

КАЛМЫКОВА ЕКАТЕРИНА СЕРГЕЕВНА

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

Специальность 4.1.5. – Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2026

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева).

Научный руководитель **Дубенок Николай Николаевич** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева

Официальные оппоненты: **Новиков Андрей Евгеньевич** – член-корреспондент РАН, доктор технических наук, доцент, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал Федерального научного центра гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, директор

Шкура Виктор Николаевич – кандидат технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» Гидротехнический отдел, ведущий научный сотрудник

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации», Саратовская обл., Энгельсский р-н, р.п. Приволжский, ул. Гагарина, д. 1

Защита диссертации состоится 24 ноября 2026 года в 11 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 35.2.030.07, созданного на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д.19, аудитория 201, тел.: 8(499)976-17-14.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов): 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте Университета <http://www.timacad.ru>.

Автореферат разослан «___» _____ 2026 года

Ученый секретарь диссертационного совета,
технических наук, доцент

Н.Б. Мартынова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 в соответствии с 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.

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 систем капельного орошения, 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.

Степень разработанности темы. В работах О.Е. Ясониди, И.П. Кружина, Н.Н. Дубенка, В.В. Бородычева, А.С. Овчинникова, М.Ю. Храброва, В.Н. Шкуры, В. П. Бочарникова, А.В. Гемонova и ряда других исследователей показано, что капельное орошение оказывает положительное влияние на развитие сельскохозяйственных и плодовых культур. В настоящее время рационально обоснованной технологии капельного орошения с целью создания благоприятного водно-воздушного режима почв для возделывания молодого вишневого сада в условиях Центрального Нечерноземья не разработано.

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.

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 работы 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 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. Основное содержание изложено на 275 страницах и включает 73 рисунка, 51 таблицу. Дополнительный материал представлен 15 приложениями.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю, академику РАН, доктору сельскохозяйственных наук, профессору Дубенку Николаю Николаевичу за ценные советы и помощь, оказанную на всех этапах подготовки 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 полевого опыта и получения экспериментальных материалов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Состояние вопроса

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 продовольст-

венной 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. Проблемы современного состояния садоводства и рынка плодовой продукции государства рассмотрены в работах И.Е. Добренко (2022), И.Г. Калабекова (2025), П.А. Чекмарева (2010, 2018). Для получения высококачественного посадочного материала необходимо создание благоприятных условий онтогенеза растений. При закладке новых садов необходимо использовать высококачественный, адаптированный к местным условиям посадочный материал. Правила организации плодового питомника и молодого сада в условиях орошения описаны в работах Ю.А. Маркова (1985), Ю.В. Трунова (2019), Е.Г. Самошенкова (2026).

В настоящее время при выращивании плодовых культур используются практически все известные способы полива, начиная от поверхностного орошения и заканчивая капельным, внутрипочвенным и комбинированным способами полива. Применение орошения оказывает влияние на водно-воздушный, микробиологический, тепловой, питательный режимы почвы и позволяет регулировать развитие выращиваемых плодовых культур, что отражено, например, в работах В.В. Бородычева (1989), В.Ф. Северина (2008), Н.Л. Тарасенко (1956), А.В. Шуравилина (2006), И.П. Кружилина (2008, 2021), Н.Н. Дубенка (2020^а, 2020^б, 2024, 2024^а, 2020^г, 2025^а, 2026), А.С. Овчинникова (2016), Л.В. Кирейчевой (2020), А.В. Гемонова (2021, 2025, 2025^а), А.Ф. Вадюниной (1986), Н.И. Ненько (2019), М.Д. Кушниренко (1991), С.В. Макарычева (2000, 2004, 2021), А.Г. Болотова (2002, 2012), Н.Е. Опанасенко (2010), Л.З. Шекихачевой (2018, 2019, 2020) и других.

