вишни сортов «Волочаевка» и «Молодежная»

В условиях богарного садоводства биохимические характеристики плодов формируются под сильным влиянием погодных факторов. Многолетние наблюдения за сортами черешни показали, что содержание сахаров и сухих веществ в среднем выше, чем при орошении, однако урожайность остаётся нестабильной (Причко с соавт., 2012). Сорта в условиях недостаточного водоснабжения аккумулируют больше сухих веществ и органических кислот, но при этом снижается масса плодов и их товарные качества (Макаркина с соавт., 2017). В условиях Дагестана выявлен широкий диапазон по сахарам (8–15%) и аскорбиновой кислоте (до 20 мг/100 г) у сортов черешни без применения орошения, что связано с адаптивностью генотипов к климату региона (Гусейнова с соавт., 2019). Дополнительные исследования по гибридным формам черешни подтвердили вариабельность химического состава в зависимости от условий влагообеспечения (Смыков с соавт., 2017).



Рисунок 6.4 – Проведение биохимического анализа плодов вишни

Капельный полив признан наиболее эффективным способом поддержания оптимального водного режима в садах. Он обеспечивает стабильное накопление углеводов и органических кислот, а также улучшает биометрические показатели растений. При капельном поливе у саженцев черешни отмечается более высокая приживаемость, интенсивность роста и улучшение биохимических характеристик плодов по сравнению с контролем (Курапина, 2018). Совместное применение капельного орошения и удобрений повышает суммарное содержание растворимых сухих веществ и сахаров (Никольская, 2020). Оптимизация режимов влагообеспеченности позволяет регулировать нагрузку на растения и формировать плоды с более сбалансированным сахарокислотным составом (Кружилин, 2021). Современные исследования также подчеркивают важность учета тепло- и влагообеспеченности при разработке регламентов капельного полива плодовых культур (Карпенко, 2007).

После созревания плодов и сбора урожая, по каждому сорту и варианту опыта была определена средняя масса одного плода, рассчитана средняя масса плодов с одного дерева, урожайность с переводом на 1 гектар площади, а также

произведен биохимический анализ по общепринятым методикам (рисунки 6.4–6.6). Содержание сахаров в плодах вишни определялись по методике, изложенной в нормативном документе ГОСТ 26176-2019 (Продукты переработки фруктов и овощей. Методы определения сахаров), определение содержания аскорбиновой кислоты в плодах вишни выполнялся по требованиям ГОСТ 34151-2017 (Продукция переработки плодов и овощей; методы определения витамина С), определение титруемой кислоты в плодах вишни проводились по ГОСТ ISO 750–2013 (Продукты переработки фруктов и овощей. Определение титруемой кислотности), содержание калия, кальция и магния в плодах определяли по методике, изложенной в нормативном документе ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011 (п. 13) (Методика выполнения измерений массовой доли калия, кальция, магния в пищевых продуктах), определение массовой доли растворимых веществ производилось по ГОСТ 34128-2017 (Продукция соковая. Рефрактометрический метод определения массовой доли растворимых сухих веществ), содержание влаги в плодах вишни определяли с использованием влагомера Sartorius MA160 (Германия), работающего по принципу гравиметрии с инфракрасным нагревом, содержание нитратов в плодах определялось при помощи нитратомера Гринтест. Согласно ТР ТС 021/2011 содержание нитратов в плодах вишни соответствуют допустимым значениям <50 мг/кг. Каждый вид биохимического анализа производился в трехкратной повторности.

Биохимическая характеристика плодов вишни приведена в таблицах (6.2–6.4) по каждому году исследования.

Таблица 6.2 – Биохимическая характеристика плодов вишни за 2023 год

Режим орошения	Абсолютно сухое вещество, %	Растворимые сухие вещества, %	Кислотность титруемая, %	Аскорбиновая кислота, мг/100 г	Сахара, %	Калий, мг/кг	Кальций, мг/кг	Магний, мг/кг
сорт Волочаевка								
60-80% НВ	23,00	18,5	0,70	17,5	6,00	4550,415	410,531	285,254

Режим орошения	Абсолютно сухое вещество, %	Растворимые сухие вещества, %	Кислотность титруемая, %	Аскорбиновая кислота, мг/100 г	Сахара, %	Калий, мг/кг	Кальций, мг/кг	Магний, мг/кг
70-90% НВ	21,30	16,5	0,68	16,8	7,52	6305,418	330,514	325,576
80-100% НВ	11,00	8,9	0,62	16,0	7,80	7200,041	315,362	310,476
Контроль (без орошения)	19,00	15,0	0,82	16,8	5,02	9500,417	310,614	300,067
сорт Молодежная								
60-80% НВ	20,00	16,4	0,70	17,0	7,20	6000,335	340,577	345,768
70-90% НВ	20,80	15,5	0,65	16,5	8,40	5900,520	430,723	310,798
80-100% НВ	13,50	10,8	0,62	16,8	8,33	5300,465	520,432	315,936
Контроль (без орошения)	17,05	14,0	0,63	15,5	7,84	4234,438	403,390	295,601

Результаты биохимического анализа вишни сортов «Волочаевка» и «Молодежная» за 2023 год указаны в таблице 6.2. Содержание абсолютно сухого вещества плодов вишни сорта «Волочаевка» достигает наибольшего значения при режиме орошения 60-80 % НВ — 23,00%, наименьшее значение получено при 80–100 % НВ — 11,00%. Содержание абсолютно сухого вещества плодов вишни сорта «Молодежная» достигает наибольшего значения при режимах орошения 60-80 % НВ — 20,00% и 70–90% НВ — 20,80% наименьшее значение получено при 80–100 % НВ — 13,50 %. Растворимые сухие вещества в плодах вишни сорта «Волочаевка» варьируются от 18,5% (при 60–80 % НВ) до 8,9% (при 80–100 % НВ), для сорта «Молодежная» характерно содержание от 16,4% (при 60–80 % НВ) до 10,8% (при 80–100 % НВ).

Самая высокая титруемая кислотность плодов вишни сортов «Волочаевка» наблюдается в варианте опыта без орошения (0,82%), самая низкая — при 80–100 % НВ (0,62%). Плоды вишни сорта «Молодежная» менее кислые, самая высокая кислотность получена при 60-80% НВ, и составила 0,70%, самая низкая – при 80–100 % НВ (0,62%). Содержание аскорбиновой кислоты сорта «Волочаевка»

представлен в диапазоне 16,0-17,5 мг/100 г., где максимальное значение при 60–80 % НВ (17,5 мг/100 г.), минимальное – при 80–100 % НВ (16,0 мг/100 г.). Для сорта «Молодежная» содержание витамина С находится в пределах 15,5–17,0 мг/100 г., где максимальное значение при 60–80 % НВ (17,0 мг/100 г.), минимальное – при контроле без орошения (15,5 мг/100 г.). Количество сахаров в вишне «Волочаевка» наибольшее значение приняло при 80–100 % НВ (7,80%), наименьшее — без орошения на контроле (5,02%), у сорта «Молодежная» показатели по сахарам выше — при 70-90% НВ содержание сахаров 8,40%, минимальное значение при 60-80% НВ — 7,20%.



Рисунок 6.5 – Опытный образец № 4 (вишня Молодежная, вариант 70–90%НВ)

Минеральный состав плодов вишни складывался из содержания калия, кальция и магния. В плодах сорта «Волочаевка» калий содержится в пределах от 4550 мг/кг (при 60–80 % НВ) до 9500 мг/кг (на варианте без орошения), наибольшее количество кальция – 410 мг/кг (при 60–80 % НВ), наименьшее – 310 мг/кг (на варианте без орошения). В плодах сорта «Молодежная» калий содержится в пределах от 4234 мг/кг (на контроле) до 6000 мг/кг (при 60–80 %

НВ), кальций: от 340 мг/кг до 520 мг/кг (максимум при 80–100 % НВ).

В 2023 году (таблица 6.2) лучшие показатели биохимического анализа отражены при режиме 60–80 % НВ: максимум сухих веществ, витамин С, хорошая сладость. При режиме 80–100 % НВ выявлены самые сочные плоды, но с низким содержанием сухих веществ. В следствие стрессовых условий на контроле (без орошения) сформировалось больше кислот, низкие сахара, но высокая концентрация калия. В 2023 году были выявлены сортовые особенности вишни: «Волочаевка» по биохимическим показателям сильнее реагирует на стрессовые условия, также обладает более высоким содержанием кислот, чем «Молодежная»; «Молодежная» стабильнее по сахарам и кальцию, даже при высокой влаге даёт более сладкие и богатые кальцием плоды.

Таблица 6.3 – Биохимическая характеристика плодов вишни за 2024 год

Режим орошения	Абсолютно сухое вещество, %	Растворимые сухие вещества, %	Кислотность титруемая, %	Аскорбиновая кислота, мг/100 г	Сахара, %	Калий, мг/кг	Кальций, мг/кг	Магний, мг/кг)
сорт Волочаевка								
60-80% НВ	25,50	20,5	0,62	18,7	6,71	4950,130	385,231	275,24
70-90% НВ	23,00	18,0	0,61	18,0	8,60	6700,631	310,313	315,26
80-100% НВ	11,50	9,2	0,55	17,2	9,00	7400,030	295,624	295,60
Контроль (без орошения)	21,00	16,8	0,70	18,2	5,80	10100,695	290,361	285,71
сорт Молодежная								
60-80% НВ	22,50	18,0	0,61	18,5	8,32	6400,312	320,410	335,32
70-90% НВ	23,21	17,5	0,57	18,0	9,50	6350,453	400,513	295,79
80-100% НВ	14,00	11,2	0,55	18,2	8,9	5300,012	490,681	305,38
Контроль (без орошения)	19,32	15,8	0,54	17,0	8,20	4550,413	370,721	280,69

Результаты биохимического анализа вишни сортов «Волочаевка» и «Молодежная» за 2024 год указаны в таблице 6.3. Содержание абсолютно сухого вещества плодов вишни сорта «Волочаевка» достигает наибольшего значения при

режиме орошения 60-80 % НВ — 25,50%, наименьшее значение получено при 80–100 % НВ — 11,50%. Содержание абсолютно сухого вещества плодов вишни сорта «Молодежная» достигает наибольшего значения при режимах орошения 70–90 % НВ — 23,21%, наименьшее значение получено при 80–100 % НВ — 14,00 %. Растворимые сухие вещества в плодах вишни сорта «Волочаевка» варьируются от 20,5% (при 60–80 % НВ) до 9,2% (при 80–100 % НВ), для сорта «Молодежная» характерно содержание от 18,0% (при 60–80 % НВ) до 11,2% (при 80–100 % НВ).



Рисунок 6.6 – Опытный образец № 6 (вишня Волочаевка, вариант 80–100%НВ)

Самая высокая титруемая кислотность плодов вишни сортов «Волочаевка» наблюдается в варианте опыта без орошения (0,70%), самая низкая — при 80–100 % НВ (0,55%). Плоды вишни сорта «Молодежная» остаются менее кислыми по сравнению с другим сортом. Самая высокая кислотность получена при 60-80% НВ, и составила 0,61%, самая низкая – при 80–100 % НВ (0,55%) и на варианте без орошения (0,54%).

Содержание аскорбиновой кислоты сорта «Волочаевка» представлен в диапазоне 17,2–18,7 мг/100 г., где максимальное значение при 60–80 % НВ (18,7 мг/100 г), минимальное – при 80–100 % НВ (17,2 мг/100 г). Для сорта

«Молодежная» содержание витамина С находится в пределах 17,0–18,5 мг/100 г, где максимальное значение при 60–80 % НВ (18,5 мг/100 г), минимальное – при контроле без орошения (17,0 мг/100 г).

Количество сахаров в вишне «Волочаевка» наибольшее значение приняло при 80–100 % НВ (9,0%), наименьшее – без орошения на контроле (5,8%), у сорта «Молодежная» показатели по сахарам выше – при 70-90% НВ содержание сахаров 9,5%, минимальное значение при выращивании без орошения – 8,20%.

В плодах вишни сорта «Волочаевка» калий содержится в пределах от 4950 мг/кг (60–80 % НВ) до 10100 мг/кг (на варианте без орошения), наибольшее количество кальция – 385 мг/кг (при 60–80 % НВ), наименьшее – 290 мг/кг (на варианте без орошения). В плодах сорта «Молодежная» калий содержится в пределах от 4550 мг/кг (на контроле) до 6400 мг/кг (при 60–80 % НВ), кальций: от 320 мг/кг (при 60–80 % НВ) до 490 мг/кг (при 80–100 % НВ).

В 2024 году в результате биохимического анализа плодов вишни лучшие показатели у обоих сортов получены при выращивании при режиме 70–90 % НВ: высокое содержание сахаров, хорошая сбалансированность кислот и витамина С. Результатом орошения при 60–80 % НВ стал высокий уровень сухих веществ, особенно у «Волочаевки». При орошении 80–100 % НВ — плоды более водянистые, со сниженным содержанием сухих веществ и витамина С, но с повышенной сладостью. На контроле (без орошения) растения испытывают стресс: больше кислот, меньше сахара, калий концентрируется, кальций снижается.

Таблица 6.4 – Биохимическая характеристика плодов вишни за 2025 год

Режим орошения	Абсолютно сухое вещество, %	Растворимые сухие вещества, %	Кислотность титруемая, %	Аскорбиновая кислота, мг/100 г	Сахара, %	Калий, мг/кг	Кальций, мг/кг	Магний, мг/кг
сорт Волочаевка								
60-80% НВ	24,53	19,6	0,67	18,1	6,39	4698,230	399,128	277,65
70-90% НВ	22,30	17,6	0,67	17,3	8,10	6525,154	320,413	320,14
80-100% НВ	12,05	9,7	0,60	16,7	8,59	7593,080	304,718	300,89
Контроль (без орошения)	20,11	16,1	0,78	17,4	5,45	9898,357	301,135	291,46
сорт Молодежная								
60-80% НВ	21,70	17,4	0,66	17,9	7,94	6236,692	330,671	339,17
70-90% НВ	22,35	16,9	0,61	17,3	9,00	6178,850	412,150	300,19
80-100% НВ	14,68	11,8	0,59	17,6	9,01	5506,416	503,143	302,34
Контроль (без орошения)	18,62	15,2	0,58	16,1	8,45	4381,200	381,12	288,18

В таблице 6.4 представлены результаты биохимического анализа вишни сортов «Волочаевка» и «Молодежная» за 2025. Содержание абсолютно сухого вещества плодов вишни сорта «Волочаевка» достигает наибольшего значения при режиме орошения 60-80 % НВ — 24,53%, наименьшее значение получено при 80–100 % НВ — 12,05%. Содержание абсолютно сухого вещества плодов вишни сорта «Молодежная» достигает наибольшего значения при режимах орошения 70–90 % НВ — 22,35%, наименьшее значение получено при 80–100 % НВ — 14,68 %. Растворимые сухие вещества в плодах вишни сорта «Волочаевка» варьируются от 19,6% (при 60–80 % НВ) до 9,7% (при 80–100 % НВ), для сорта «Молодежная» характерно содержание от 17,4% (при 60–80 % НВ) до 11,8% (при 80–100 % НВ).

Самая высокая титруемая кислотность плодов вишни сортов «Волочаевка» наблюдается в варианте опыта без орошения (0,78%), самая низкая — при 80–100 % НВ (0,60%). Плоды вишни сорта «Молодежная» остаются менее кислыми по

сравнению с «Волочаевкой», самая высокая кислотность получена при 60-80% НВ, и составила 0,61%, самая низкая – при 80–100 % НВ (0,59%).

Содержание аскорбиновой кислоты сорта «Волочаевка» представлен в диапазоне 16,7–18,1 мг/100 г., где максимальное значение при 60–80 % НВ (18,1 мг/100 г.), минимальное — при 80–100 % НВ (16,7 мг/100 г.). Для сорта «Молодежная» содержание витамина С находится в пределах 16,1-17,9 мг/100 г., где максимальное значение при 60–80 % НВ (17,9 мг/100 г.), минимальное – при контроле без орошения (16,1 мг/100 г.).

Количество сахаров в вишне «Волочаевка» наибольшее значение приняло при 80–100 % НВ (8,59%), наименьшее – без орошения на контроле (5,45%), у сорта «Молодежная» показатели по сахарам выше, наибольшее значение достигает при 70-90% НВ и 80-100% НВ, содержание сахаров 9,00% и 9,01 соответственно, минимальное значение при выращивании без орошения – 8,45%.

В плодах вишни сорта «Волочаевка» калий содержится в пределах от 4698 мг/кг (60–80 % НВ) до 9890 мг/кг (на варианте без орошения), наибольшее количество кальция – 399 мг/кг (при 60–80 % НВ), наименьшее – 301 мг/кг (на варианте без орошения). В плодах сорта «Молодежная» калий содержится в пределах от 4381 мг/кг (на контроле) до 6237 мг/кг (при 60–80 % НВ), кальций: от 331 мг/кг (при 60–80 % НВ) до 503 мг/кг (при 80–100 % НВ).

В 2025 году плоды вишни обоих сортов показали закономерную зависимость биохимического состава от уровня водообеспеченность. При 60–80 % НВ формировались наиболее концентрированные плоды с высоким содержанием сухих веществ и витамина С. Режим 70–90 % НВ обеспечил оптимальный баланс качества: повышенное содержание сахаров, умеренная кислотность и стабильные биологически активные вещества. При 80–100 % НВ плоды отличались сладостью и высоким содержанием кальция, но были водянистыми из-за снижения сухих веществ. В контроле без полива наблюдалось падение сахаров и витамина С при росте кислотности и концентрации калия, что связано со стрессовым характером водного режима. Наиболее предпочтительным для получения плодов высокого качества в 2025 году был режим 70–90 % НВ.

Выводы по главе

1. Проведённые исследования по изучению влияния различных режимов орошения на биохимический состав плодов вишни сортов «Волочаевка» и «Молодёжная» в условиях Московской области в 2023–2025 гг. показали устойчивую зависимость качества плодов от уровня водообеспеченности растений и погодных условий вегетационного периода.

2. В среднем за три года наибольшее накопление абсолютно сухих веществ (АСВ) и растворимых сухих веществ (РСВ) отмечалось при режиме орошения 60–80 % НВ, где плоды отличались более высокой концентрацией сухого вещества, содержанием аскорбиновой кислоты и сбалансированным уровнем титруемой кислотности. Однако в данном варианте содержание сахаров было несколько ниже, чем при более интенсивных режимах.

3. Оптимальный баланс показателей качества формировался при режиме 70–90 % НВ. В этих условиях плоды характеризовались повышенным содержанием сахаров, достаточным уровнем сухих веществ, пониженной кислотностью и стабильным накоплением витамина С. Для обоих сортов именно этот режим обеспечивал сочетание хороших вкусовых характеристик и высокого уровня биологически активных веществ.

4. При режиме 80–100 % НВ наблюдалось снижение концентрации сухих веществ вследствие разбавления клеточного сока, однако при этом повышалось содержание сахаров и кальция (особенно у сорта «Молодёжная»). Таким образом, данный вариант обеспечивал более сладкие, но водянистые плоды.

5. В условиях отсутствия орошения формировались плоды с пониженным содержанием сахаров и витамина С и с повышенной кислотностью. При этом отмечалось концентрирование калия вследствие уменьшения массы плодов и стрессовых условия из-за отсутствия орошения.

ГЛАВА VII. ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

7.1. Система капельного орошения с дистанционным управлением

В век развития цифровых технологий элементы дистанционного управления проникают во все сферы нашей жизни. Дистанционное управление процессом орошения, предполагающее применение полуавтоматизированного оборудования, частично освобождает человека от участия в технологическом процессе, возлагая на оператора только контроль, является достаточно новым техническим решением (Каландаров, 2021; Кахаров, 2022; Судницын, 1977; Таекин, 2018).