Капельное орошение находит широкое применение при выращивании плодовых культур. Разработке технологий капельного орошения и их применения в плодовых питомниках и садах посвящены исследования Н.Н. Дубенка (2013, 2023, 2023^б, 2024^б), А.С. Штанько (2021), К.В. Губера (1989), М.С. Григорова (1993), И.П. Кружилина (2008, 2021), В.Н. Шкуры (2017, 2021, 2022, 2023), А.В. Шуравилина (2011, 2012), А.И. Кузина (2017), З.Г. Алиева (2012, 2018, 2022), А.С. Овчинникова (2016), В.Н. Сторчоуса (2025, 2015), О.Е. Ясониди (2011) Т. Howell (1981) и др. Применение капельного орошения способствует повышению интенсивности роста и продуктивности плодовых деревьев, а также обеспечивает рациональное расходование водных ресурсов. Капельный полив в садах приводит к снижению сроков окупаемости затрат на их создание.

2. Объект, методы и условия проведения исследования

Полевые исследования 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.

Объектом исследования являются сорта вишни. Сорт вишни Молодежная, выведенный во ФГБНУ ВНИИСПК в результате целенаправленной селекционной работы. Сорт получен Х.Д. Еникеевым и С.Н. Сатаровой скрещивани-

ем сортов Любская и Владимирская, включён в Государственный реестр селекционных достижений РФ в 1993 году для Центрального региона.

Второй сорт — Волочаевка, созданный во ФГБНУ ВНИИСПК А.И. Евстратовым в результате гибридизации сортов Владимирская и Любская, включён в Государственный реестр селекционных достижений РФ в 1997 году и рекомендован для Центрального региона.

Полевые исследования по изучению применения системы капельного орошения при выращивании саженцев вишни были начаты осенью 2020 года. После достижения растениями трехлетнего возраста опыт был завершен, а насаждения переведены в следующую стадию исследований — разработку технологии орошения молодого вишневого сада, начатую в 2022 году. Схема размещения вариантов полевого опыта была сохранена.

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. 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», «Программе и методике исследований по орошению плодовых и ягодных культур», «Программно-методических указаниях по агротехническим опытам с плодовыми и ягодными культурами» и «Методике полевого опыта в условиях орошения». Схема полевого опыта предусматривала изучение двух факторов. В качестве первого фактора 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 %, 70–90 % и 80–100 % НВ. Для сопоставления полученных результатов с условиями естественного влагообеспечения дополнительно был предусмотрен контрольный вариант без орошения. Вторым изучаемым фактором являлись сортовые особенности вишни.

При расчёте поливных и оросительных норм и организации капельного орошения в течение всего периода исследований глубина орошаемого слоя почвы принималась постоянной и составляла 50 см, что было обусловлено возрастом деревьев и особенностями развития корневой системы молодого вишневого сада. Поливные нормы назначались с таким расчётом, чтобы обеспечивать повышение влажности почвы на 20 % НВ. Выбор данного диапазона основан на данных предшествующих экспериментов, свидетельствующих о том, что при более широких интервалах увлажнения возрастает доля непродуктивных потерь воды.

Посадка деревьев в опыте проводилась по схеме 2,0 × 0,66 м, при этом расстояние от конца одной делянки до начала следующей составляло 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

садов интенсивного типа и оценивать реакцию растений на различные режимы увлажнения в условиях ограниченной площади питания.

Закладка полевого опыта осуществлялась в трёхкратной повторности с использованием рандомизированного размещения опытных делянок. В пределах каждой повторности высаживали по 30 деревьев каждого сорта, для проведения биометрических наблюдений на каждой 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.

Для оценки силы роста деревьев вишни использовались основные биометрические показатели. Диаметр ствола, площадь листовой поверхности, высота растений определялись с учетом методических рекомендаций В.А. Потапова (1976, 2000), В.М. Тарасова (1981). Биометрические исследования корневой системы проводились с учетом рекомендаций В.А. Колесникова (1962, 1972), В.М. Тарасова (1981).

Выявление основных агрохимических и водно-физических свойств почвы на опытном участке производилось по общепринятым методам и методикам: Е.В. Аринушкина (1961), Н.А. Качинский (1970), А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина (1986), И.С. Кауричев, (1989), Н.Ф. Ганжара, Б.А. Борисов, Р.Ф. Байбеков (2002), В.А. Рожков (2002), В.Г. Мамонтов (2006).