В качестве исходных материалов при формировании концепции, подходов и методов осуществления дистанционного управления капельным орошением послужил анализ существующих технических решений, изложенных в патентах на изобретения. В настоящее время уже существует устройство, автоматизирующее управление процессом полива (Стрижак, 1986). Его составными элементами выступают 3 узла: во-первых, пороговый блок, определяющий уровень влажности грунта; во-вторых, датчики влажности, устанавливаемые на контрольных точках. Третьим составным элементом является блок памяти с реверсивными и кольцевыми счётчиками (устанавливает длительность орошения на основании получаемых данных). За его управление отвечают 3 конструктивных элемента: блок управления исполнительными механизмами полива, генератор, счётчик уже орошённых зон. Для иных участков поля переключение на орошение производится формирователем импульсов, логическими схемами «ИЛИ» и одновибратором. Рассматриваемая система имеет ряд существенных недостатков: её конструктивные особенности не позволяют производить одновременное капельное орошение всех участков поля; они также не подразумевают использование системы единовременно при различных нормах орошения. Помимо этого, предложенная система не способна учитывать рельефные особенности участка. Полуавтоматизация орошения грунта приусадебных хозяйств возможна с применением специализированного устройства (Андреев., 2001). Его конструкция представляет собой водонапорный

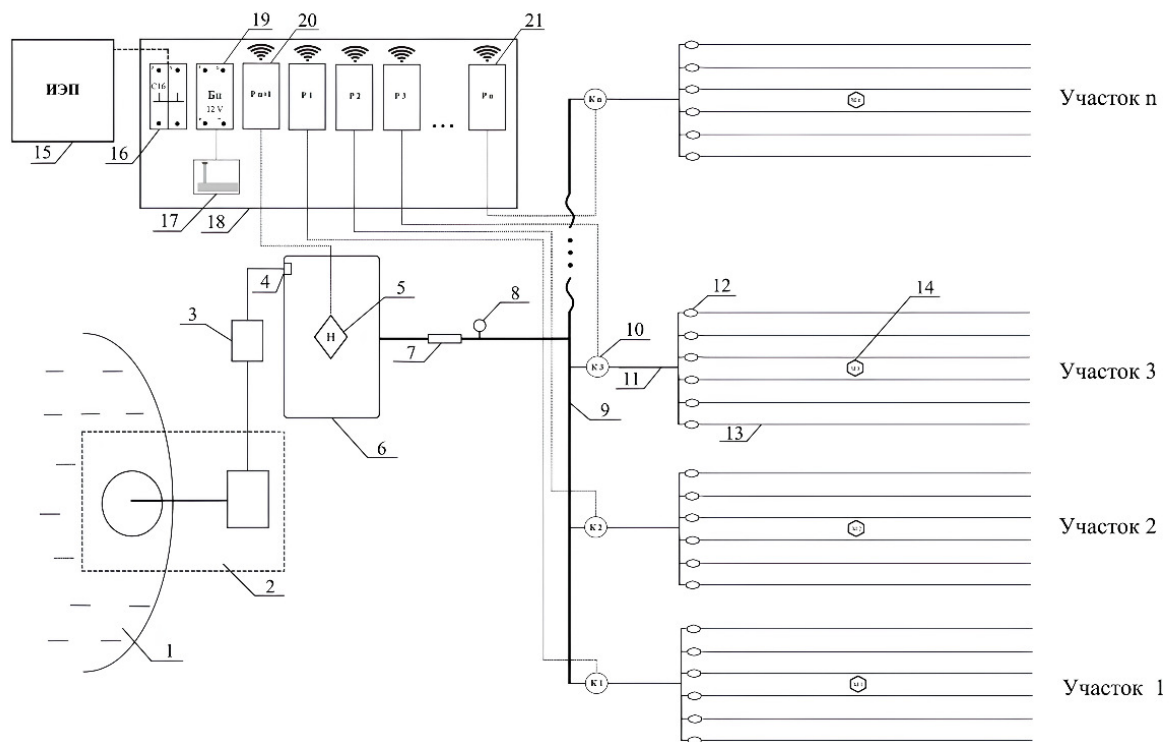
бак с водоотводными каналами, которые соединены между собой распределительными вентилями. Вода в бак поступает из местного/общественного водопровода по трубопроводу, оборудованному специальными устройствами для авторегулирования подачи воды. Ключевым минусом такой системы является невозможность равномерного орошения ввиду отсутствия устройств объективного контроля уровня влажности грунта и регулирования режима орошения. В условиях теплицы применима методика автоматического управления капельным поливом (Егоров, 2003, 2010, 2011). Её работа заключается в получении данных о количестве влаги, содержащейся в грунте, с дальнейшим расчётом необходимого объёма воды для соответствия поливной норме и орошением. Однако в такой системе не берётся во внимание факт того, что скорость иссушения почвы напрямую зависит от температуры и уровня влажности атмосферного воздуха. Названный недостаток может привести к нецелесообразному отключению или включению систем полива. К примеру, работник может прекратить орошение грунта в условиях повышенной температура воздуха с низким содержанием влаги, тогда как орошённый грунт стремительно будет терять влагу ввиду интенсивного её испарения. Ситуация также может быть обратной, что поставит грунт под угрозу переувлажнения почвы, гибели растительности. Помимо этого, предложенная система не применима в условиях открытого грунта из-за отсутствия возможности приема и передачи сигналов от датчиков к пороговому блоку и реле включения поливной установки. Применение изолированного проводника в условиях орошения в открытом грунте также создаст определенные сложности при механизации. Методика управления работой системы орошения, оснащённой средствами автоматизации, и её контроля (Чефонов, 1987), основана на данных о наличии и интенсивности осадков, а также об уровне влажности грунта. На основании их анализа оборудование включается или выключается. При этом данный способ управления допускает возможность обезвоживания почвы или же её переувлажнения ввиду отсутствия у оператора актуальных данных с датчиков и возможности дистанционного управления, что является серьёзным недостатком.

Это связано с тем, что настоящая методика не подразумевает оперативной передачи данных с датчиков оператору в режиме реального времени. При этом датчиками не учитываются уровень влажности и температура воздуха на анализируемом участке.

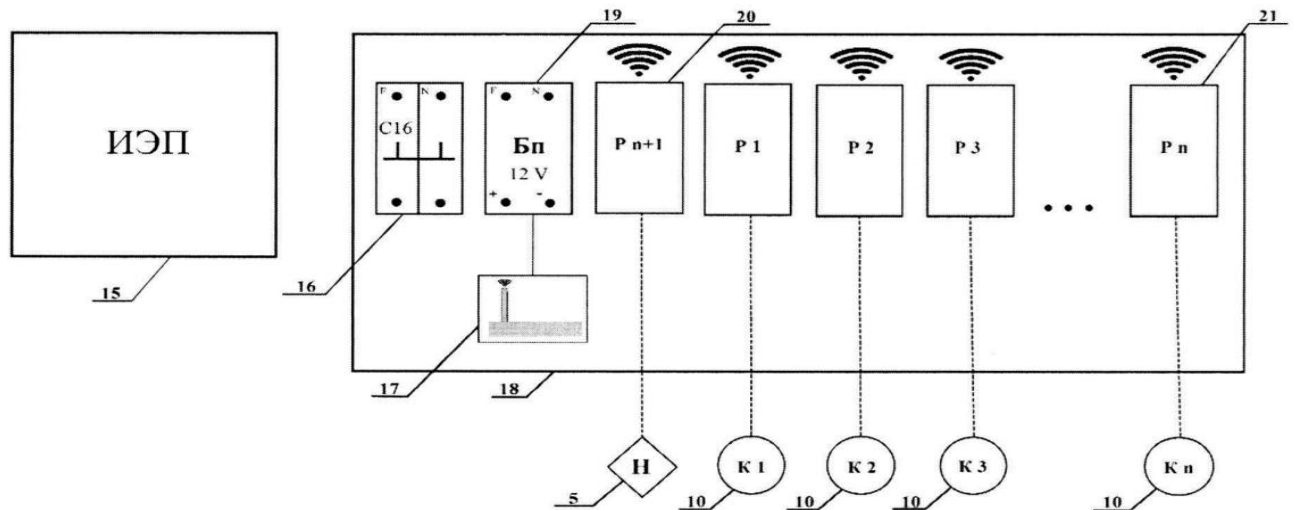
Прототипом разработанного в ходе настоящей работы устройства является механизм полуавтоматизации полива (Дубенок, 2008), который представляет собой систему из средства орошения, присоединённого трубопроводом к водонапорному сооружению через блок клапанного распределения, и блока управления режимами полива (снабжён датчиком, выход которого соединён с входом блока управления режимами полива, что позволяет контролировать расход воды). Недостатком такого устройства автоматического полива растений, снабженного датчиком, является невозможность определения необходимости полива в различных типах почвогрунта и для различных видов сельскохозяйственных растений. В результате анализа существующих способов автоматизации процесса орошения почвы было выявлено, что первостепенной задачей является разработка методов дистанционного управления системами капельного орошения с учётом различий в структурах почв, рельефе, а также в нормах орошения различных растений. Необходимо применение инновационных средств передачи данных, связи, комплексных измерительных приборов. Техническим результатом инновационной разработки является обеспечение единовременного орошения всего поля с учётом различий почвенных структур, рельефов различных земельных участков, а также различий норм орошения всевозможных культур. Для достижения заданного результата необходима разработка устройства удалённого капельного орошения, состоящее из следующих узлов: водонапорное сооружение, средство для орошения (соединены трубопроводами через блок клапанного распределения), блок регулировки режима орошения (оснащён промежуточными Wi-Fi реле насоса и электроклапанов, мобильными метеостанциями с модулем GPRS).

GPRS-модуль собирает информацию о наличии осадков и их интенсивности, температуре грунта и воздуха, их влажности с дальнейшим

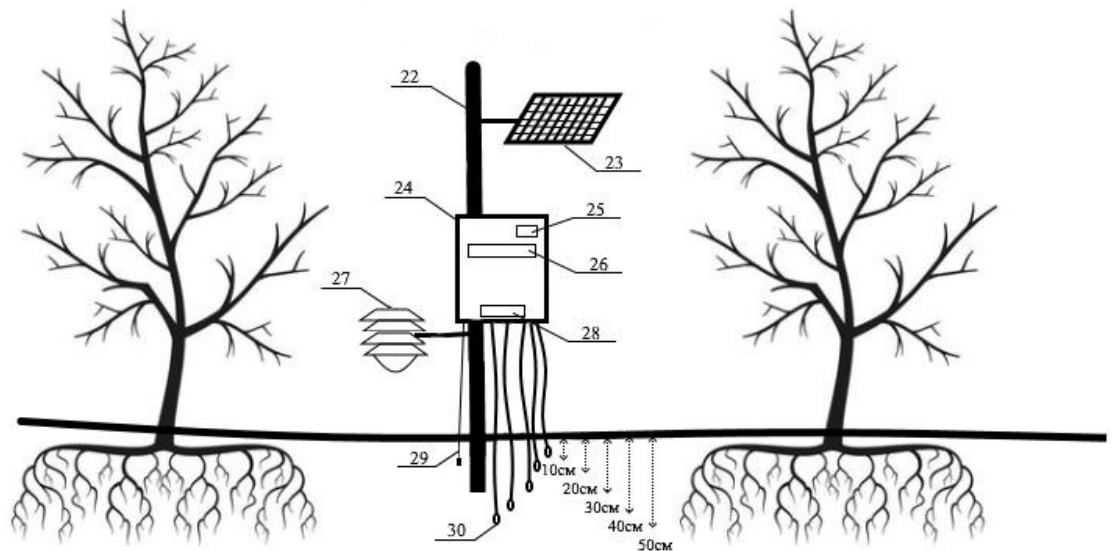
незамедлительным дистанционным изменением режима орошения. Помимо этого, функциональность данного модуля отражена в возможности учёта структуры грунта, рельефа местности при увеличении количества мобильных метеостанций, в которые встроен модуль GPRS. Немаловажным достоинством рассматриваемой системы является простота в конструкции и эксплуатации. Так как механизм не содержит сложных элементов, а связь является беспроводной, обслуживание и механизация значительно упрощаются. Схема капельного орошения с удалённым управлением представлена на рисунке 7.1а. Принцип работы: вода по системе трубопроводов, пройдя через фильтрующий элемент, поступает в резервуар-накопитель. В резервуаре расположен впускной поплавковый клапан, который позволяет насосу прекратить закачку воды из водохранилища во избежание перелива. Из накопителя выстроена система трубопроводов, оснащённая фильтрами тонкой очистки, редукторами давления, манометрами и запорными электрическими клапанами: магистральный трубопровод переходит в распределительный, который, в свою очередь, соединён с поливным. В поливной встроены или же интегрированы капельницы.



а



6



В

Рисунок 7.1 Схема капельного орошения с удалённым управлением: а – Схема капельного орошения с удалённым управлением; б – Принципиальное устройство электрошпиговой; в – базовая комплектация мобильной метеостанции.

Расположение датчиков. 1 – источник орошения; 2 – насосная станция; 3 – система фильтров; 4 – впускной поплавковый клапан для автоматического заполнения; 5 – погружной насос; 6 – резервуар-накопитель; 7 – система фильтров тонкой очистки; 8 – манометр; 9 – магистральный трубопровод; 10 – запорный электроклапаны; 11 – распределительный трубопровод; 12 – редукторы давления; 13 – поливной трубопровод с интегрированными / встраиваемыми капельницами;

14 – мобильные метеостанции; 15 – источник электропитания; 16 – вводной автомат; 17 – интернет-центр с модемом 4G и Wi-Fi модулем; 18 – электрощитовая; 19 – блок питания; 20 – промежуточное Wi-Fi реле насоса; 21 – промежуточное Wi-Fi реле запорного электроклапана; 22 – опорный шток; 23 – солнечная панель; 24 – герметично закрывающийся бокс; 25 – GPRS-модуль; 26 – электроплата; 27 – датчик температуры и влажности воздуха; 28 – аккумулятор; 29 – датчик температуры почвы; 30 – датчик влажности почвы.

В качестве ИЭП может быть применён ветряной/фотоэлектрический преобразователь или топливный генератор мощностью 220В. Также допустимо подключение к линии электропередач (далее – «ЛЭП»). Ключевой задачей ИЭП является подача питания к электрощитовой, а точнее к вводному автомату, располагаемому в ней. Данный элемент является распределительным центром, подающим питание промежуточным Wi-Fi реле насоса и электрических запорных клапанов. Также энергия из него поступает в блок питания (12В), который сопряжён с элементом. Рисунок 7.1б демонстрирует, как кабели подключаются от силовых разъёмов реле электроклапанов к клеммам питания запорных клапанов, от силовых разъёмов реле насоса — к клеммам питания погружного насоса.

GPRS-модуль представляет собой автономную систему для сбора и передачи данных, являясь при этом важной составляющей мобильной метеостанции, предоставляющей информацию о влажности и температуре воздуха и почвы. Основные элементы вышеупомянутой метеорологической станции представлены на рисунке 7.1в. В их числе солнечная панель, датчики температуры воздушной среды и грунта (размещается по центру пахотного горизонта), влажности почвы и воздуха. Элементы располагаются с шагом в 10см с учётом глубины залегания корневой системы.

Наличие аккумулятора, располагаемого в герметично закрывающемся боксе с GPRS-модулем и электроплатой, и солнечной панели, обеспечивает автономность станции. Датчики подключаются к электроплате, производящей аналогово-цифровые преобразования данных, которая также компонует их для передачи информации оператору с помощью GPRS-модуля. Рассмотрим принцип

работы устройства: на промежуточное Wi-Fi реле насоса поступает сигнал активации насоса, в то время как сигнал на открытие запорного электроклапана передаётся его промежуточному Wi-Fi реле. Семнадцатый элемент подключается к блоку питания (12В). Это позволяет системе передавать сигналы изменения режима работы по Wi-Fi, а также сигналы срабатывания запорных клапанов, погружного насоса по 4G. Данные, собираемые датчиками метеостанций, передаются оператору с помощью модуля GPRS. Произведя анализ необходимости орошения участка, работник направляет соответствующий сигнал на промежуточные Wi-Fi реле. При условии увеличения количества автономных метеостанций с GRSМ-модулем, система способна осуществлять единовременное орошение зон с различными нормами полива, рельефом, структурой почвы. Также она позволяет, ориентируясь на метеоусловия, изменять количество влаги и время орошения, получать данные о температуре и влажности воздуха и грунта. Из вышеописанного следует, что ключевой отличительной особенностью разработанного устройства капельного орошения является его оснащённость элементом удалённого управления системой с возможностью получения информации об уровне влажности и температуре почвы и воздуха, а также о наличии осадков и их количестве. GPRS-модуль, встроенный в метеостанции, собирает данные о температуре грунта и воздуха, их влажности наличии, а также о наличии осадков и их интенсивности, с дальнейшим стремительным удалённым изменением режима полива. Кроме того, функциональность модуля отражена в возможности учёта структуры грунта, рельефа местности при увеличении количества мобильных метеостанций. Иные элементы конструкции — промежуточные Wi-Fi реле насоса и электрических клапанов. Крайне положительной особенностью рассматриваемой системы выступает простота в конструкции и эксплуатации. Из-за беспроводной связи и механизма, не содержащего сложных элементов, механизация и обслуживание существенно упрощаются. При вопросах орошения почвы важно учитывать взаимосвязь влажности, температуры воздуха и интенсивности испарения жидкости. Нередко в агрономии происходят ситуации, когда в условиях высокой температуры и

низкой влажности воздуха система орошения отключается при достижении установленного верхнего порога влажности. Это нецелесообразно, так как при заданных условиях вода интенсивно испаряется, допуская возможности иссушения грунта и плодовых культур. Ситуация также может быть обратной: тогда возникают риски перенасыщения почвы влагой. Рассмотренные случаи могут быть предотвращены операторами, однако человеческий фактор не позволит свести риск переосушения/переувлажнения грунта к нулю. Разработанная методика благодаря применению комплексных приборов измерения, инновационных средств передачи информации и связи способствует оперативному получению и анализу данных, а в следствии — решению проблемы удалённого управления системой капельного полива. Техническим результатом инновационной разработки является обеспечение единовременного орошения всего поля, несмотря на различия в нормах полива, составе грунта и рельефе различных его участков. Принципиальным преимуществом системы выступает наличие беспроводной системы передачи данных, позволяющей агротехническим мероприятиям проводиться с максимальной результативностью. Кроме того, разработанная модель управления орошением способна учитывать взаимосвязь влажности, температуры воздушной среды и интенсивности изменения уровня содержания влаги в почве. Для получения желаемого результата модернизации метода удалённого администрирования процесса капельного орошения, настоящая система снабжается осуществляющим удалённое управление механизмом, состоящим из автономных мобильных метеостанций с GPRS-модулем и промежуточных Wi-Fi реле электроклапанов и насоса. Модернизация конструкции и произведение дополнительных измерений показателей грунта и воздушной среды позволяет регулировать длительность полива, его режим на основании влияющих на показатели факторов. Разработанная методика благодаря оперативной передаче данных оператору способствует незамедлительному анализу данных с последующим решением проблемы удалённого управления системой капельного полива на разнообразных грунтах единовременно. Принцип работы устройства, отображённого на рисунке 7.1а: на промежуточное Wi-Fi реле

насоса поступает сигнал активации насоса, в то время как сигнал на открытие запорного электроклапана передаётся его промежуточному Wi-Fi реле. Семнадцатый элемент подключается к блоку питания (12В). Это позволяет системе передавать сигналы изменения режима работы по Wi-Fi, а также сигналы срабатывания запорных клапанов, погружного насоса. Данные, собираемые датчиками метеостанций, передаются оператору с помощью модуля GPRS. Произведя анализ необходимости орошения участка, работник направляет соответствующий сигнал на промежуточные Wi-Fi реле. В сравнении с уже существующими методиками орошения, разработанный в ходе работы способ имеет ряд технических преимуществ. Ключевым из них является осуществимость полива всех орошаемых участков одновременно, невзирая на различия состава грунта, рельефа, уровня и нормы влажности. Средством достижения такого результата выступает получение информации о наличии осадков, их количестве, об уровне влажности, температуры почвы и атмосферного воздуха (данные модуля GPRS). Подводя итог работы, стоит ещё раз отметить отличительную особенность разработанной системы управления капельным орошением: возможность получения информации об уровне влажности и температуре почвы и воздуха, а также о наличии осадков и их количестве. Использование при конструировании метеостанций модуля GPRS позволяет оперативно удалённо управлять системой полива, ведь благодаря модулю производится сбор информации о параметрах земли и воздуха, об интенсивности осадков. Базовая схема капельного орошения в описываемом устройстве снабжается промежуточными Wi-Fi реле насоса и электроклапанов, а также мобильными метеостанциями с модулем GPRS, что позволяет сделать работу системы удалённой и более эффективной в сравнении с уже разработанными методиками. Кроме того, функциональность модуля отражена в возможности учёта структуры грунта, рельефа местности при увеличении количества мобильных метеостанций. Иные элементы конструкции – промежуточные Wi-Fi реле насоса и электрических клапанов. Крайне положительной особенностью рассматриваемой системы выступает простота в конструкции и эксплуатации. Из-за беспроводной

связи и механизма, не содержащего сложных элементов, механизация и обслуживание существенно упрощаются. Апробация дистанционного управления системой капельного орошения проводилась в условиях молодого вишневого сада (720 деревьев) Лаборатории пловодства «Мичуринский сад» Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева. Предложенный авторами способ показал высокую эффективность по сравнению с классическими способами управления поливом, позволил сократить трудозатраты, повысить оперативность получения данных и качество оросительных мероприятий (Дубенок 2020, 2020^a, 2025, 2024^Г).

7.2 Автоматическая самодиагностируемая система капельного орошения

В последние годы наблюдается активное внедрение автоматизированных систем управления поливом, основанных на использовании датчиков влажности почвы, микроконтроллеров и телеметрических технологий. Такие системы позволяют в реальном времени контролировать параметры среды и регулировать режимы орошения в зависимости от потребностей растений и погодных условий (Акпасов, 2026). Автоматизация капельного орошения рассматривается как ключевое направление развития цифрового сельского хозяйства. Применение алгоритмов управления и интеллектуальных систем обеспечивает оптимизацию водопотребления, снижение энергозатрат и повышение устойчивости агроэкосистем (Акпасов, 2024). Кроме того, исследования показывают, что использование автоматизированных систем позволяет учитывать пространственную и временную неоднородность увлажнения почвы, что особенно важно для повышения эффективности орошения на различных типах почв и в разных климатических условиях (Шапорина, 2023).

Таким образом, разработка и внедрение автоматизированных систем капельного орошения является актуальной научно-технической задачей, направленной на повышение эффективности сельскохозяйственного производства и рациональное использование природных ресурсов.

При разработке идеи бы произведен анализ существующих технических решений, изложенных в патентах на изобретения. В настоящее время уже

существует способ капельного орошения плодово-ягодных, кустарниковых культур и цветочных растений (см. авторское свидетельство RU2685139C1, A01G 25/02, 2019) (Голубенко, 2019). В изобретении рассматривается методика полива с акцентом на равномерности распределения влаги, что достигается применением специальных регуляторов расхода на трубопроводах, также описана возможность внесения растворенных в воде удобрений. Достоинство заключается в повышении агротехнической эффективности и адаптации для разных культур. Однако, данный способ не предполагает автоматического мониторинга, самоконтроля или связи с пользователем. Любая неисправность (например, засор или утечка) будет выявлена лишь визуально или по результату снижения урожайности. Система работает по заданной схеме, не умеет самостоятельно анализировать своё состояние и не сигнализирует пользователю о сбоях.

Другим примером существующих решений является система «Smart irrigation system formonitoringandcontrolling waterflow» (Richard, 2018) (см. авторское свидетельство US 10,966,379 B2, A01G 25/16, 2021). Она разработана для умного контроля подачи воды в оросительных сетях, где используются датчики потока и давления для измерения текущего расхода. Данные передаются на контроллер (микропроцессор). В системе есть обратная связь, регулируемая на основе анализа расхода подачи воды. Возможно дистанционное управление посредством беспроводной передачи данных. Система сочетает измерение давления и расхода воды, в ней реализован автоматический контроль и мониторинг, возможна интеграция с IoT и беспроводными сетями.

Однако, в данной системе отсутствует самодиагностика неисправностей (например: не выявляются засоры, утечки, отказ клапанов через алгоритм сопоставления $\Delta P + \text{расход} + \text{зональная влажность}$); отсутствует контроль состояния датчиков (система не определяет, работает ли датчик корректно или «завис»); отсутствуют алгоритмы автоматического выявления отклонений по нескольким зонам; отсутствует интеграция с агротехническими параметрами (влажность почвы, климатические факторы); отсутствует механизм оповещений пользователя.

Наиболее близким к изобретению по совокупности признаков (взятый за прототип) относится система капельного орошения с модулем активации оросительной воды (Патент: RU 2410869 C1, опубл. 10.02.2011, Бюл. № 4.) (Абезин, 2011), содержащая источник воды (бак, скважина или водопровод), который соединён с магистральным трубопроводом системы капельного орошения. В магистральный трубопровод встроен модуль активации. Этот модуль управляет подачей воды в систему – он включается и выключается в зависимости от заданных условий. Капельные линии распределяют воду по зоне полива через капельницы. Работа системы организована так, чтобы вода подавалась автоматически, без постоянного вмешательства человека. Главная особенность изобретения — наличие управляющего модуля активации, который при необходимости запускает полив, и отключает его после окончания орошения.

Недостатком известного изобретения является отсутствие многозонной диагностики (например, контроля давления на входе/выходе, обнаружения протечек или засоров); отсутствие датчиков влажности почвы на разных глубинах, чтобы учитывать реальные потребности растений; отсутствие беспроводных локальных модулей, из-за чего необходимо тянуть провода или ограничиваться одной точкой измерений, а также интеграции с удалённым управлением (Telegram, Wi-Fi).

Анализ известных технических решений показал, что технической проблемой в данной области является необходимость создания системы капельного орошения, обеспечивающей автоматический контроль работы (самодиагностику); возможность мониторинга влажности почвы в разных зонах и на разных глубинах; исключение длинных кабельных соединений; интеграцию с дистанционным управлением (например, через Telegram-бот).

Технический результат изобретения – повышение надёжности работы системы капельного орошения, за счет удалённого мониторинга и аварийного управления капельным орошением.

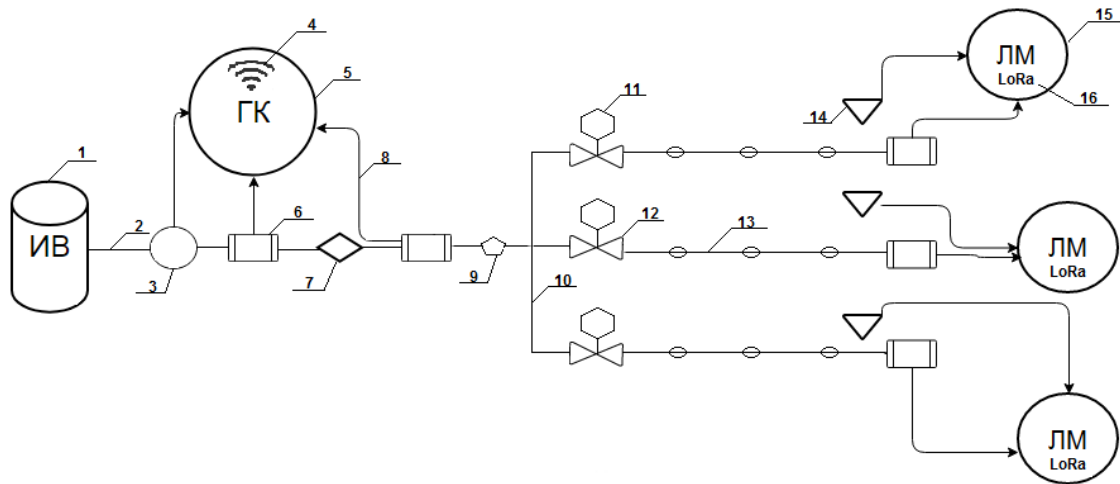
Для достижения заявленного результата в системе установлены датчики давления до и после фильтра, и в каждой зоне; датчик расхода в магистральном

трубопроводе, а также необходимое количество датчиков влажности почвы. Управление поливом осуществляется главным контроллером ESP32 на основании данных от локальных модулей с микроконтроллерами и радиомодулем LoRa. Электромагнитные клапаны для воды, оснащенные автономным узлом с солнечным питанием и радиомодулем LoRa установлены на каждой зоне и управляются автоматически. Для удалённого контроля предусмотрена интеграция с Telegram-ботом.

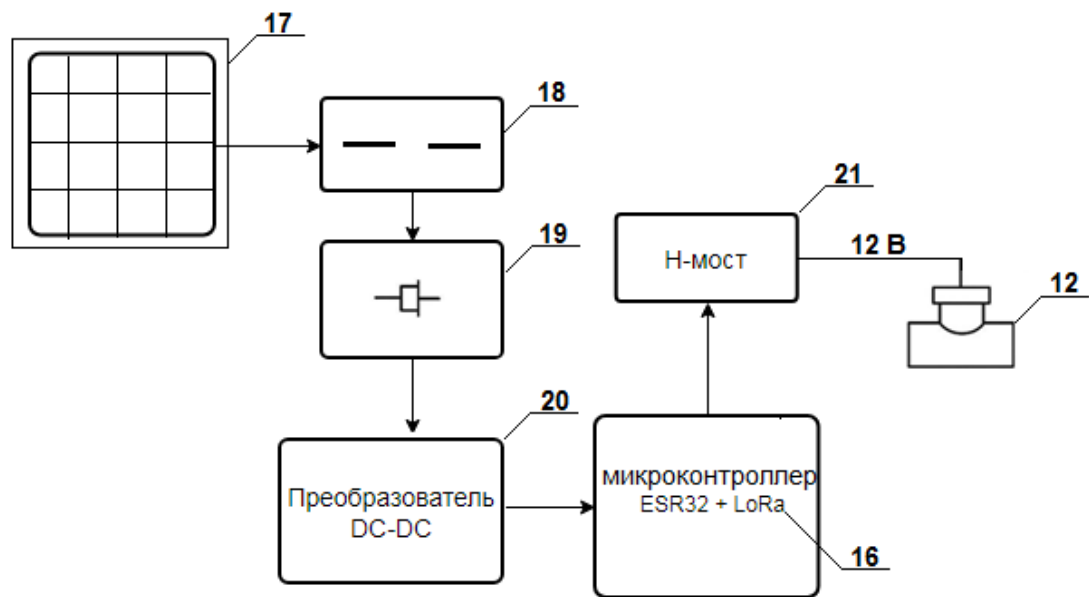
Технический результат достигается за счёт встроенной самодиагностики, включающей контроль давления до/после фильтра, расхода и состояния клапанов, уровня воды; увеличение точности управления поливом благодаря использованию нескольких датчиков влажности почвы на разных глубинах в каждой зоне; сокращение эксплуатационных затрат путём внедрения распределённых локальных модулей с беспроводной связью, исключающих длинные проводные соединения; повышение эффективности водопользования благодаря включению и выключению полива в зависимости от фактической влажности почвы и диагностических параметров системы; обеспечение удобства эксплуатации за счёт интеграции с удалённым интерфейсом (например, Telegram-бот), позволяющим оператору получать уведомления, отчёты и, при необходимости, изменять настройки или инициировать ручной полив.

Система состоит из элементов, отраженных на рисунке 7.2а. Система включает источник воды, магистральный трубопровод, канал связи Wi-Fi, главный контроллер, датчики давления, (на входе до фильтра, на выходе после фильтра), а также зональные и в конце линии, проводную связь, датчик расхода, фильтр (сетчатый или дисковый), распределительный трубопровод, автономный узел с солнечным питанием и радиомодулем LoRa с электроклапаном с фиксацией (DC-latching) (по одному на каждую зону), трубопровод с капельницами, датчики влажности почвы (по 2 и более на зону, устанавливаемые на разных глубинах), насос, управляемый через реле (220 В) или MOSFET (12 В), беспроводные локальные модули сбора данных, передающие информацию по радиоканалу, программное обеспечение с функциями самодиагностики (анализ

ΔP до/после фильтра, протечек, засоров, отклонений в расходе), интерфейс для пользователя через Telegram-бот (получение статуса, уведомления об ошибках, дистанционное включение полива).



а



б

Рисунок 7.2. Структурная схема самодиагностируемой системы капельного орошения: а – Структурная схема самодиагностируемой системы капельного орошения; б – Автономный узел с солнечным питанием и LoRa и подключенным к нему электроклапаном. 1– источник воды; 2 – магистральный трубопровод; 3 – насос; 4 – канал связи Wi-Fi; 5 – главный контроллер; 6 – датчики давления, (на входе до фильтра, на выходе после фильтра); а также зональные и в конце линии;

7 – фильтр (сетчатый или дисковый); 8 – проводная связь; 9 – датчик расхода воды; 10 – распределительный трубопровод; 11 – автономный узел с солнечным питанием и LoRa; 12 – электроклапан с фиксацией (DC-latching); 13 – трубопровод с капельницами; 14 – датчики влажности почвы (по 2 и более на зону, устанавливаемые на разных глубинах); 15 – беспроводные локальные модули сбора данных, передающие информацию по радиоканалу; 16 – радио модуль связи LoRa; 17 – солнечная панель (10–20 Вт); 18 – контроллер заряда; 19 – аккумулятор; 20 – DC-DC преобразователь 12→5 В 20 для питания электроники; 21 – H-мост для управления катушкой клапана.

Система капельного орошения, включает: главный контроллер – вычислительный узел, выполненный с возможностью приёма данных от датчиков, обмена с локальными модулями по радиоканалу и управления исполнительными механизмами. Датчики давления – как минимум один датчик на входе магистрального трубопровода до фильтра и один на выходе после фильтра, а также, при необходимости, зональные датчики давления в конце линии. Выходы датчиков соединены с аналоговыми входами главного контроллера. Датчик расхода установлен на магистральном трубопроводе после фильтра; его выход соединён с входом главного контроллера. Насос подключён к главному контроллеру через исполнительный модуль: релейный модуль с опторазвязкой (для 220 В) либо транзисторный ключ на MOSFET (для 12–24 В). Электромагнитный клапан с фиксацией (DC-latching), оснащенные автономным узлом с солнечным питанием и радио модулем LoRa, подключённые к управляющим выходам главного контроллера через соответствующие драйверы (реле/MOSFET). Локальный модуль, размещаемый в зоне орошения, содержащий локальный микроконтроллер (например, ESP32-C3 либо Arduino Pro Mini), один или несколько датчиков влажности почвы, устанавливаемых на разных глубинах и, при необходимости, зональный датчик давления. Локальный модуль снабжён радиомодулем LoRa и автономным источником питания солнечная панель. Радиомодуль LoRa обеспечивает приём/передачу пакетов телеметрии между локальными модулями и главным контроллером. Канал связи (Wi-Fi)

обеспечивает подключение главного контроллера к сети для удалённого мониторинга и управления. Пользовательский интерфейс (Telegram-бот) — сервис уведомлений и команд, взаимодействующий с главным контроллером через канал. Локальные модули размещаются в зонах полива, при этом каждый модуль соединён с датчиками влажности почвы короткими проводами, что исключает необходимость прокладки длинных кабелей по всей площади участка. Данные от модулей поступают на главный контроллер по радиоканалу, где происходит их обработка и анализ. Главный контроллер управляет работой насосного узла и электромагнитных клапанов с фиксацией (DC-latching), оснащенных автономным узлом с солнечным питанием и радиомодуль LoRa в зависимости от информации, получаемой от локальных модулей.

Такой подход обеспечивает построение распределённой сети датчиков, позволяющей формировать пространственно-дифференцированную картину влагообеспеченности и принимать решение о включении/выключении полива в каждой зоне.

Работает система следующим образом: сигналы от датчиков давления и датчика расхода поступают на главный контроллер, где нормализуются и используются для самодиагностики (оценка ΔP до/после фильтра, контроль засоров, утечек, соответствия расхода режиму орошения). Локальные модули периодически измеряют значения датчиков влажности и передают пакеты телеметрии на главный контроллер по каналу. Главный контроллер, используя указанные данные и алгоритмы, автоматически формирует управляющие сигналы на насос и электромагнитные клапана с фиксацией (DC-latching), оснащенные автономным узлом с солнечным питанием и радиомодулем LoRa, а также генерирует уведомления и принимает команды от пользовательского интерфейса.

Главный контроллер собирает данные от датчиков давления и влажности почвы, а также выполняет расписание полива. Главный контроллер по каналу связи с помощью радиомодуля LoRa передаёт команду «Открыть» или «Закрыть», ESP32 в узле принимает команду. Электромагнитный клапан с фиксацией (DC-latching), оснащенный автономным узлом с солнечным питанием и радиомодулем

LoRa меняет своё состояние и остаётся в нём без постоянного тока. Узел может отправить подтверждение выполнения команды и уровень заряда аккумулятора.

Каждый узел (рисунок 7.2б) включает солнечную панель (10–20 Вт) как источник энергии, контроллер заряда и аккумулятор, DC-DC преобразователь 12→5 В для питания электроники, микроконтроллер ESP32/ESP8266 с LoRa, H-мост для управления катушкой клапана, электромагнитный клапан.

Солнечная панель (10–20 Вт)— вырабатывает электричество днём, она подключена к контроллеру заряда, который регулирует зарядку аккумулятора и защищает систему от переразряда/перезаряда. Аккумулятор обеспечивает работу узла ночью и в пасмурную погоду, он отличается высокой циклической стойкостью и безопасностью. От аккумулятора идёт линия на преобразователь DC-DC 12→5 В, он питает микроконтроллер ESP32/ESP8266 с LoRa, LoRa обеспечивает надёжную связь на расстоянии до 1–2 км, что позволяет управлять клапаном без проводов. С аккумулятора питание поступает на H-мост. H-мост формирует кратковременные импульсы нужной полярности для электромагнитного клапана. Клапан открывается или закрывается импульсом длительностью 100–150 мс, после чего питание не требуется.

Датчики влажности и давления периодически передают данные на главный контроллер. Узлы у клапанов также передают уровень заряда аккумулятора и качество радиосигнала. Программа контроллера сравнивает данные с порогами или планом полива. Если влажность ниже нормы или наступило расписание, следовательно, нужно включить полив. Главный контроллер формирует команду (например, «Открыть клапан зоны 3»). Команда отправляется по LoRa в нужный узел. Узел принимает команду. Через H-мост подаёт короткий импульс на катушку клапана (100–150 мс). Клапан открывается, начинается подача воды. Узел замеряет ток катушки, изменение давления и/или расхода. Формирует АСК с отметкой «команда выполнена» или «ошибка». Главный контроллер получает квитанцию. Если клапан не открылся (давление/расход не изменились), значит – авария. Если открыта хотя бы одна зона, включается насос. Если все зоны закрыты – значит насос выключается. В Telegram-боте оператор видит статус зон, влажность,

давление, заряд АКБ узлов. Может вручную открыть/закрыть зоны или изменить план полива.

Работа автономного узла заключается в следующем: главный контроллер по LoRa передаёт команду «Открыть» или «Закрыть», ESP32 в узле принимает команду. Через H-мост на катушку клапана подаётся импульс нужной полярности. Клапан меняет своё состояние и остаётся в нём без постоянного тока. Узел может отправить подтверждение выполнения команды и уровень заряда аккумулятора.

По сравнению с прототипом предложенная система обеспечивает поддержание оптимального водного режима почвы в корнеобитаемой зоне растений, обеспечивает повышение надёжности работы системы капельного орошения за счет удалённого мониторинга и аварийного управления капельным орошением.

7.3. Расчет времени работы капельниц

В качестве исходной зависимости для определения количества воды, подаваемого за один полив, была использована известная формула расчета поливной нормы. В мелиоративной практике поливная норма рассматривается как объем воды, который необходимо подать на единицу площади для повышения влажности расчетного слоя почвы от предполивного уровня до заданного значения. В классическом виде расчет поливной нормы выполняется с учетом глубины расчетного слоя, плотности сложения почвы и разности влажности до и после полива. Для условий капельного орошения дополнительно учитывается доля площади, подлежащая локальному увлажнению, поскольку вода подается не на всю поверхность, а в зону действия водовыпуска. Такой подход используется в расчетах поливных норм при капельном орошении древесно-плодовых культур и при расчете контуров увлажнения почвы.

Исходная формула поливной нормы имеет вид:

$$m_{\text{нетто}} = 100 \cdot h \cdot \alpha \cdot \text{Ant} \cdot (W_{\text{НВ}} - W_{\text{П}}), \quad (7.1)$$

где: $m_{\text{нетто}}$ – поливная норма, м³/га;

h – глубина активного слоя, м;

α – плотность почвы, т/м³;

W_{HB} – влажность активного слоя почвы при наименьшей влагоемкости, % от массы сухой почвы;

$W_{П}$ – влажность активного слоя почвы перед поливом, % от массы сухой почвы;

Ant – доля площади, подлежащая увлажнению.

Данная формула позволяет определить объем воды, необходимый для восполнения дефицита влаги в расчетном слое почвы. Однако для условий молодого вишневого сада при капельном орошении ее необходимо связать не только с поливной нормой, но и с продолжительностью работы капельной линии.

Доля площади, подлежащая увлажнению, определялась с учетом числа водовыпусков под одним растением, площади увлажнения одним водовыпуском и схемы посадки:

$$Ant = (n \cdot W) / (a \cdot b),, \quad (7.2)$$

где: n – число водовыпусков под одним растением;

W – площадь увлажнения одним водовыпуском, м²;

a – расстояние между деревьями, м;

b – расстояние между рядами деревьев, м.

Использование данного коэффициента обусловлено тем, что при капельном орошении формируется локальная зона увлажнения, размеры которой зависят от расхода водовыпуска, продолжительности полива, водно-физических свойств почвы и исходной влажности. Необходимость учета локального контура увлажнения при расчете поливных норм для капельного орошения плодовых культур подтверждается современными исследованиями по расчету контуров увлажнения и поливных норм.

Для условий опыта схема посадки молодого вишневого сада составляла: 0,66м x 2,0м. Площадь питания одного растения составила: $S_{пит} = 0,66 \cdot 2,0 = 1,32 \text{ м}^2$.

При одной капельнице под растением и расчетной площади увлажнения одним водовыпуском была определена доля увлажняемой площади: $S = 0,08$. Это

значение использовалось для учета локального характера увлажнения почвы при капельном поливе

Таким образом, схема посадки учитывается уже на этапе определения доли увлажняемой площади. Чем меньше площадь питания растения, тем выше доля локально увлажняемой площади при одинаковом числе водовыпусков и одинаковой площади увлажнения одним водовыпуском.

После определения поливной нормы был выполнен переход от величины, выраженной в м³/га, к продолжительности работы капельной системы. Для этого сначала определяли общий объем воды, подаваемый на опытный участок:

$$V_{\text{уч}} = 100 \cdot h \cdot \alpha \cdot Ant \cdot (W_{\text{нв}} - W_{\text{п}}) \cdot F, \quad (7.3)$$

где: $V_{\text{уч}}$ – объем воды на участок, м³;

F – площадь опытного участка, га.

Далее объем переводили в литры:

$$V_{\text{л}} = V_{\text{уч}} \cdot 1000 \quad (7.4)$$

После этого определяли объем воды, приходящийся на одно растение:

$$V_{\text{раст}} = \frac{V_{\text{л}}}{N} \quad (7.5)$$

где: $V_{\text{раст}}$ – объем воды на одно растение, л;

N – количество растений на опытном участке.

Продолжительность работы капельницы под одним растением определяли как отношение объема воды, приходящегося на растение, к суммарному расходу водовыпусков:

$$T_{\text{расч}} = \frac{V_{\text{раст}}}{q \cdot n}, \quad (7.6)$$

где: $T_{\text{расч}}$ – расчетная продолжительность полива, ч;

q – расход одной капельницы, л/ч;

n – число капельниц под одним растением.

При объединении приведенных выражений получена расчетная формула продолжительности капельного полива:

$$T_{\text{расч}} = \frac{100 \cdot h \cdot \alpha \cdot Ant \cdot (W_{\text{нв}} - W_{\text{п}}) \cdot F \cdot 1000}{N \cdot q \cdot n} \quad (7.7)$$

Данная формула позволяет перейти от расчетной поливной нормы к времени работы капельной системы с учетом фактической площади участка, количества растений, расхода капельницы и числа водовыпусков под одним растением.

Однако в реальных полевых условиях после подачи расчетного объема воды фактическая влажность почвы может не полностью совпадать с заданным целевым уровнем. Это связано с перераспределением влаги в почве, изменением формы локального контура увлажнения, исходным влагосодержанием, плотностью почвы, погодными условиями и погрешностями измерения влажности. В связи с этим в модель был введен коэффициент достижения заданной влажности:

$$K_{\omega} = \frac{W_T - W_{\Pi}}{W_{\Phi} - W_{\Pi}} \quad (7.8)$$

где: K_{ω} – коэффициент уточнения по фактическому достижению заданной влажности;

W_T – требуемая влажность почвы послеполива, % от массы абсолютно сухой почвы;

W_{Π} – влажность почвы перед поливом, % от массы абсолютно сухой почвы;

W_{Φ} – фактическая влажность почвы после полива, % от массы абсолютно сухой почвы.

Если $K_{\omega} = 1$, то фактическая влажность после полива соответствует целевой. Если $K_{\omega} > 1$, то расчетная подача воды оказалась недостаточной, и продолжительность полива требует увеличения. Если $K_{\omega} < 1$, то, фактический прирост влажности превысил требуемый, и расчетное время может быть уменьшено.

С учетом коэффициента уточненная формула принимает вид:

$$T_{\text{расч}} = \frac{100 \cdot h \cdot \alpha \cdot \text{Ant} \cdot (W_{\text{HB}} - W_{\Pi}) \cdot F \cdot 1000}{N \cdot q \cdot n} \cdot K_{\omega} \quad (7.9)$$

По результатам экспериментальных исследований была выполнена проверка разработанной формулы определения продолжительности работы

капельной системы для различных режимов предполивной влажности почвы (приложение 11–13). Сопоставление расчетного и фактического времени работы капельниц проводили для вариантов поддержания влажности почвы 60–80% НВ, 70–90% НВ и 80–100% НВ в течение 2023–2025 гг.

Таблица 7.1 – Параметры формулы определения времени работы капельниц

Формула	Поправочный коэффициент, K_{ϕ}	Расхождение фактического и расчетного времени, %
60-80%НВ (2023г.)	0,95	4,73
60-80%НВ (2024г.)	0,96	4,29
60-80%НВ (2025г.)	0,94	6,27
60-80%НВ (среднее)	0,96	5,02
70-90%НВ (2023г.)	1,00	0,17
70-90%НВ (2024г.)	0,98	2,20
70-90%НВ (2025г.)	0,98	2,19
70-90%НВ (среднее)	0,99	1,47
80-100%НВ (2023г.)	1,04	3,46
80-100%НВ (2024г.)	1,02	1,63
80-100%НВ (2025г.)	1,01	1,20
80-100%НВ (среднее)	1,02	2,29

Результаты расчета поправочного коэффициента, а также расхождения фактического и расчетного времени работы системы в таблице 7.1. Анализ полученных данных показал, что среднее значение коэффициента уточнения изменялось в пределах: 0,94–0,96 для режима 60–80% НВ; 0,98–1,00 для режима 70–90% НВ; 1,03–1,04 для режима 80–100% НВ. Среднее расхождение между расчетным и фактическим временем работы капельниц составило: 5,02% для режима 60–80% НВ; 1,47% для режима 70–90% НВ; 3,82% для режима 80–100% НВ.

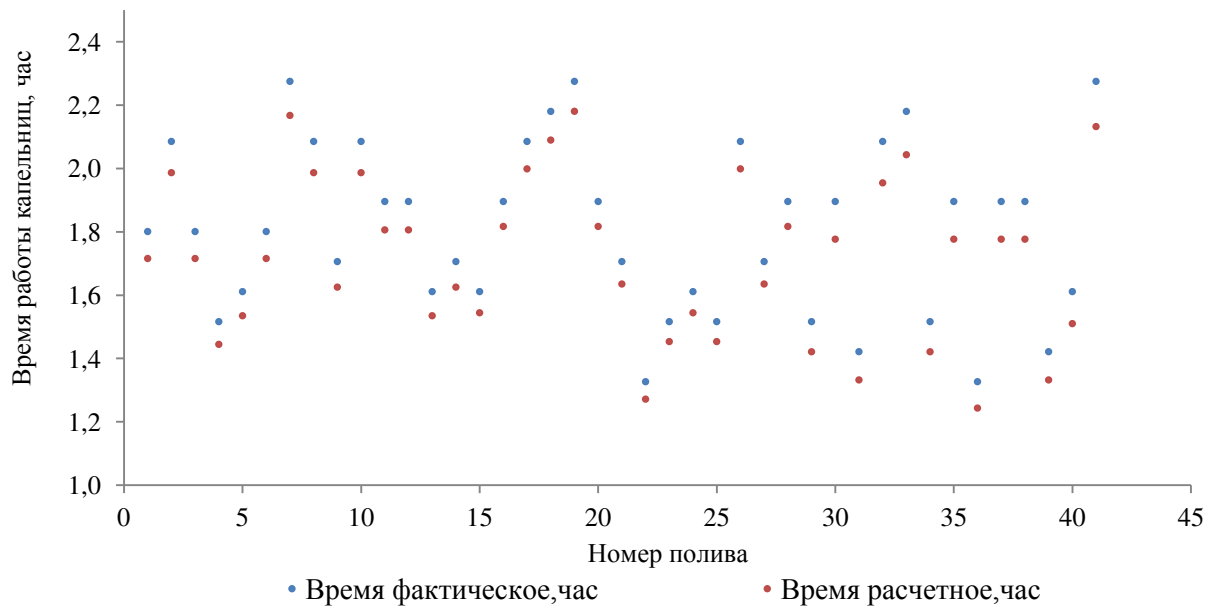


Рисунок 7.6 – Расчетное и фактическое время работы капельниц на варианте 60-80%НВ за 2023–2025 годы

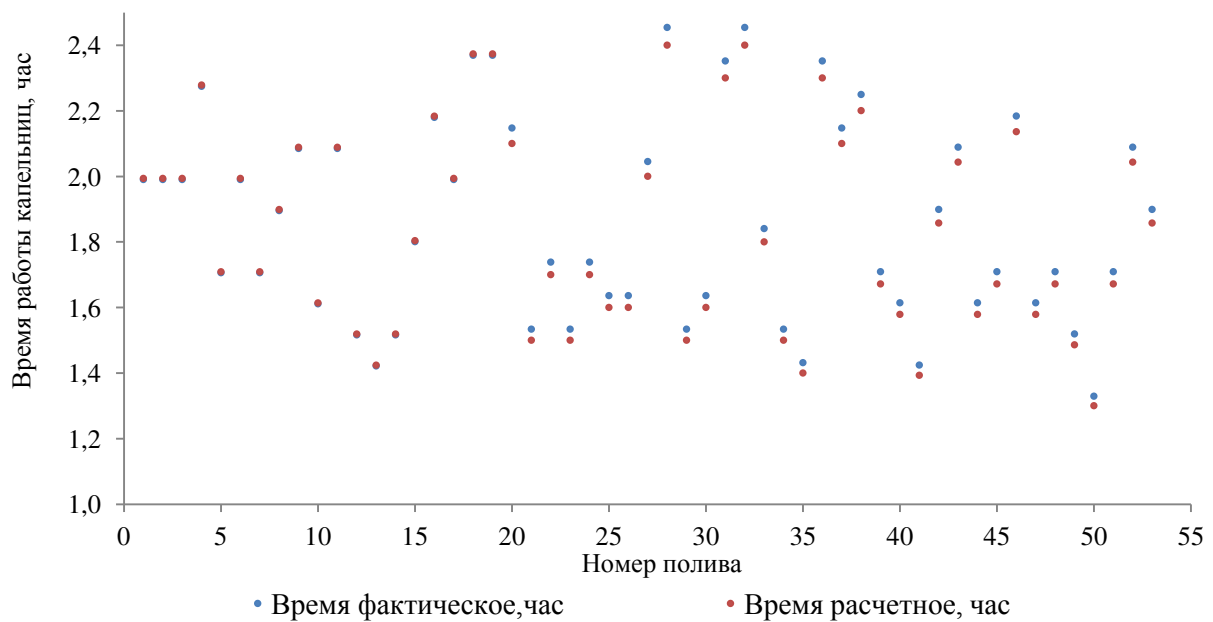


Рисунок 7.7 – Расчетное и фактическое время работы капельниц на варианте 70–90%НВ за 2023–2025 годы

На рисунках 7.6–7.8 представлено сопоставление расчетного и фактического времени работы капельниц для исследуемых режимов орошения. Анализ графиков показывает, что расчетные значения в большинстве случаев

близки к экспериментальным данным, а отклонения носят не систематический характер.

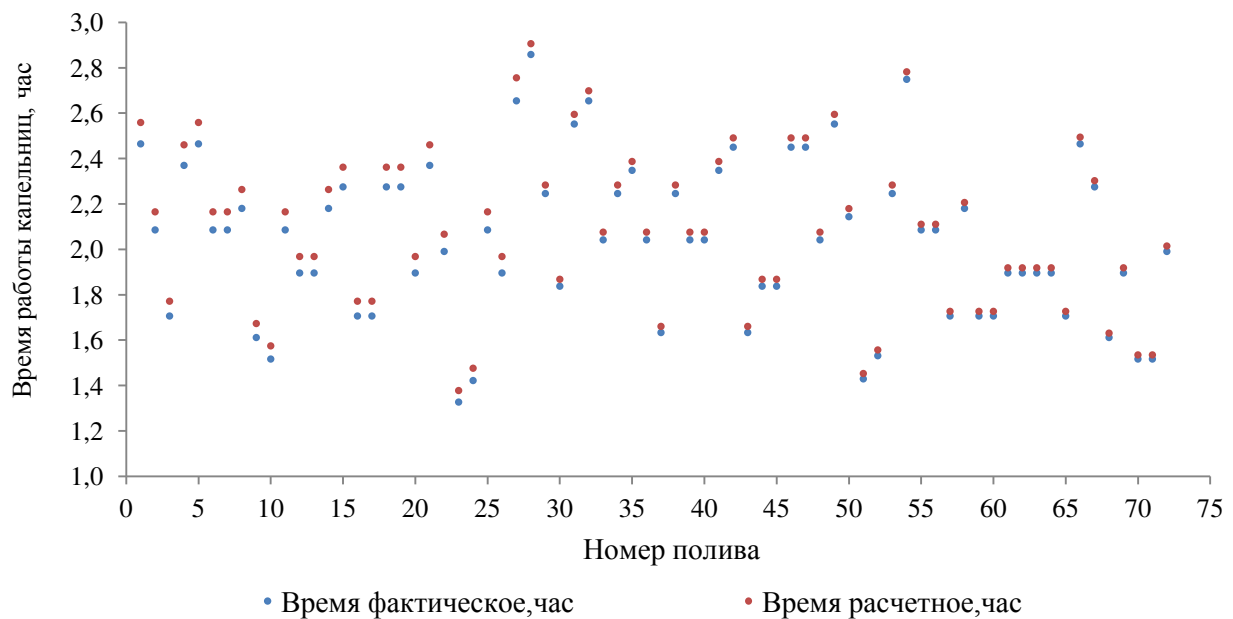


Рисунок 7.8 – Расчетное и фактическое время работы капельниц на варианте 80-100%НВ за 2023–2025 годы

Таким образом, разработанная формула дополняет классическую формулу расчета поливной нормы переходом к продолжительности работы капельной системы и экспериментальной корректировкой по фактически достигнутому уровню влажности почвы в условиях легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы. Это позволяет использовать модель не только для расчета объема воды, но и для практического управления продолжительностью полива в системе капельного орошения молодого вишневого сада.

Выводы по главе

1. Результатом проведенного исследования стала разработанная система, повышающая эффективность дистанционного управления процессом орошения за счёт оперативного удалённого регулирования длительность полива, его режима, осуществления полива зон с различной структурой почвы и рельефом, разными нормами полива. Разработанная система оснащена промежуточными

Wi-Fi реле насоса и электроклапанов, мобильными метеостанциями с GPRS-модулем. При разработанной методике удалённого управления работой системы капельного орошения почвы, рабочее оборудование (де-)активируется с учётом анализа уровня влажности почвы, наличия и интенсивности атмосферных осадков.

2. Анализ известных технических решений показал, что технической проблемой является необходимость создания системы капельного орошения, обеспечивающей автоматический контроль работы (самодиагностику); возможность мониторинга влажности почвы в разных зонах и на разных глубинах; исключение длинных кабельных соединений; интеграцию с дистанционным управлением. Предложенная система обеспечивает поддержание оптимального водного режима почвы в корнеобитаемой зоне растений, обеспечивает повышение надёжности работы системы капельного орошения за счет удалённого мониторинга и аварийного управления капельным орошением.

3. Разработанная формула дополняет классическую формулу расчета поливной нормы переходом к продолжительности работы капельной системы и экспериментальной корректировкой по фактически достигнутому уровню влажности почвы в условиях легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы. Это позволяет использовать формулу не только для расчета объема воды, но и для практического управления продолжительностью полива в системе капельного орошения молодого вишневого сада.

ГЛАВА VIII. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ МОЛОДОГО ВИШНЕВОГО САДА ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ

При расчетах затрат на выращивание молодого вишневого сада необходимо учитывать стоимость саженцев вишни в возрасте трех лет (таблица 8.1). Средняя розничная стоимость саженцев вишни 3-х лет составила 1023 рубля за одно растение в питомниках Московской области. Согласно схеме опыта при расположении растений 0,66–2,0 м на 1 гектаре будет размещено 5142 дерева вишни.

В таблице 8.2 представлены затраты на создание и эксплуатацию молодого вишневого сада на площади 1 га. с системой капельного орошения. В структуру капитальных вложений включены расходы на приобретение и монтаж оборудования для системы орошения, стоимость которого составляет 504 661 руб. Наибольшая доля затрат приходится на слепую трубку (195 000 руб.), электромагнитные клапаны (63 000 руб.), регуляторы давления (56 700 руб.), капельницы (42 500 руб.) и магистральный трубопровод (41 400 руб.).

Эксплуатационные расходы включают приобретение посадочного материала, стоимость поливной воды, оплату труда агронома и сборщиков урожая. Основную часть затрат составляет покупка саженцев вишни — 5 260 266 руб., что соответствует около 86 % всех затрат на закладку сада. Общая стоимость выращивания молодого сада до начала плодоношения составляет 6 085 558,65 руб. на 1 га, а затраты на сбор урожая — 92 000 руб. в расчете на один месяц работы сборщика. Анализ структуры затрат показывает, что наибольшие финансовые вложения связаны с приобретением посадочного материала, тогда как расходы на систему капельного орошения составляют относительно небольшую часть общих вложений. При этом именно установка системы орошения является необходимым условием обеспечения оптимального водного режима растений, повышения урожайности и последующей окупаемости проекта, что подтверждается дальнейшими расчетами экономической эффективности. При расчете вложений выращивания вишневого сада без орошения, затраты на систему капельного орошения и стоимость поливной воды не учитывались.

Таблица 8.1 – Средняя розничная стоимость саженцев вишни в питомниках
Подмосковья

Питомник	Розничная стоимость, руб.				Источник данных
	Трехлетние	Четырехлетние	Пятилетние	Шестилетние	
Лучший сад	900	2000	4500	6500	https://luchshii-sad.ru/product/vishnya-volochaevka/
Арбор Питомник	987	1799	4900	6750	https://arbor-pitomnik.ru/vishnya-molodezhnaya
Садовый мир	1440	3000	7200	9600	https://sadovyi-mir.ru/catalog/vishnya/vishnya-volochaevka/
Королевски й сад	900	2000	4500	6500	https://korolevskysad.ru/product/vishnya-volochaevka-sazhentsy/
Много растений	890	1500	5700	6500	https://mnogo-rastenii.ru/sazhency-vishnea-volochaevka
Средняя стоимость, руб.	1023	2060	5360	7170	-

Таблица 8.2 – Расчет затрат при выращивании молодого вишневого сада (на 1 га
площади)

Показатели	Объем	Удельная стоимость	Источник данных	Стоимость, руб.
Стоимость оборудования с НДС, включая затраты на монтаж				
Труба ПНД для воды SDR17, 32 мм, бухта 100м (магистральный трубопровод)	6 шт.	6900,00 руб./шт.	https://www.polivalka.su	41 400,00
Труба ПНД для воды SDR13, 25 мм, бухта, 100м (распределительный трубопровод)	5 шт.	5100,00 руб./шт.	https://www.polivalka.su	25 500,00
Трубка слепая, 20мм	5000 м	39 руб./м	https://www.polivalka.su	195 000
Капельница компенсированная, разборная 4 л/час	5000шт.	8,50 руб./шт.	https://www.polivalka.su	42 500,00
Тройник зажимной редукционный 32х25х32	42 шт.	175,00руб./шт.	https://www.polivalka.su	7 350,00
Тройник зажимной редукционный	42 шт.	119,00 руб./шт.	https://www.polivalka.su	4 998,00

Показатели	Объем	Удельная стоимость	Источник данных	Стоимость, руб.
Стоимость оборудования с НДС, включая затраты на монтаж				
25х25х25				
Штуцер угловой 20х20 мм	84 шт.	20,00 руб./шт.	https://www.polivalka.su	1 680,00
Тройник зажимной редукционный 25х20х25	167 шт.	136,00руб./шт.	https://www.polivalka.su	22 712,00
Регулятор давления 3/4" регулир. с манометром	42 шт.	1350,00 руб./шт.	https://www.polivalka.su	56 700,00
Муфта зажимная 25мм х ВР 3/4"	84 шт.	64 руб./шт.	https://www.polivalka.su	5 376,00
Заглушка для трубок 20 мм Senkron	250 шт.	14,00 руб./шт.	https://www.polivalka.su	3 500,00
Заглушка зажимная 32мм	1 шт.	91,00 руб./шт.	https://www.polivalka.su	91,00
Фильтр 130 микрон сетчатый НР 1 1/4" х НР 1 1/4"	2 шт.	1 550,00руб./шт.	https://www.polivalka.su	3 000,00
Муфта зажимная 32мм х ВР 1 1/4"	4	91,00 руб./шт.	https://www.polivalka.su	364,00
Насос Karcher ВР 2 Cistern	1	31 490,00руб./шт.	https://k-shop.ru/product	31 490,00
Клапан эл.магнитный импульсный 3/4"	42	1 500,00руб./шт.	https://www.polivalka.su	63 000,00
Итого				504 661,00
Затраты на выращивание и сбор продукции				
Вишня 3 года	5142 шт.	1023,00 руб./шт.	Средняя розничная цена по 5 питомникам	5 260 266,00
Стоимость поливной воды (средняя оросительная норма за год), м ³	771 м ³	33,15 руб./м ³	https://www.mosvodokanal.ru	25 558,65
Средняя зарплата сотрудника (агроном) с учетом НДС/Л	7 мес.	135 000,00 руб./мес.	https://hh.ru/	945 000,00
Итого				6085558,65
Средняя зарплата сотрудника (сборщик ягод) с учетом НДС/Л	1 мес.	92 000 руб./мес.	https://hh.ru/	92 000,00

Для определения средней рыночной стоимости плодов вишни были использованы данные десяти торговых площадок (таблица 8.3), где стоимость

продукции варьировала от 290,00 руб./кг (Экофрут) до 996,00 руб./кг (Азбука вкуса), что свидетельствует о значительной дифференциации цен в зависимости от торговой сети и условий реализации. Средняя розничная стоимость плодов вишни по исследуемой выборке составила 528,98 руб./кг. Полученное значение принято в качестве исходного показателя при расчете экономической эффективности эксплуатации молодого вишневого сада и оценке потенциальной выручки от реализации продукции.

Таблица 8.3 – Средняя розничная стоимость плодов вишни в интернет-магазинах Москвы

Интернет-магазин	Стоимость, руб/кг	Источник данных
Лента	558,00	https://lenta.com/product/vishnya-500g-28150/
Перекресток	499,99	https://www.perekrestok.ru/cat/c/154/agody?filter.tip-yagodyfrukta=visna
Азбука вкуса	996,00	https://av.ru/i/397567
ВкусВилл	560,00	https://vkusvill.ru/goods/vishnya-616/
Дикси	349,90	https://dixy.ru/product/vishnya-2000003794/
Ашан	549,99	https://www.auchan.ru/product/vishnya_krasnaya_kg_ves/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F
Экофрут	290,00	https://ekofrut.ru/berries/cherry.html
МскПродукт	500,00	https://mskproduct.ru/magazin/svezhaya-vishnya/
Лесной магазин	400,00	https://xn----8sbalhqhcqniie4b.xn--p1ai/svezhaya-vishnya
Яндекс Лавка	586,00	https://lavka.yandex.ru/good/vishnya-500-gram
Средняя стоимость	528,98	-

Таблица 8.4 отражает экономическую эффективность выращивания вишни на площади 1 га при различных режимах орошения в возрасте деревьев от четырех до шести лет. Анализ показывает, что экономические показатели существенно зависят от уровня предполивной влажности почвы.

В первый год эксплуатации сада ни контрольный вариант, ни варианты с режимами орошения 60–80 % НВ и 80–100 % НВ еще не достигают окупаемости: финансовый результат остается отрицательным и составляет соответственно –2 036 412, –1 263 494 и –462 433 руб./га. Единственным вариантом, обеспечившим положительный финансовый результат уже в первый год плодоношения, является режим 70–90 % НВ, где прибыль составила 209 425 руб./га. На второй год эксплуатации (пятилетние саженцы) все варианты становятся экономически

эффективными. При этом наибольшая накопленная прибыль наблюдается при режиме 70–90 % НВ и составляет 10 849 552 руб./га. Для вариантов 80–100 % НВ, 60–80 % НВ и контроля этот показатель равен 9 144 067, 7 412 742 и 3 590 624 руб./га соответственно. На третий год тенденция сохраняется. Максимальная накопленная прибыль также получена при режиме 70–90 % НВ — 22 818 939 руб./га, что превышает показатели варианта 80–100 % НВ (20 157 350 руб./га), варианта 60–80 % НВ (17 366 557 руб./га) и контроля (10 793 941 руб./га).

Таблица 8.4 – Экономическая эффективность выращивания вишни (на 1 га площади)

Возраст деревьев	Статья расходов / доходов	Стоимость по вариантам опыта, руб.			
		Контроль	60-80 % НВ	70-90 % НВ	80-100%НВ
Четырехлетние	Стоимость оборудования	–	504 661	504 661	504 661
	Затраты на выращивание	5 260 266	6 230 824	6 230 824	6 230 824
	Затраты на сбор плодов	368 000	368 000	368 000	368 000
	Стоимость продаж плодов	3 591 853	5 839 992	7 312 910	6 641 052
	Прибыль/расход	–2 036 412	–1 263 494	209 425	–462 433
Пятилетние	Затраты на выращивание	–	970 558	970 558	970 558
	Затраты на сбор плодов	368 000	368 000	368 000	368 000
	Стоимость продаж плодов	5 995 036	9 044 235	11 008 126	9 974 499
	Накопленная прибыль/расход	3 590 624	7 412 742	10 849 552	9 144 067
Шестилетние	Затраты на выращивание	–	970 558	970 558	970 558
	Затраты на сбор плодов	368 000	368 000	368 000	368 000
	Стоимость продаж плодов	7 571 317	11 292 374	13 307 946	12 351 841
	Накопленная прибыль/расход	10 793 941	17 366 557	22 818 939	20 157 350

На основании полученных данных можно сделать вывод, что применение капельного орошения существенно повышает экономическую эффективность выращивания вишни. Наиболее экономически эффективным является вариант

поддержания предполивной влажности почвы на уровне 70–90 % НВ. Несмотря на одинаковые капитальные затраты на систему капельного орошения для всех опытных вариантов, именно этот режим обеспечивает самую раннюю окупаемость (1-й год), наиболее высокую стоимость реализованной продукции и максимальную прибыль. Режим орошения 70–90 % НВ является наиболее предпочтительным, а также максимальную прибыль на протяжении последующих лет эксплуатации сада.

Выводы по главе

1. Наиболее быстрый возврат инвестиций наблюдается при режиме 70–90% НВ, который обеспечивает максимальную прибыль уже в первом году выращивания.
2. Внедрение капельного орошения является экономически оправданным при выращивании молодого вишневого сада.
3. Оптимальным режимом орошения является поддержание влажности почвы на уровне 70–90% НВ, обеспечивающее наибольшую экономическую отдачу, высокую прибыль и минимальные сроки окупаемости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Режим капельного орошения оказывает влияние на агрохимическое состояние почвы под молодыми насаждениями вишни сортов Волочаевка и Молодёжная. Наиболее благоприятные изменения комплекса агрохимических показателей наблюдались при поддержании влажности почвы в пределах 60–80 % НВ для сорта Волочаевка и 70–90 % НВ для сорта Молодёжная.

2. Изучение особенностей процесса формирования и динамики контура увлажнения почвы при различных режимах капельного орошения показало, что в условиях дерново-подзолистых почв Центрального Нечерноземья режим 70-90% НВ может рассматриваться как наиболее оптимальный, обеспечивающий формирование достаточного объёма увлажнённой почвы и интенсивное развитие корневой системы при более рациональном использовании оросительной воды по сравнению с режимом 80–100% НВ.

3. Изучаемые биометрические показатели (диаметр ствола, высота, площадь листовой поверхности, объем корневой системы) молодых деревьев вишни показывают, что вариант 70–90 % НВ обеспечивал наиболее благоприятные условия для роста растений, что проявлялось в максимальных значениях высоты ствола (до 133–135 см), площади листовой поверхности (до 740–850 см²) и диаметра ствола у обоих сортов (до 27,8–27,9 см). Режим 80–100 % НВ также способствовал улучшению биометрических показателей по сравнению с контролем, однако в ряде случаев уступал варианту 70–90 % НВ.

4. Оптимальный баланс биохимических показателей качества формировался при режиме 70–90 % НВ. В этих условиях плоды характеризовались повышенным содержанием сахаров 8,4–9,5%, достаточным уровнем сухих веществ 15,5–17,0%, пониженной кислотностью и стабильным накоплением витамина С 16,5-18,0 мг/100 г. Для обоих сортов именно этот режим обеспечивал сочетание хороших вкусовых характеристик и высокого уровня биологически активных веществ.

5. Водопотребление деревьев вишни зависело от условий увлажнения, погодных факторов и фазы активного роста растений. Максимальные значения от 322 до 445 м³/га приходились на летний период, характеризующийся наиболее

высокой температурой воздуха и интенсивным развитием растений. На основании зависимости водопотребления молодых деревьев вишни от среднедекадной температуры воздуха, возраста и фазы развития растения получена модель расчета водопотребления молодого вишневого сада. Наиболее высокие значения биоклиматических коэффициентов наблюдались в период наиболее интенсивного роста и формирования плодов – со второй декады июня по первую декаду августа.

6. Проведение систематических поливов малыми нормами (от 34,9 до 49,3 м³/га) обеспечило поддержание влажности почвы на заданных условиями опыта уровнях. Поддержание относительно стабильной влажности почвы позволило уменьшить влияние стрессовых условий, возникающих в результате сильного колебания влажности почвы, периодического иссушения и увлажнения.

7. Результатом проведенного исследования стали разработанные системы дистанционного управления капельным орошением и автоматическая, самодиагностируемая система капельного орошения, повышающие эффективность управления процессом орошения за счёт оперативного удалённого регулирования длительности полива, его режима, осуществления полива зон с различной структурой почвы и рельефом, разными нормами полива, а также обеспечивающие повышение надёжности работы системы капельного орошения за счет удалённого мониторинга и аварийного управления капельным орошением.

8. Применяемая технология капельного орошения молодых деревьев вишни соответствует критериям экономической эффективности. С точки зрения показателя рентабельности наиболее эффективным является выращивание молодого вишневого сада в вариантах опыта с поддержанием влажности в корнеобитаемом слое почвы в диапазоне 70–90 % НВ (22 818,939 тысяч рублей) и 80–100 % НВ 22 157,350 тысяч рублей) на третий год эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абезин, В.Г. Система капельного орошения с модулем активации оросительной воды: пат. 2410869 Рос. Федерация: МПК A01G 25/00 / В. Г. Абезин. – № 2009135600/21; заявл. 24.09.2009; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 4.
2. Азаматов, М.А. Влияние орошения и удобрения на рост, развитие и плодоношение яблони в условиях степной зоны Кабардино-Балкарии / М.А. Азаматов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 4 (16). – С. 3–10.
3. Акпасов, А.П. Применение цифровых технологий для автоматизации ирригационного оборудования при выращивании сельскохозяйственных культур / А.П. Акпасов, Р.Б. Туктаров, М.И. Морозов, П.П. Акпасов // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». – 2024. – № 3. – С. 3–11.
4. Акпасов, А. П. Телеметрия и автоматизация фертигационного полива овощных культур / А.П. Акпасов, Р.Б. Туктаров, М.Е. Кадомцева, Д.А. Греков // Аграрный научный журнал. – 2026. – № 2. – С. 112–118. – DOI 10.28983/asj.y2026i2pp112-118.
5. Албогачиев, З.С. Техника и технология мелкодисперсного дождевания на горных склонах / З.С. Албогачиев // Природообустройство. – 2010. – № 4. – С. 19–23.
6. Алиев, З.Г. Эффективность применения системы малоинтенсивного орошения ореховых садов в условиях Габалинского района / З.Г. Алиев, И.Г. Алиев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 8 (94). – С. 29–32.
7. Алиев, Р.Б. Капельное орошение за рубежом и в Азербайджане / Р.Б. Алиев // Бюллетень науки и практики. – 2022. – Т. 8, № 4. – С. 128–133.
8. Алпатов, А.М. Влагообороты в природе и их преобразования / А.М. Алпатов. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. – 323 с.
9. Алпатов, С.М. Методика расчета режимов орошения сельскохозяйственных культур на основе биоклиматического метода для

Европейской части СССР с применением ЭВМ / С. М. Алпатыев. – Киев: ММВХ СССР, 1973. – 9 с.

10. Алпатыев, С.М. Возрастные изменения испарения у растений и поливной режим / С.М. Алпатыев // Биологические основы орошаемого земледелия. – Москва: Наука, 1966. – С. 57–68.

11. Андреев, А.М. Энциклопедия обустройства садовых и приусадебных участков / А. М. Андреев. – Москва: РИПОЛ КЛАССИК, 2001. – 525 с.

12. Апажев, А.К. Особенности орошения многолетних насаждений / А.К. Апажев, И.М. Ханиева, Б.Х. Амшоков, Т.З. Шонтуков, Т.И. Ахматова // Московский экономический журнал. – 2023. – № 2. – С. 67–79.

13. Апажев, А.К. Многофункциональная система орошения и защиты низкорослых садов интенсивного типа и их лесозащитных полос / А.К. Апажев, Ю.А. Шекихачев, Л.М. Хажметов. – Нальчик, 2018. – 285 с.

14. Апажев, А.К. Инновационные технологии и техника орошения садов / А.К. Апажев, Ю.А. Шекихачев // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. – 2021. – № 1 (31). – С. 73–79.

15. Астапов, С. В. Мелиоративное почвоведение: практикум / С.В. Астапов. – Москва: Сельхозгиз, 1958. – 369 с.

16. Ахмедов, А.Д. Орошение садов в условиях Волгоградской области / А.Д. Ахмедов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2009. – № 3. – С. 8–16.

17. Ахмедов, А.Д. Контуры увлажнения почвы при капельном орошении / А.Д. Ахмедов, Е.Ю. Галиуллина // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 3 (27). – С. 183–188. – EDN PCXLGR.

18. Баширов, Н.Б. Капельное орошение виноградника в Азербайджане / Н. Б. Баширов // Аграрная наука Азербайджана. – 1998. – № 2. – С. 17–20.

19. Беловолова, А.А. Физиология растений: учебное пособие / А. А. Беловолова, Н. В. Громова, Е. В. Голосной [и др.]. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского государственного аграрного университета, 2019. – 80 с.

20. Беседина, Т.Д. Влияние режимов капельного орошения на свойства почв под насаждениями *Actinidia deliciosa* / Т.Д. Беседина, Ц.В. Тутберидзе, А.П. Бойко, Г.Б. Тория // Новые технологии. – 2018. – № 3. – С. 159–165.
21. Болотов, А.Г. Автоматизированная система для исследования теплофизических характеристик почв / А.Г. Болотов, С.В. Макарычев, А.А. Левин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2002. – № 3 (7). – С. 20–22.
22. Болотов, А.Г. Определение теплофизических свойств почв с использованием систем измерения ZETLAB / А.Г. Болотов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 12 (98). – С. 48–50.
23. Бородычев, В.В. Орошение и удобрение яблоневого сада интенсивного типа / В.В. Бородычев, А.А. Криволицкий, А.Ф. Дружкин // Плодородие. – 2012. – № 1. – С. 42–45.
24. Бородычев, В. В. Аэрозольное орошение сельскохозяйственных культур / В. В. Бородычев. – Москва: Росагропромиздат, 1989. – 72 с.
25. Боровой, Е.П. Капельное орошение как основа развития плодоводства на юге Российской Федерации / Е.П. Боровой, В.И. Кременской, Н.М. Иванютин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 4 (44). – С. 246–255.
26. Бочкарев, В.Я. Новые технологии и средства измерений, методы организации водоучета на оросительных системах / В.Я. Бочкарев. – Новочеркасск, 2012. – 227 с.
27. Вадюнина, А.Ф. Методы исследования физических свойств почвы / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – Москва: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
28. Васильев, С.М. Форма и параметры контуров капельного увлажнения почв на склоновых землях / С.М. Васильев, В.Н. Шкура, А.С. Штанько // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 3. – С. 70–75. – DOI 10.28983/asj.y2020i3pp70-75.
29. Войтюк, М.М. Организация сельских питомников и выращивания посадочного материала декоративных и плодово-ягодных пород в личных подсобных и крестьянско-фермерских хозяйствах / М.М. Войтюк, И.И. Дроздов,

- В. И. Обыденников. – Вып. 1. – Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 76 с.
30. Ганжара, Н. Ф. Практикум по почвоведению: учебное пособие для студентов вузов по агрономическим специальностям / Н.Ф. Ганжара, Б.А. Борисов, Р.Ф. Байбеков; под ред. Н. Ф. Ганжары. – Москва: Агроконсалт, 2002. – 279 с.
31. Гемонов, А.В. К вопросу о влиянии оросительных мелиораций на рост и развитие плодовых и ягодных культур / А.В. Гемонов, Е.С. Калмыкова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2025. – № 1 (95). – С. 66–90. – EDN LHCCOZ.
32. Гемонов, А.В. Обоснование режима капельного орошения саженцев сливы в условиях Центрального Нечерноземья: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / А.В. Гемонов. – Москва, 2021. – 161 с. – EDN GBIYGF.
33. Гемонов, А.В. Обоснование мелиоративных режимов при капельном поливе саженцев плодовых культур в условиях Нечерноземной зоны России: дис. ... д-ра с.-х. наук: 4.1.5 / А.В. Гемонов. – Москва, 2025. – 284 с. – EDN PKEBAK.
34. Голованов, А.И. Мелиоративное почвоведение / А.И. Голованов, И.И. Плюснин. – Москва: Колос, 1983. – 318 с.
35. Голубенко, М.И. Способ капельного орошения плодово-ягодных, кустарниковых культур и цветочных растений: пат. RU 2685139 С1 Рос. Федерация: МПК A01G 25/02 / М.И. Голубенко; патентообладатель М.И. Голубенко. – № 2018122200; заявл. 15.06.2018; опубл. 14.04.2019.
36. Гончарова, Л.А. Сибирские яблони / Л.А. Гончарова. – Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2002. – 158 с.
37. Горюнов, Н.С. Оценка технологических средств полива для плодовых и ягодных культур / Н.С. Горюнов, Н.И. Бездолный // Технология орошения интенсивных садов. – Мичуринск, 1981. – № 33. – С. 98–102.
38. ГОСТ 26176–2019. Продукты переработки фруктов и овощей. Методы определения сахаров.
39. ГОСТ 34151–2017. Продукция переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С.
40. ГОСТ ISO 750–2013. Продукты переработки фруктов и овощей.

Определение титруемой кислотности.

41. ПНД Ф 16.2.2:2.3.71–2011. Методика выполнения измерений массовой доли калия, кальция, магния в пищевых продуктах.
42. ГОСТ 34128–2017. Продукция соковая. Рефрактометрический метод определения массовой доли растворимых сухих веществ.
43. Григоров, М.С. Влияние внутрипочвенного орошения на водно-физические свойства почвы и продуктивность кормовых культур / М.С. Григоров, А.Д. Ахмедов // Водосберегающие технологии сельскохозяйственных культур. – Волгоград: Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия, 2001. – С. 3–9.
44. Григоров, С.М. Математическая модель капельного орошения / С.М. Григоров, Е.В. Мелихова // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2007. – № 4. – С. 30–32. – EDN IBGMEX.
45. Григоров, М.С. Сельскохозяйственные мелиорации сегодня и завтра / М.С. Григоров, А.Ю. Черемисинов // Труды Волгоградского СХИ. – Волгоград, 1993. – 60 с.
46. Григоров, М.С. Основы внутрипочвенного орошения / М.С. Григоров. – Москва: ТСХА, 1993. – 107 с.
47. Губер, К.В. Водосберегающие технологии орошения – основа рационального использования водных ресурсов / К.В. Губер, Ю.С. Пунинский, Г.Ю. Шейнкин, З.Я. Ярославский // Теория и практика мелиорации: труды ВНИИГиМ. – Москва, 1989. – Т. 75.
48. Гусейнова, Б. М. Биохимическая и товарно-потребительская оценка сортов черешни в условиях Дагестана / Б. М. Гусейнова, М. Г. Алиева, М. Р. Гаджиева // Аграрная наука. – 2019. – № 10. – С. 66–68.
49. Добренко, И.Е. Современная отрасль садоводства России: анализ положения и перспективности / И.Е. Добренко // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2022. – № 4 (41). – С. 12–23.
50. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

51. Дубенок, Н.Н. Параметры контуров увлажнения при капельном орошении саженцев сливы в плодовом питомнике / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев // Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата. – 2020^а. – С. 21–25.
52. Дубенок, Н.Н. Влияние капельного орошения на рост и развитие саженцев сливы в питомнике в условиях Центрального Нечерноземья России / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2020^б. – № 4. – С. 6–11.
53. Дубенок, Н.Н. Особенности применения малообъемного орошения для выращивания саженцев плодовых культур в условиях различных природно-климатических зон России / Н.Н. Дубенок, Е.С. Калмыкова, А.В. Гемонов // Орошаемое земледелие. – 2023. – № 4 (43). – С. 7–10.
54. Дубенок, Н.Н. Технология возделывания саженцев сливы в плодовом питомнике при капельном орошении в условиях Нечерноземной зоны России: монография / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев; под общ. ред. Н.Н. Дубенка. – Москва: Проспект, 2023а. – 136 с.
55. Дубенок, Н.Н. Особенности роста саженцев груши при капельном орошении в Центральном Нечерноземье / Н.Н. Дубенок, Е.В. Ерёмин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2013. – № 1. – С. 10–12.
56. Дубенок, Н.Н. Общая пористость и пористость аэрации дерново-подзолистой почвы при выращивании саженцев сливы при капельном орошении / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев // Земледелие. – 2020^в. – № 7. – С. 3–6. – DOI 10.24411/0044-3913-2020-1070.
57. Дубенок, Н.Н. Агрохимические и водно-физические свойства дерново-подзолистой почвы при капельном орошении плодового питомника / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев [и др.] // Овощи России. – 2021. – № 3. – С. 116–121. – DOI 10.18619/2072-9146-2021-3-116-121.
58. Дубенок, Н.Н. Формирование корневой системы саженцев сливы при капельном орошении и распределение влаги по почвенному профилю в условиях Нечерноземной зоны / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов // Мелиорация и водное

хозяйство. – 2018. – № 4. – С. 9–13. – EDN UYXMLO.

59. 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.

60. Дубенок, Н.Н. Биометрические показатели саженцев вишни при капельном орошении в условиях Центрального Нечерноземья / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. – 2024^a. – № 2. – С. 24–30.

61. Дубенок, Н.Н. Особенности формирования корневой системы саженцев сливы в питомнике при капельном орошении / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев // Овощи России. – 2020^г. – № 2. – С. 74–77.

62. Дубенок, Н.Н. Морфометрические и агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы под влиянием капельного полива плодового сада / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, Е.С. Калмыкова // Орошаемое земледелие. – 2026. – № 1 (52). – С. 20–26. – DOI 10.35809/2618-8279-2026-1-3. – EDN NYDKQS.

63. Дубенок, Н.Н. Влияние режима капельного орошения на биометрические характеристики молодого вишневого сада в условиях Центрального Нечерноземья / Н. Н. Дубенок, А. В. Гемонов, Е. С. Калмыкова // Природообустройство. – 2026^a. – Т. 19, № 1. – С. 21–31. – DOI 10.26897/1997-6011-2026-1-21-31. – EDN JEJHHQ.

64. Дубенок, Н.Н. Дистанционное управление системой капельного орошения плодовых, ягодных и овощных культур в открытом грунте / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев, Е.С. Калмыкова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2025. – № 9 (159). – DOI 10.60797/IRJ.2025.159.34. – EDN LORUKD.

65. Дубенок, Н.Н. Обоснование орошения плодовых культур в условиях изменения климата / Н.Н. Дубенок, Е.С. Калмыкова, А.В. Гемонов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2024^б. – № 5. – С. 34–38. – DOI 10.32962/0235-2524-2024-5-34-38. – EDN TQSUNJ.

66. Дубенок, Н. Н. Особенности применения малообъемного орошения для выращивания саженцев плодовых культур в условиях различных природно-климатических зон России / Н.Н. Дубенок, Е.С. Калмыкова, А.В. Гемонов //

Орошаемое земледелие. – 2023^б. – № 4 (43). – С. 7–10. – DOI 10.35809/2618-8279-2023-4-1. – EDN BUAZRX.

67. Дубенок, Н.Н. Влияние режимов капельного орошения на агрохимические свойства почвы и динамику питательных элементов в молодом вишневом саду / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, Е.С. Калмыкова // Плодородие. – 2025^а. – № 6 (147). – С. 73–77. – DOI 10.25680/S19948603.2025.147.14. – EDN WFSMIA.

68. Дубенок, Н.Н. Система капельного орошения с дистанционным управлением: пат. 2822771 С1 Рос. Федерация: МПК A01G 25/02 / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева». – № 2023127533; заявл. 26.10.2023; опубл. 12.07.2024^а. – EDN JKMQFG.

69. Дубенок, Н.Н. Способ дистанционного управления системой капельного орошения: пат. 2822774 С1 Рос. Федерация: МПК A01G 25/02 / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева». – № 2023127531; заявл. 26.10.2023; опубл. 12.07.2024^б. – EDN SIGDDM.

70. Дубенок, Н.Н. Система автоматического полива растений для приусадебного хозяйства: пат. 78033 Рос. Федерация: МПК A01G 27/00, A01G 25/00, A01G 1/00 / Н.Н. Дубенок, А.В. Евграфов, С.И. Харитонов [и др.]; заявители и патентообладатели Н.Н. Дубенок, А.В. Евграфов. – № 2008126063/22; заявл. 27.06.2008; опубл. 20.11.2008, Бюл. № 32.

71. Егоров, Ю.В. Способ автоматического управления капельным поливом в теплице и устройство для его осуществления: пат. 2216930 Рос. Федерация: МПК A01C 25/16 (2000.01), A01C 9/00 (2000.01), A01C 9/02 (2000.01) / Ю. В. Егоров, С.С. Литвинов, В.И. Галицкий [и др.]; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства. – заявл. 26.12.2001; опубл. 27.11.2003, Бюл. № 33.

72. Егоров, Ю.В. Использование диэлькометрии на средних частотах для

- усредненной оценки влажности почвы / Ю.В. Егоров, А.В. Кириченко, А.В. Бобков [и др.] // Почвоведение. – 2010. – № 2. – С. 206–211.
73. Егоров, Ю.В. Управление системой полива в теплицах с использованием кондуктометрического метода измерения влажности и датчиков из графитового волокна / Ю.В. Егоров, В.И. Галицкий // Сборник научных трудов по овощеводству и бахчеводству. – Москва, 2011. – С. 315–318.
74. Еникеев, Х.К. Вишня и черешня / Х.К. Еникеев, М.Р. Сидоренко. – Киев: Урожай, 1970. – 245 с.
75. Зейналова, Х.А.К. Предпосылки улучшения возделывания плодовых культур в горно-орошаемых условиях в Азербайджане (на примере Габалинского района республики) / Х.А.К. Зейналова // Перспективы науки и образования. – 2013. – С. 203–209.
76. Зайдельман, Ф.Р. Мелиорация почв: учебник / Ф.Р. Зайдельман. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва: Изд-во МГУ, 2003. – 448 с.
77. Иванов, Н.Н. Об определении величин испаряемости / Н.Н. Иванов // Известия ВГО. – 1954. – Т. 86, № 2. – С. 189–196.
78. Иволгин, В.С. Оптимизация по критериям ресурсосбережения производственных процессов в плодово-ягодных питомниках: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Иволгин Виктор Семенович. – Москва, 2002. – 19 с.
79. Ионова, З.М. Основные достижения в применении капельного орошения / З.М. Ионова, С.И. Бойко. – Москва, 1985. – 66 с.
80. Калабеков, И.Г. Российские реформы в цифрах и фактах: справочное издание / И.Г. Калабеков. – Москва: РУСАКИ, 2025. – 288 с.
81. Калабеков, И.Г. Производство фруктов и ягод в России и странах мира / И. Г. Калабеков. – Текст: электронный // Российские реформы в цифрах и фактах: [сайт]. – 2025. – URL: <https://refru.ru/gardering.html> (дата обращения: 10.01.2026).
82. Канардов, В.И. Техника полива культуры граната на склоновых землях Гиссарской долины / В.И. Канарлов, Н.П. Митянин, В.М. Колядич // Новая техника орошения для предгорных районов аридной зоны // Труды ВНИИГиМ. М. 1983.

83. Каландаров, П.И. Контроль влажности агропромышленных продуктов на основе сверхвысокочастотного метода / П.И. Каландаров // Приборы. – 2021. – № 4. – С. 6–10.
84. Калмыкова, Е.С. К вопросу о целесообразности применения орошения плодовых культур в условиях сада / Е.С. Калмыкова // Мелиорация будущего: тренды, инновации и технологии в сельском хозяйстве : материалы Международного форума молодых ученых, посвященного 100-летию образования ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, Москва, 28–29 марта 2024 года. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова, 2024. – С. 210–215. – DOI 10.37738/VNIIGIM.2024.96.98.035. – EDN BTKHOW.
85. Калмыкова, Е.С. Обоснование оптимального диапазона увлажнения при капельном поливе молодого вишневого сада в условиях Центрального Нечерноземья / Е.С. Калмыкова // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 160-летию Тимирязевской академии: сборник статей, Москва, 02–04 июня 2025 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет, 2025. – С. 199–202. – EDN BKMLFH.
86. Капельное орошение: пособие к СНиП 2.06.03-85 «Мелиоративные системы и сооружения»: утв. приказом Союзводпроекта от 11 апреля 1986 г. № 113. – Текст: электронный // ИС «Техэксперт: 6 поколение». – Кодекс Юг, 2024.
87. Карпенко, М.В. Зависимость элементов техники полива от уклона местности / М. В. Карпенко // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. – 2007. – Вып. 2. – С. 111–112.
88. Кауричев, И.С. Агрономическая характеристика почв: учебное пособие / И. С. Кауричев; ТСХА, кафедра почвоведения. – Москва, 1989. – 83 с.
89. Кауричев, И.С. Почвоведение / И.С. Кауричев. – Москва: Колос, 1975. – 496 с.
90. Качинский, Н.А. Физика почвы. Ч. 2. Водно-физические свойства и режимы почв / Н. А. Качинский. – Москва: Высшая школа, 1970. – 360 с.
91. Кахаров, А.А. Способы применения водосберегающих технологий

- орошения в практике сельского хозяйства предгорной зоны Жамбылской области Казахстана / А.А. Кахаров, Д.М. Нурабаев, А.А. Асканбек [и др.] // Молодой ученый. – 2022. – № 11 (406). – С. 69–73.
92. Колесников, В.А. Корневая система плодовых и ягодных растений и методы ее изучения / В.А. Колесников. – Москва: Сельхозиздат, 1962. – 191 с.
93. Колесников, В.А. Методы изучения корневых систем древесных растений / В.А. Колесников. – Москва: Лесная промышленность, 1972. – 152 с.
94. Комиссаров, В.А. Методика постановки опытов с плодово-ягодными и цветочно-декоративными растениями / В.А. Комиссаров; под ред. В.А. Комиссарова. – Москва: Просвещение, 1982. – 220 с.
95. Константинов, А.Р. Нормирование орошения: методы, их оценка, пути уточнения / А.Р. Константинов, Э. А. Струнников // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 1. – С. 19–28.
96. Копнина, Т.А. Продуктивность перспективных сортов вишни (*Prunus cerasus* L.) в условиях южного садоводства / Т.А. Копнина, Р.Ш. Заремук // Аграрный вестник Урала. – 2023. – Т. 23, № 11. – С. 34–43. – DOI 10.32417/1997-4868-2023-23-11-34-43.
97. Костяков, А. Н. Основы мелиорации / А. Н. Костяков. – Москва: Сельхозгиз, 1960. – 622 с.
98. Косых, С.А. Итоги производственно-биологической оценки сортов алычи в Крыму / С.А. Косых, Е.П. Шоферистов // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 1979. – № 40. – С. 41–44.
99. Косых, С.А. Методика производственного сортоиспытания плодовых культур / С.А. Косых // Труды Никитского ботанического сада. – 1999. – Т. 118. – С. 200–204.
100. Кирейчева, Л.В. Расчет контуров увлажнения для обоснования поливной нормы при капельном орошении плодоносящего сада в условиях предгорной зоны Жамбылской области / Л.В. Кирейчева, А.А. Асканбек, Д.М. Нурабаев // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – № 1 (91). – С. 100–104. – DOI 10.23670/IRJ.2020.91.1.019.

101. Климахина, М.В. Агромелиоративное обоснование страхового орошения склоновых земель в Центральной Нечерноземной зоне РФ: дис. ... канд. с.-х. наук: 03.02.13, 06.01.02 / М.В. Климахина. – Москва, 2010. – 213 с.
102. Кременской, В.И. Развитие корневой системы яблони при внутрпочвенном и капельном орошении / В.И. Кременской, Н.М. Иванютин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 4 (44). – С. 116–126.
103. Кружилин, И.П. Обоснование водного режима почвы и регламента капельного полива саженцев черешни / И.П. Кружилин, О.А. Никольская // Российская сельскохозяйственная наука. – 2021. – № 2. – С. 9–13. – DOI 10.31857/S2500262721020073.
104. Кружилин, И.П. Элементы технологии выращивания саженцев винограда при капельном орошении / И.П. Кружилин, Н.В. Курапина, Д.Э. Гусев // Природообустройство. – 2008. – № 3. – С. 25–29. – EDN JXWYIN.
105. Кузин, А.И. Влияние фертигации, капельного орошения и некорневых подкормок на продуктивность яблони, качество плодов и свойства почвы в интенсивном саду Центрального Черноземья / А.И. Кузин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 130. – С. 958–974.
106. Куликов, И.М. Развитие промышленного садоводства: проблемы и их решения / И.М. Куликов, И.А. Минаков, Т.А. Тумаев // АПК: экономика, управление. – 2024. – № 5. – С. 77–84. – DOI 10.33305/245-77. – EDN VUWVOI.
107. Курапина, Н.В. Обеспечение экологической безопасности при малообъемном орошении плодовых питомников / Н.В. Курапина, О.А. Никольская, Е.Н. Киктева // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2019. – № 4 (14). – С. 55–58.
108. Курапина, Н.В. Влияние капельного орошения и удобрений на приживаемость и биометрические показатели саженцев черешни / Н.В. Курапина, О.А. Никольская // Плодоводство и ягодоводство России. – 2018. – Т. 55. – С. 226–230.

109. Кушниренко, М.Д. Физиология водообмена и засухоустойчивости растений. – Кишинев: Штиинца, 1991. – 304 с.
110. Леонченко, В.Г. Жаро- и засухоустойчивость сортов яблони и груши и методы их оценки / В.Г. Леонченко, Т.П. Семенова, Г.В. Григорьева // Научные основы устойчивого садоводства в России : доклады конференции, 11–12 марта 1999 г. – Мичуринск, 1999. – С. 58–60.
111. Льгов, Г.К. Орошаемое земледелие / Г.К. Льгов. – Москва: Колос, 1979. – 191 с.
112. Мазиров, М.А. Теплофизика почв: антропогенные факторы / М.А. Мазиров, С.В. Макарычев. – Суздаль: Изд-во ВНИИСХ, 1997. – Т. 2. – 186 с.
113. Макаркина, М.А. Биохимическая характеристика сортов и форм вишни и черешни селекции ВНИИСПК / М.А. Макаркина, С.А. Зайцев, Е.В. Жбанова // Плодоводство и ягодоводство России. – 2017. – Т. 50. – С. 171–176.
114. Макарычев, С.В. Оценка условий произрастания насаждений облепихи при лиманном орошении / С.В. Макарычев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 9 (203). – С. 30–36.
115. Макарычев, С.В. Теплофизические основы мелиорации почв: учебное пособие / С.В. Макарычев, М.А. Мазиров. – Москва: Изд-во ВНИИСХ, 2004. – 279 с.
116. Макарычев, С.В. Физические основы экологии: учебное пособие / С. В. Макарычев, М.А. Мазиров. – Владимир: Изд-во ВНИИСХ, 2000. – 242 с.
117. Макарычев, С.В. Влагообеспеченность почвы в плодовом саду и необходимость ее регулирования / С.В. Макарычев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 10 (204). – С. 37–43.
118. Марков, Ю.А. Программа и методика исследований по орошению плодовых и ягодных культур / Ю.А. Марков; Министерство плодоовощного хозяйства СССР, ВНИИС им. И.В. Мичурина. – Мичуринск, 1985. – 116 с.
119. Майер, А.В. Система капельного орошения с функцией локального дождевания для внесения химических растворов на солонцовые почвенные пятна / А.В. Майер // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса:

наука и высшее профессиональное образование. – 2022. – № 1 (65). – С. 427–433. – DOI 10.32786/2071-9485-2022-01-42.

120. Мезенцев, В.С. Увлажненность Западно-Сибирской равнины / В.С. Мезенцев, И.В. Карнацевич. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. – 168 с.

121. Мелихова, Е.В. Система поддержки принятия решений при выборе режима орошения сельскохозяйственных культур / Е.В. Мелихова // Мелиорация. – 2019. – № 1 (87). – С. 73–77. – EDN JVONVO.

122. Молчанов, А. А. Суммарное испарение и транспирация в лесу и на безлесных площадях / А. А. Молчанов // Лес и воды: сборник. – Москва: Географгиз, 1963. – С. 55–76.

123. Никольская, О.А. Эффективность применения комплексных удобрений и различных режимов орошения для саженцев черешни / О.А. Никольская, Е.Н. Киктяева, Н.В. Курапина // Орошаемое земледелие. – 2020. – № 1. – С. 38–41.

124. Ненько, Н.И. Физиолого-биохимические критерии устойчивости яблони к абиотическим стрессам летнего периода / Н. И. Ненько, Г. К. Киселева, Е.В. Ульяновская, Е.К. Яблонская, А.В. Караваева // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54, № 1. – С. 158–168.

125. О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области в 2024 году: информационный выпуск / Министерство экологии и природопользования Московской области. – Красногорск, 2025. Текст: электронный. – URL: <https://mep.mosreg.ru/dokumenty/informaciya-i-statistika/analiticheskie-doklady-i-obzory/informacionnyi-vypusk-o-sostoyanii-prirodnikh-resursov-i-okruzhayushei-sredy-moskovskoi-oblasti-v-2024-godu> (дата обращения: 06.09.2026).

126. О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области в 2016 году: информационный выпуск / Министерство экологии и природопользования Московской области. – Красногорск, 2017. – Текст: электронный. URL: <https://mep.mosreg.ru/dokumenty/informaciya-i-statistika/analiticheskie-doklady-i-obzory/04-05-2017-11-20-03-informatsionnyy-vypusk-o-sostoyanii-prirodnikh-res/> (дата обращения: 03.05.2025).

127. Обумахов, Д.Л. Линейные параметры контуров увлажнения при капельном поливе / Д.Л. Обумахов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 100. – С. 735–748. – EDN SJAZBL.
128. Овчинников, А.С. Капельное орошение яблоневого сада интенсивного типа на дерново-подзолистых почвах Московской области / А.С. Овчинников, В.В. Бородычев, Д.Е. Кучер, А.В. Шуравилин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 2 (42). – С. 211–220. – EDN WIMNEB.
129. Ольгаренко, В.И. Ресурсосберегающее микроорошение садов / В.И. Ольгаренко, Н.А. Мищенко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2014. – № 1 (13). – С. 69–82.
130. Ольгаренко, Г.В. Технические средства для орошения плодово-ягодных насаждений / Г.В. Ольгаренко // Вестник Коломенского государственного педагогического института. – 2009. – № 1 (7). – С. 131–134.
131. Опанасенко, Н. Е. Экономическая оценка урожайности плодовых культур на скелетных почвах Крыма / Н.Е. Опанасенко // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2010. – № 101. – С. 67–72.
132. Панкарикова, А.А. Режимы орошения и дозы минеральных удобрений вишни в условиях Ростовской области: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Панкарикова Анастасия Александровна. – Новочеркасск, 2008. – 210 с.
133. Пантелеева, Е.И. Облепиха крушиновая (*Hipporhae rhamnoides* L.): монография / Е. И. Пантелеева. – Барнаул: НИИСС, 2006. – 249 с.
134. Петин, Н.С. Опыты диагностирования потребности растений в поливе по физиологическим показателям / Н.С. Петин // Орошение сельскохозяйственных культур в Центрально-Черноземной полосе РСФСР. – 1956. – Вып. 2.
135. Плешаков, В.Н. Методика полевого опыта в условиях орошения / В. Н. Плешаков. – Волгоград: ВНИИОЗ, 1983. – 148 с.
136. Потапов, В.А. Плодоводство / В.А. Потапов, В.В. Фаустов, Ф.Н. Пильщиков; под общ. ред. В. А. Потапова. – Москва: Колос, 2000. – 432 с.

137. Причко, Т.Г. Биохимические показатели плодов черешни / Т.Г. Причко, А.А. Корчагина, Т.Н. Сидоренко // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2012. – № 2 (15). – С. 44–52.
138. Пугачев, Г.Н. Влияние капельного орошения на изменение агрофизических и агрохимических свойств почвы интенсивного сада / Г.Н. Пугачев, А.И. Кузин // Земледелие. – 2019. – № 6. – С. 5–8. – DOI 10.24411/0044-3913-2019-10601.
139. Роде, А.А. Основы учения о почвенной влаге. Т. 2. Методы определения водного режима почв / А.А. Роде. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. – 287 с.
140. Романовская, А.Ю. Регулирование водного режима дерново-подзолистой почвы в условиях плодового питомника и характер распределения влаги в почвенном профиле при различных режимах увлажнения / А.Ю. Романовская, К.Б. Шумакова // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2021. – № 106. – С. 130–162. – DOI 10.19047/0136-1694-2021-106-130-162. – EDN PCSYTS.
141. Рожков, В.А. Физические и водно-физические свойства почв: учебно-методическое пособие для студентов специальностей 260400 и 260500 / В.А. Рожков, А.Г. Бондарев, И.В. Кузнецова, Х.Р. Рахматуллоев. – Москва: Московский государственный университет леса, 2002. – 73 с.
142. С 2003 по 2020 год урожайность плодовых и ягодных культур в России выросла в 2,5 раза. – Текст: электронный // ФГБУ «Центр Агроаналитики»: [сайт]. – 3 июня 2021 г. – URL: <https://specagro.ru/news/202106/s-2003-po-2020-god-urozhaynost-plodov-i-yagod-v-rossii-vyros-la-v-25-raza> (дата обращения: 03.05.2025).
143. Савельев, Н.И. Потенциал устойчивости семечковых культур к высокотемпературным стрессорам / Н.И. Савельев, А.Н. Юшков, В.В. Чивилев [и др.] // Плодоводство и ягодоводство России. – 2012. – Т. 29, № 2. – С. 147–152.
144. Салкин, Д.А. Устройство дистанционного контроля и управления для систем домашней автоматизации / Д.А. Салкин, С.С. Душутин // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 10. – С. 113–119.
145. Самощенко, Е.Г. Плодоводство: учебник для вузов / Е. Г. Самощенко. – 3-е изд. – Москва: Юрайт, 2026. – 320 с.

146. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: санитарные правила и нормы: утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 г. № 2. – Москва, 2021.
147. Северин, В.Ф. Питомниководство: учебное пособие / В. Ф. Северин. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2008. – 239 с.
148. Селянинов, Г.Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата / Г.Т. Селянинов // Мировой агроклиматический справочник. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1957.
149. Смыков, А.В. Химический состав плодов гибридных форм черешни / А.В. Смыков, С.М. Рогачёв, Э.М. Арутюнян // Плодоводство. – 2017. – Т. 29. – С. 234–239.
150. Сорт: Вишня, Молодёжная. – Текст: электронный // ФГБНУ ВНИИСПК: [сайт]. – URL: <https://vniispk.ru/varieties/molodyozhnaya> (дата обращения: 05.01.2026).
151. Сорт: Вишня, Волочаевка. – Текст: электронный // ФГБНУ ВНИИСПК: [сайт]. – URL: <https://vniispk.ru/varieties/volochaevka> (дата обращения: 05.01.2026).
152. Спиваковский, Н.Д. Программно-методические указания по агротехническим опытам с плодовыми и ягодными культурами / ВНИИС им. И. В. Мичурина; под ред. Н.Д. Спиваковского. – Мичуринск: ВНИИС, 1956. – 184 с.
153. Спицын, И. П. Экологические исследования вишни / И. П. Спицын // Вестник российских университетов. Математика. – 2002. – № 1. – Текст: электронный. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-issledovaniya-vishni> (дата обращения: 01.05.2026).
154. Степанов, С. Н. Плодовый питомник / С. Н. Степанов. – Москва: Колос, 1981. – 255 с.
155. Сторчоус, В.Н. Результаты исследований плодовых культур и винограда при капельном орошении в Крыму / В.Н. Сторчоус // Сельскохозяйственные науки: научные труды КАТУ. – Симферополь, 2005. – Вып. 90. – С. 187–193.

156. Сторчоус, В.Н. Капельное орошение – резерв эффективности использования земли, воды и энергии / В.Н. Сторчоус // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 5 (55). – С. 30–33.
157. Сторчоус, В.Н. Архитектоника корневой системы яблони в зависимости от объема локального увлажнения / В.Н. Сторчоус, В.И. Кременской, Т.О. Вислобокова // Научные труды Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет». Серия: Сельскохозяйственные науки. – 2014. – № 161. – С. 102–108. – EDN STCATB.
158. Стрижак, С.В. Способ автоматизированного полива и устройство для его осуществления: авт. свид. СССР № 1271456: МПК А01G 25/16 / С.В. Стрижак, В.В. Старших. – 1986.
159. Судницын, И.И. Оптимизация водного режима почв / И.И. Судницын, М.А. Сидорова, М.И. Васильева [и др.] // Научные доклады высшей школы. Серия: Биологические науки. – 1977. – № 11. – С. 127–138.
160. Таекин, К.С. Необходимость внедрения систем автоматического полива в условиях современного мегаполиса / К.С. Таекин // Молодой ученый. – 2018. – № 12 (198). – С. 52–54.
161. Тарасенко, Н. Л. Государственный плодовый питомник «Жиличи» / Н.Л. Тарасенко. – Минск: Госиздат БССР, 1956. – 16 с.
162. Технология орошения садов, ягодников и питомников: рекомендации. – Москва: Агропромиздат, 1987. – 61 с.
163. Тарасов, В.М. Практикум по плодоводству / В.М. Тарасов, В.В. Фаустов, Т.Д. Никиточкина [и др.]; под ред. В.М. Тарасова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Колос, 1981. – 335 с.
164. Терпигорев, А.А. Экологически безопасные технологии орошения для интенсивного возделывания садов и виноградников / А.А. Терпигорев, А. В. Грушин, С.А. Гжибовский // Природообустройство. – 2009. – № 1. – С. 36–39.
165. Трунов, Ю.В. Плодоводство / Ю.В. Трунов, Е.Г. Самощенко, Т.Н. Дорошенко [и др.]. – Мичуринск: Квадро, 2019. – 416 с. – ISBN 978-5-906371-56-

1. – EDN TUKJN1.

166. Плодоводство: учебник для студентов высших учебных заведений / Ю. В. Трунов, Е.Г. Самощенко, Т.Н. Дорошенко [и др.]; под ред. Ю.В. Трунова, Е.Г. Самощенко; Международная ассоциация «Агрообразование». – Москва: Колосс, 2012. – 415 с. – ISBN 978-5-9532-0833-8. – EDN QLCXIT.

167. Упадышева, Г.Ю. Продуктивность вишни в зависимости от срока эксплуатации сада / Г.Ю. Упадышева // Садоводство и виноградарство. – 2017. – № 2. – С. 52–57. – DOI 10.18454/VSTISP.2017.2.5473.

168. Цырибко, В.Б. Определение оптимальных параметров агрофизических свойств почв и оценка современного состояния на их основе / В.Б. Цырибко // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 1(56). – С. 36–44.

169. Чекмарев, П.А. Состояние отечественного садоводства и питомниководства: материалы презентации / П. А. Чекмарев; Минсельхоз России. – Москва, 2018. – 18 с.

170. Чефонов, Н.Г. Способ управления и контроля автоматизированной системой полива: авт. свид. СССР № 1319803: МПК А01С 25/16, А01С 27/00 / Н.Г. Чефонов, В.И. Коршунов, Т.А. Чефонова. – № 3907113/30-15; заявл. 05.06.1985; опубл. 30.06.1987, Бюл. № 24.

171. Шапорина, Н.А. Перспективные методы мониторинга увлажнения почв при орошении в условиях Новосибирского Приобья / Н.А. Шапорина // Почвы и окружающая среда. – 2023. – Т. 6, № 3. – e231. – DOI 10.31251/pos.vbi3.231.

172. Шаров, И.А. Эксплуатация гидромелиоративных систем / И.А. Шаров. – Москва: Сельхозгиз, 1959. – 448 с.

173. Шашко, Д.И. Агроклиматические ресурсы СССР / Д.И. Шашко. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. – 247 с.

174. Шишкин, А.В. Особенности формирования водного режима чернозема под насаждениями облепихи и возможности его регулирования орошением / А.В. Шишкин, С.В. Макарычев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 11 (193). – С. 39–45.

175. Шекихачева, Л.З. Обоснование мероприятий по орошению и защите

плодовых насаждений от неблагоприятных погодных явлений в Северо-Кавказском регионе / Л.З. Шекихачева // Экология и природопользование: тенденции, модели, прогнозы, прикладные аспекты: материалы Национальной научно-практической конференции. – 2020. – С. 156–160.

176. Шекихачева, Л.З. Специфика мелкодисперсного орошения плодовых насаждений / Л.З. Шекихачева // Охрана и рациональное использование лесных ресурсов: материалы X Международного форума / Дальневосточный государственный аграрный университет [и др.]. – 2019. – С. 97–99.

177. Шекихачева, Л.З. Альтернативное (биологическое) земледелие как главная составляющая экологической конверсии / Л.З. Шекихачева, А.А. Шекихачев, Р.А. Жемухов // Энергосбережение и энергоэффективность: проблемы и решения : сборник научных трудов IX Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора Хазретали Умаровича Бугова. – 2020. – С. 332–335.

178. Шекихачева, Л.З. Использование аэрозолей для ухода за сельскохозяйственными культурами / Л.З. Шекихачева, Х.Х. Дышеков, А.А. Сагов // Инженерное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса России: сборник научных трудов VII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 75-летию со дня рождения Х.Г. Урусмамбетова. – 2018. – С. 257–260.

179. Штанько, А.С. Геометрия локальных контуров капельного увлажнения почвы, формирующихся в южных черноземах / А.С. Штанько, В.Н. Шкура // Мелиорация и гидротехника. – 2022. – Т. 12, № 3. – С. 123–140. – DOI 10.31774/2712-9357-2022-12-3-123-140. – EDN PTMNJY.

180. Штанько, А.С. Определение поливной нормы для формирования первичного локального контура капельно-увлажненной почвы / А.С. Штанько, В.Н. Шкура // Мелиорация и гидротехника. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 19–38. – DOI 10.31774/2712-9357-2023-13-1-19-38. – EDN ZXMTKO.

181. Штанько, А.С. Внутриконтурное распределение влажности почвы при

капельном орошении / А.С. Штанько, В.Н. Шкура // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – № 4 (28). – С. 62–78. – EDN ZRWIRF.

182. Штанько, А.С. О трансформации контуров капельного увлажнения почвы в постполивной период / А.С. Штанько, В.Н. Шкура // Мелиорация и гидротехника. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 69–86. – DOI 10.31774/2712-9357-2023-13-3-69-86. – EDN AYRQFY.

183. Штанько, А.С. Поливные устройства капельного увлажнения почвы в междурядьях древесно-плодовых насаждений / А.С. Штанько, В.Н. Шкура // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2021. – Т. 11, № 1. – С. 97–112.

184. Штойко, Д.А. Нормативы проектирования режимов орошения сельскохозяйственных культур и гидро модуля в условиях интенсивного использования орошаемых земель / Д.А. Штойко // Орошаемое земледелие в ЕЧ СССР. – Москва: Колос, 1965. – С. 171–185.

185. Шуравилин, А.В. Режим капельного орошения плодового сада на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья / А.В. Шуравилин, В.В. Бородычев, М.Н. Лытов, А.В. Сергиенко // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2011. – № 1 (73). – С. 75–78. – EDN PMYIAP.

186. Шуравилин, А.В. Влияние режимов капельного орошения на рост и плодоношение яблони в саду интенсивного типа / А.В. Шуравилин, В.В. Бородычев, А.А. Криволицкий // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2012. – № 4. – С. 49–55. – EDN PIDVBB.

187. Шуравилин, А. В. Мелиорация: учебное пособие / А.В. Шуравилин, А. И. Кибика. – Москва: ИКФ «ЭКМОС», 2006. – 944 с.

188. Южанинова, Л. Садоводство России в растущем тренде / Л. Южанинова. – Текст: электронный // AgroXXI: агропромышленный портал. – 2018. – URL: <https://www.agroxxi.ru/gazeta-zaschita-rastenii/zrast/sadovodstvo-rossii-v-rastuschem-trende.html> (дата обращения: 03.05.2025).

189. Ясониди, О.Е. Капельное орошение / О.Е. Ясониди. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 322 с.
190. Assouline, S. The effects of microdrip and conventional drip irrigation on water distribution and uptake / S. Assouline // Soil Science Society of America Journal. – 2002. – Vol. 66, no. 5. – P. 1630–1636. – DOI 10.2136/sssaj2002.1630.
191. Bethune, M.G. Impact on soil hydraulic properties resulting from irrigating saline-sodic soils with low salinity water / M.G. Bethune, T.J. Batey // Australian Journal of Experimental Agriculture. – 2002. – Vol. 42, no. 3. – P. 273–279.
192. Carter, D.L. Soil erosion on irrigated lands/ D.L. Carter // Irrigation of Agricultural Crops: Agronomy Monograph. – USA, 1990. – No. 30. – P. 143–171.
193. Bhardwaj, S.K. Water distribution, application efficiency and growth of young apple plants under drip irrigation in mid-Himalayas / S.K. Bhardwaj, I.P. Sharma, S.D. Sharma // Indian Journal of Horticulture. – 2010. – Vol. 67. – P. 146–149.
194. Carter, D.L. Soil erosion on irrigated lands/D. L. Carter//Irrigation of Agricultural Crops: Agronomy Monograph. – USA, 1990. – No. 30. – P. 143–171.
195. Dubenok, N.N. The influence of drip irrigation on growth of plum seedlings in central non-black soil zone of European Russia / N.N. Dubenok, A.V. Gemonov, A.V. Lebedev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 548. – Art. 082014. – DOI 10.1088/1755-1315/548/8/082014.
196. Dubenok, N.N. Effects of drip irrigation regimes on growth, quality plum seedlings, and water use efficiency in European Russia/ N.N. Dubenok, A.V. Gemonov, A.V. Lebedev // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1679. – Art. 052093. – DOI 10.1088/1742-6596/1679/5/052093.
197. Dubenok, N.N. Drip irrigation impact on cherry fruit quality and biochemical composition/N.N. Dubenok, A.V. Gemonov, E.S. Kalmykova//BIO Web of Conferences. – 2025. – Vol. 194. – Art. 01031. – DOI 10.1051/bioconf/202519401031. – EDN HPFQZF.
198. Klatt, F. Die Steuerung der Beregnung nach dem Beregnungs diagramm / F. Klatt // Feldwirtschaft. – 1970. – H. 4. – S. 164–165.
199. Pramanik, S. Effect of drip vis-à-vis surface irrigation on fruit yield, nutrient

- uptake, water use efficiency and quality of banana in Gangetic plain of West Bengal / S. Pramanik, S. K. Patra // *Indian Journal of Horticulture*. – 2015. – Vol. 72, no. 1. – P. 6–13.
200. Richard, A.D. Smart irrigation system for monitoring and controlling water flow: US Patent 10,966,379 B2 / A. D. Richard. – Appl. No. 16/697,000; filed 26.11.2019; publ. US 2020/0093077 A1, 26.03.2020.
201. Saccon, P. Water for agriculture, irrigation management /P. Saccon // *Agricultural Water Management*. – 2018. – Vol. 203. – P. 793–796.
202. Howell, T.A. A new concept for trickle irrigation of row crops / T.A. Howell, C. Phene, D. Sanders // *Irrigation Farmer*. – 1981. – Vol. 8, no. 3. – P. 4–5.
203. Liao, R. Micro-irrigation strategies to improve water-use efficiency of cherry trees in Northern China / R. Liao, W. Wu, Y. Hu, D. Xu, Q. Huang, S. Wang // *Agricultural Water Management*. – 2019. – Vol. 212. – P. 388–396. – DOI 10.1016/j.agwat.2019.05.017.
204. Pérez-Pastor, A. Vegetative and reproductive response of ‘Prime Giant’ sweet cherry trees to regulated deficit irrigation / A. Pérez-Pastor // *Scientia Horticulturae*. – 2019. – Vol. 249. – P. 478–489. – DOI 10.1016/j.scienta.2019.02.016.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Данные по распределению влажности почвы в подкапельном пространстве на
варианте 70-90% НВ в 2023 году

Глубина контура, см	Шаг замера от оси капельницы, см						
	30	20	10	0	10	20	30
	Влажность почвы, %НВ						
10	79,2	86,7	86,9	96,5	88,8	85,4	83,5
20	74,5	80,2	86,9	90,4	87,9	75,0	72,1
30	71,8	78,0	81,4	83,3	82,3	76,3	73,5
40	67,6	73,9	76,4	77,9	76,8	73,4	69,4
50	64,9	65,3	68,4	71,1	71,4	67,2	66,4
60	60,2	60,9	66,6	68,5	67,2	62,8	61,9

Приложение 2

Данные по распределению влажности почвы в подкапельном пространстве на
варианте 80-100% НВ в 2023 году

Глубина контура, см	Шаг замера от оси капельницы, см						
	30	20	10	0	10	20	30
	Влажность почвы, %НВ						
10	79,8	85,9	89,3	99,5	89,2	86,4	80,5
20	77,2	79,3	89,0	92,5	90,3	84,1	78,1
30	75,9	80,8	86,8	87,4	87,0	80,7	76,4
40	74,1	80,4	83,6	84,3	83,9	78,9	74,7
50	72,7	75,6	76,2	80,1	77,9	75,3	73,8
60	69,4	72,8	74,3	77,6	74,9	73,2	70,6

Приложение 3

Данные по распределению влажности почвы в подкапельном пространстве на
варианте 60-80% НВ в 2024 году

Глубина контура, см	Шаг замера от оси капельницы, см						
	30	20	10	0	10	20	30
	Влажность почвы, %НВ						
10	62,9	74,8	83,3	93,2	83,2	73,9	68,2
20	54,6	66,7	80,6	86,3	80,9	61,7	56,2
30	51,3	65,0	76,3	79,0	75,9	62,0	54,3
40	47,4	63,1	68,8	70,2	70,8	64,1	53,5
50	45,4	52,4	56,5	60,8	58,3	55,6	51,9
60	41,2	46,5	49,8	54,2	53,8	49,7	48,2

Приложение 4

Данные по распределению влажности почвы в подкапельном пространстве на
варианте 80-100% НВ в 2024 году

Глубина контура, см	Шаг замера от оси капельницы, см						
	30	20	10	0	10	20	30
	Влажность почвы, %НВ						
10	68,5	79,4	95,4	102,8	92,5	89,1	86,7
20	69,3	80,2	93,1	95,4	92,0	85,3	82,4
30	70,1	82,9	87,6	88,8	87,0	80,0	74,3
40	67,4	78,9	85,2	85,8	85,3	78,5	68,1
50	61,3	64,8	77,0	78,8	76,3	67,8	64,3
60	49,7	57,6	59,3	66,4	62,9	53,2	51,6

Приложение 5

Данные по распределению влажности почвы в подкапельном пространстве на
варианте 60-80% НВ в 2025 году

Глубина контура, см	Шаг замера от оси капельницы, см						
	30	20	10	0	10	20	30
	Влажность почвы, %НВ						
10	65,3	77,4	85,1	93,9	84,4	78,1	56,5
20	61,2	66,4	83,1	86,6	83,2	64,1	49,3
30	57,8	65,1	78,2	81,7	77,3	67,4	52,5
40	53,6	61,2	68,5	73,9	69,1	61,0	47,4
50	48,1	56,5	61,8	64,7	63,3	56,1	53,2
60	46,2	53,0	53,9	57,4	52,1	47,7	47,4

Приложение 6

Данные по распределению влажности почвы в подкапельном пространстве на
варианте 70-90% НВ в 2025 году

Глубина контура, см	Шаг замера от оси капельницы, см						
	30	20	10	0	10	20	30
	Влажность почвы, %НВ						
10	74,8	77,1	85,4	93,9	85,3	77,4	69,2
20	69,5	74,8	81,6	86,7	84,5	75,3	67,8
30	63,8	69,4	77,1	81,4	79,1	70,6	61,4
40	58,9	64,7	71,4	74,7	73,3	65,3	58,9
50	51,7	58,1	69,2	72,0	69,7	61,1	52,4
60	43,9	54,3	67,6	67,8	64,4	57,3	49,8

Биофизический коэффициент, рассчитанный по формуле Г.К. Льгова

Месяц	Декада	II вариант		I вариант			I вариант			Контроль			
		(60–80% НВ)		(70–90% НВ)			(80–100% НВ)			(без орошения)			
		2023	2024	2025	2023	2024	2025	2023	2024	2025	2023	2024	2025
Май	1	2,10	2,31	2,03	2,10	2,51	2,10	2,10	2,45	2,03	1,97	1,93	1,69
	2	1,39	1,76	1,81	1,40	1,81	1,85	1,35	1,90	1,57	1,16	1,41	1,69
	3	1,26	1,08	0,99	1,26	1,16	1,07	1,19	1,13	1,01	1,10	1,00	0,98
Июнь	1	1,81	1,22	1,36	1,74	1,29	1,42	1,66	1,16	1,32	1,53	1,05	0,98
	2	1,53	1,57	1,57	1,56	1,61	1,94	1,53	1,49	1,78	1,04	1,06	1,32
	3	1,41	1,50	1,81	1,54	1,53	2,10	1,54	1,60	1,92	0,92	1,19	1,56
Июль	1	1,50	1,47	1,68	1,55	1,50	1,80	1,56	1,65	1,69	1,31	1,14	1,37
	2	1,80	1,48	1,83	1,86	1,51	1,95	1,75	1,44	1,86	1,71	1,03	1,53
	3	1,23	1,29	1,32	1,23	1,32	1,71	1,30	1,25	1,64	1,34	0,96	1,32
Август	1	0,95	1,07	1,12	0,95	1,22	1,75	1,07	1,13	1,69	0,96	0,89	1,19
	2	0,92	1,11	1,17	0,95	1,27	1,21	1,03	1,09	1,20	0,90	0,91	1,16
	3	1,00	0,87	1,09	1,02	0,99	1,13	1,13	0,88	1,17	0,74	0,80	0,88
Сентябрь	1	0,78	0,73	0,80	0,83	0,72	0,81	0,83	0,85	0,92	0,74	0,67	0,67
	2	0,77	0,74	0,87	0,85	0,66	0,93	0,87	0,74	0,85	0,72	0,56	0,58
	3	0,49	0,64	0,86	0,53	0,65	0,89	0,43	0,70	0,96	0,38	0,35	0,63
Среднее за период вегетации		1,26	1,26	1,35	1,29	1,32	1,51	1,29	1,30	1,44	1,10	1,00	1,17
Максимум		2,10	2,31	2,03	2,10	2,51	2,10	2,10	2,45	2,03	1,97	1,93	1,69
Минимум		0,49	0,64	0,80	0,53	0,65	0,81	0,43	0,70	0,85	0,38	0,35	0,58

Модуль испарения, рассчитанный по формуле И.А. Шарова

Месяц	Декада	II вариант		I вариант			I вариант			Контроль			
		(60–80% НВ)		(70–90% НВ)			(80–100% НВ)			(без орошения)			
		2023	2024	2025	2023	2024	2025	2023	2024	2025	2023	2024	2025
Май	1	1,38	1,47	1,35	1,38	1,60	1,39	1,38	1,56	1,35	1,29	1,23	1,12
	2	1,10	1,31	1,33	1,11	1,34	1,36	1,07	1,41	1,15	0,91	1,05	1,25
	3	1,00	0,90	0,83	1,00	0,96	0,89	0,94	0,94	0,84	0,87	0,83	0,82
Июнь	1	1,42	1,01	1,13	1,36	1,07	1,18	1,30	0,96	1,09	1,20	0,87	0,81
	2	1,26	1,31	1,26	1,28	1,35	1,56	1,26	1,24	1,43	0,85	0,89	1,06
	3	1,15	1,28	1,43	1,26	1,31	1,66	1,26	1,37	1,52	0,75	1,01	1,24
Июль	1	1,26	1,23	1,41	1,30	1,26	1,51	1,30	1,38	1,41	1,09	0,96	1,15
	2	1,45	1,24	1,56	1,50	1,28	1,66	1,41	1,21	1,58	1,38	0,87	1,30
	3	1,01	1,07	1,12	1,01	1,10	1,45	1,07	1,04	1,39	1,10	0,80	1,12
Август	1	0,81	0,90	0,93	0,81	1,02	1,45	0,92	0,94	1,40	0,82	0,74	0,99
	2	0,77	0,92	0,95	0,79	1,05	0,98	0,86	0,90	0,97	0,75	0,76	0,94
	3	0,80	0,72	0,86	0,81	0,81	0,89	0,90	0,73	0,92	0,59	0,66	0,70
Сентябрь	1	0,62	0,60	0,64	0,66	0,59	0,65	0,66	0,70	0,74	0,59	0,55	0,54
	2	0,60	0,60	0,69	0,66	0,54	0,74	0,68	0,60	0,67	0,56	0,46	0,46
	3	0,40	0,51	0,65	0,43	0,51	0,67	0,35	0,56	0,72	0,31	0,28	0,48
Среднее за период вегетации		1,00	1,00	1,08	1,02	1,05	1,20	1,02	1,04	1,15	0,87	0,80	0,93
Максимум		1,45	1,47	1,56	1,50	1,60	1,66	1,41	1,56	1,58	1,38	1,23	1,30
Минимум		0,40	0,51	0,64	0,43	0,51	0,65	0,35	0,56	0,67	0,31	0,28	0,46

Биоклиматический коэффициент, рассчитанный
по формуле А.М. Алпатьева

Месяц	Декада	II вариант		I вариант			I вариант			Контроль			
		(60–80% НВ)			(70–90% НВ)			(80–100% НВ)			(без орошения)		
		2023	2024	2025	2023	2024	2025	2023	2024	2025	2023	2024	2025
Май	1	0,33	0,36	0,42	0,33	0,39	0,43	0,33	0,38	0,42	0,31	0,30	0,35
	2	0,24	0,31	0,42	0,25	0,31	0,43	0,24	0,33	0,37	0,20	0,24	0,40
	3	0,34	0,17	0,14	0,34	0,18	0,15	0,32	0,17	0,15	0,29	0,15	0,14
Июнь	1	0,40	0,29	0,28	0,38	0,30	0,29	0,37	0,27	0,27	0,34	0,25	0,20
	2	0,24	0,54	0,53	0,24	0,55	0,66	0,24	0,51	0,60	0,16	0,36	0,44
	3	0,35	0,36	0,51	0,38	0,36	0,59	0,38	0,38	0,54	0,23	0,28	0,44
Июль	1	0,34	0,31	0,50	0,36	0,32	0,53	0,36	0,35	0,50	0,30	0,24	0,41
	2	0,67	0,32	0,44	0,70	0,33	0,47	0,66	0,31	0,45	0,64	0,22	0,37
	3	0,45	0,33	0,36	0,45	0,34	0,46	0,48	0,32	0,44	0,49	0,25	0,36
Август	1	0,23	0,45	0,43	0,23	0,51	0,67	0,26	0,47	0,65	0,23	0,37	0,46
	2	0,34	0,35	0,44	0,35	0,40	0,45	0,38	0,35	0,45	0,34	0,29	0,43
	3	0,35	0,18	0,31	0,36	0,20	0,32	0,40	0,18	0,33	0,26	0,16	0,25
Сентябрь	1	0,25	0,13	0,24	0,27	0,13	0,25	0,27	0,15	0,28	0,24	0,12	0,20
	2	0,24	0,11	0,19	0,27	0,10	0,21	0,27	0,11	0,19	0,23	0,09	0,13
	3	0,14	0,14	0,29	0,15	0,14	0,30	0,12	0,15	0,33	0,11	0,08	0,21
Среднее за период вегетации		1,26	0,33	0,29	0,37	0,34	0,30	0,41	0,34	0,30	0,40	0,29	0,23
Максимум		2,10	0,67	0,54	0,53	0,70	0,55	0,67	0,66	0,51	0,65	0,64	0,37
Минимум		0,49	0,14	0,11	0,14	0,15	0,10	0,15	0,12	0,11	0,15	0,11	0,08

Биоклиматический коэффициент, рассчитанный
по формуле Н.Н. Иванова

Месяц	Декада	II вариант		I вариант				I вариант			Контроль		
		(60–80% НВ)		(70–90% НВ)				(80–100% НВ)			(без орошения)		
		2023	2024	2025	2023	2024	2025	2023	2024	2025	2023	2024	2025
Май	1	0,27	0,29	0,33	0,27	0,31	0,34	0,27	0,30	0,33	0,25	0,24	0,28
	2	0,22	0,26	0,39	0,22	0,27	0,40	0,21	0,28	0,34	0,18	0,21	0,37
	3	0,33	0,16	0,14	0,33	0,17	0,16	0,31	0,17	0,15	0,29	0,15	0,14
Июнь	1	0,36	0,28	0,24	0,34	0,30	0,25	0,33	0,27	0,23	0,30	0,24	0,17
	2	0,21	0,51	0,47	0,22	0,52	0,58	0,21	0,48	0,53	0,15	0,34	0,39
	3	0,32	0,29	0,43	0,35	0,30	0,50	0,35	0,31	0,46	0,21	0,23	0,37
Июль	1	0,33	0,26	0,32	0,34	0,26	0,35	0,34	0,29	0,33	0,29	0,20	0,26
	2	0,54	0,34	0,46	0,56	0,35	0,49	0,53	0,33	0,47	0,52	0,23	0,38
	3	0,44	0,34	0,40	0,44	0,35	0,52	0,47	0,33	0,50	0,48	0,26	0,40
Август	1	0,23	0,39	0,40	0,23	0,45	0,62	0,25	0,41	0,59	0,23	0,32	0,30
	2	0,34	0,31	0,38	0,35	0,36	0,39	0,38	0,31	0,39	0,33	0,26	0,33
	3	0,35	0,20	0,33	0,35	0,22	0,34	0,39	0,20	0,35	0,25	0,18	0,27
Сентябрь	1	0,22	0,13	0,21	0,24	0,13	0,21	0,24	0,16	0,24	0,21	0,12	0,18
	2	0,23	0,11	0,17	0,26	0,10	0,18	0,26	0,11	0,16	0,22	0,09	0,11
	3	0,13	0,12	0,24	0,14	0,12	0,25	0,11	0,13	0,27	0,10	0,07	0,18
Среднее за период вегетации		0,30	0,27	0,33	0,31	0,28	0,37	0,31	0,27	0,36	0,27	0,21	0,28
Максимум		0,54	0,51	0,47	0,56	0,52	0,62	0,53	0,48	0,59	0,52	0,34	0,40
Минимум		0,13	0,11	0,14	0,14	0,10	0,16	0,11	0,11	0,15	0,10	0,07	0,11

Фактическое и рассчитанное по формуле 7.3.9 время работы капельниц на
варианте опыта с поддержанием влажности почвы 60-80%НВ за годы
исследования

№ полива	Фактическое время, час	Рассчитанное время, час	№ полива	Фактическое время, час	Рассчитанное время, час	№ полива	Фактическое время, час	Рассчитанное время, час
2023 год			2024 год			2025 год		
1	1,80	1,72	1	1,61	1,54	1	1,90	1,78
2	2,09	1,99	2	1,90	1,82	2	1,42	1,33
3	1,80	1,72	3	2,09	2,00	3	2,09	1,95
4	1,52	1,44	4	2,18	2,09	4	2,18	2,04
5	1,61	1,54	5	2,28	2,18	5	1,52	1,42
6	1,80	1,72	6	1,90	1,82	6	1,90	1,78
7	2,28	2,17	7	1,71	1,64	7	1,33	1,24
8	2,09	1,99	8	1,33	1,27	8	1,90	1,78
9	1,71	1,63	9	1,52	1,45	9	1,90	1,78
10	2,09	1,99	10	1,61	1,54	10	1,42	1,33
11	1,90	1,81	11	1,52	1,45	11	1,61	1,51
12	1,90	1,81	12	2,09	2,00	12	2,28	2,13
13	1,61	1,54	13	1,71	1,64	-	-	-
14	1,71	1,63	14	1,90	1,82	-	-	-
-	-	-	15	1,52	1,42	-	-	-

Фактическое и рассчитанное по формуле 7.3.9 время работы капельниц на
варианте опыта с поддержанием влажности почвы 70-90%НВ за годы
исследования

№ полива	Фактическое время, час	Рассчитанное время, час	№ полива	Фактическое время, час	Рассчитанное время, час	№ полива	Фактическое время, час	Рассчитанное время, час
2023 год			2024 год			2025 год		
1	1,99	1,99	1	2,15	2,10	1	1,71	1,67
2	1,99	1,99	2	1,53	1,50	2	1,61	1,58
3	1,99	1,99	3	1,74	1,70	3	1,42	1,39
4	2,28	2,28	4	1,53	1,50	4	1,90	1,86
5	1,71	1,71	5	1,74	1,70	5	2,09	2,04
6	1,99	1,99	6	1,64	1,60	6	1,61	1,58
7	1,71	1,71	7	1,64	1,60	7	1,71	1,67
8	1,90	1,90	8	2,05	2,00	8	2,18	2,14
9	2,09	2,09	9	2,45	2,40	9	1,61	1,58
10	1,61	1,61	10	1,53	1,50	10	1,71	1,67
11	2,09	2,09	11	1,64	1,60	11	1,52	1,49
12	1,52	1,52	12	2,35	2,30	12	1,33	1,30
13	1,42	1,42	13	2,45	2,40	13	1,71	1,67
14	1,52	1,52	14	1,84	1,80	14	2,09	2,04
15	1,80	1,80	15	1,53	1,50	15	1,90	1,86
16	2,18	2,18	16	1,43	1,40	-	-	-
17	1,99	1,99	17	2,35	2,30	-	-	-
18	2,37	2,37	18	2,15	2,10	-	-	-
19	2,37	2,37	19	2,25	2,20	-	-	-

Фактическое и рассчитанное по формуле 7.3.9 время работы капельниц на
 варианте опыта с поддержанием влажности почвы 80-100%НВ за годы
 исследования

№ полива	Фактическое время, час	Рассчитанное время, час	№ полива	Фактическое время, час	Рассчитанное время, час	№ полива	Фактическое время, час	Рассчитанное время, час
2023 год			2024 год			2025 год		
1	2,46	2,56	1	2,86	2,91	1	2,75	2,78
2	2,09	2,17	2	2,25	2,28	2	2,09	2,11
3	1,71	1,77	3	1,84	1,87	3	2,09	2,11
4	2,37	2,46	4	2,55	2,59	4	1,71	1,73
5	2,46	2,56	5	2,65	2,70	5	2,18	2,21
6	2,09	2,17	6	2,04	2,08	6	1,71	1,73
7	2,09	2,17	7	2,25	2,28	7	1,71	1,73
8	2,18	2,26	8	2,35	2,39	8	1,90	1,92
9	1,61	1,67	9	2,04	2,08	9	1,90	1,92
10	1,52	1,57	10	1,63	1,66	10	1,90	1,92
11	2,09	2,17	11	2,25	2,28	11	1,90	1,92
12	1,90	1,97	12	2,04	2,08	12	1,71	1,73
13	1,90	1,97	13	2,04	2,08	13	2,46	2,49
14	2,18	2,26	14	2,35	2,39	14	2,28	2,30
15	2,28	2,36	15	2,45	2,49	15	1,61	1,63
16	1,71	1,77	16	1,63	1,66	16	1,90	1,92
17	1,71	1,77	17	1,84	1,87	17	1,52	1,53
18	2,28	2,36	18	1,84	1,87	18	1,52	1,53
19	2,28	2,36	19	2,45	2,49	19	1,99	2,01
20	1,90	1,97	20	2,45	2,49	-	-	-
21	2,37	2,46	21	2,04	2,08	-	-	-
22	1,99	2,07	22	2,55	2,59	-	-	-
23	1,33	1,38	23	2,14	2,18	-	-	-
24	1,42	1,48	24	1,43	1,45	-	-	-
25	2,09	2,17	25	1,53	1,56	-	-	-
26	1,90	1,97	26	2,25	2,28	-	-	-
27	2,65	2,76	27	2,04	2,08	-	-	-
-	-	-	28	2,25	2,28	-	-	-

Патенты на изобретения, полученные по результатам диссертационного исследования



Акт о внедрении результатов диссертационного исследования



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева
С. С. Макаров
«15» июня 2026 г.

№ 1А от «15» июня 2026 года

**об использовании результатов научно-исследовательской работы (внедрении) системы
капельного орошения с дистанционным управлением в молодом саду вишни на
территории Мичуринского сада РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева**

Комиссия в составе представителей кафедры сельскохозяйственных мелиораций института Мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А. Н. Костякова академика РАН, д. с.-х. н., профессора, заведующего Н.Н. Дубенка, аспиранта Калмыковой Е.С. и заведующего отделом плодовых культур УНПЦ садоводства и плодородства имени В.И. Эдельштейна, доцент кафедры плодородства, виноградарства и виноделия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева А.В. Зубкова, составила настоящий акт в том, что в период с мая по сентябрь в 2023-2025 годы на опытном участке молодого сада вишни Мичуринского сада РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева аспирантом Калмыковой Е.С. внедрена система капельного орошения с дистанционным управлением, разработанная в соответствии с патентом Российской Федерации на изобретение № 2822771 С1 «Система капельного орошения с дистанционным управлением»

Комиссией установлено, что:

1. Система использована для проведения капельного орошения молодого сада вишни с возможностью дистанционного управления режимами полива.
2. Применение системы обеспечивает получение данных о влажности и температуре почвы, температуре и влажности воздуха в режиме реального времени и позволяет на их основе корректировать продолжительность полива и оросительную норму.

Комиссией рекомендовано:

1. Продолжить использование разработанной системы при проведении исследований режима капельного орошения при выращивании плодовых деревьев.
2. Использовать данные системы при назначении сроков полива и корректировке оросительных норм в зависимости от влажности почвы и метеорологических условий.

Авторы разработки обязуются оказывать научную и технологическую помощь при дальнейшей эксплуатации системы.

Заведующий кафедрой
сельскохозяйственных
мелиораций, академик РАН,
д.с.-х.н., профессор
«15» июня 2026 г.

Н.Н. Дубенок

Аспирант кафедры
сельскохозяйственных мелиораций
«15» июня 2026 г.

Е.С. Калмыкова

Заведующий отделом плодовых
культур УНПЦ садоводства и
плодородства имени В.И.
Эдельштейна, доцент кафедры
плодородства, виноградарства и
виноделия
«15» июня 2026 г.

А.В. Зубков