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.

После созревания плодов и сбора урожая, по каждому сорту и варианту опыта была определена средняя масса одного плода, 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 ГОСТ 26176-2019, определение содержания аскорбиновой кислоты в плодах вишни выполнялся по требованиям ГОСТ 34151-2017, определение титруемой кислоты в плодах вишни проводились по ГОСТ ISO 750–2013, содержание калия, кальция и магния в плодах определяли по методике 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). 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 арифметиче-

ское значение, минимальные и максимальные величины, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации.

Для выявления достоверности различий между вариантами опыта использовались методы дисперсионного анализа с последующим расчётом 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.

3. Морфологические и агрофизические свойства дерново-подзолистой почвы опытного участка

Для изучения свойств почвы опытного участка осенью 2022 и 2025 годов были заложены почвенные разрезы. В ходе исследований выполнялось морфологическое описание генетических горизонтов и производился отбор почвенных образцов для лабораторного определения агрохимических показателей. Почвенный покров экспериментального участка (2022 год) представлен агродерново-подзолистой глееватой глубокопахотной глубоко осветлённой поверхностно оглеенной легкосуглинистой песчано-крупнопылеватой на ледниковых отложениях среднесуглинистой иловато-песчанового состава почвой. По результатам морфологического анализа почвенного разреза в 2025 году, почва относится к агродерново-подзолистой глеевой глубокопахотной глубоко осветлённой поверхностно оглеенной легкосуглинистой крупнопылевато-песчаной на ледниковых отложениях легкосуглинистого состава. Почвенный профиль характеризуется чётко выраженной генетической дифференциацией горизонтов.

Таблица 1 – Агрохимические показатели почвы опытного участка (2022)

Генетический горизонт, мощ- ность, см	Органиче- ское веще- ство, %	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
$Anax_{\frac{5-25}{25}}$	6,8	6,04	2,74	10,25	12,99	78,9	321	541	12,2	4,3
$Anax_{\frac{25-42}{17}}$	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

Агрохимические и водно-физические (таблица 1–2) свойства исследуемого почвенного профиля свидетельствуют о её высокой потенциальной продуктивности. До начала проведения полевого опыта почва обладала высоким уровнем потенциального плодородия. Основой для планирования оросительных ме-

роприятий являются водно-физические свойства почвы. Для опытного участка определялись: плотность почвы, плотность твердой фазы, водопроницаемость и наименьшая влагоемкость почвы (НВ), максимальная гигроскопичность (МГ) и влажность завядания растений (ВЗ). Основные характеристики водно-физических свойств почвы опытного участка приведены в таблице 2.

Таблица 2 – 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			
$BPC \frac{0-5}{5}$	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

В ходе выращивания молодого сада вишни с использованием технологии капельного орошения в почве были отмечены закономерные изменения отдельных агрохимических показателей. За период исследований наблюдалось умеренное уменьшение содержания гумуса до 0,4 %, повышение кислотности с рН 5,83 до 3,97 и перераспределение элементов минерального питания по почвенному профилю.

4. Водопотребление и режимы орошения молодого вишневого сада при капельном орошении

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 3.

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 объем оросительной воды потребовался в 2023 г. В 2025 г. более благоприятное распределение атмосферных осадков позволило сократить оросительные нормы по всем исследуемым вариантам до минимальных за период наблюдений значений.

Таблица 3 – 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, м³/га	690,1	559,6	440,7	896,9	732,9	524,6	1185,6	1127,1	778,6
Средняя поливная норма, м³/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

Проведение систематических поливов малыми нормами обеспечило поддержание влажности почвы на заданных условиями опыта уровнях (рисунок 1–3). Поддержание относительно стабильной влажности почвы позволило уменьшить влияние стрессовых условий, возникающих в результате сильного колебания влажности почвы, периодического иссушения и увлажнения.

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. 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. 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.

По результатам проведенных полевых наблюдений с 2023 по 2025 год были получены контуры увлажнения (рисунок 4–6) для каждого варианта опыта с поддержанием влажности в корнеобитаемом слое 60–80 % НВ, 70–90 % НВ и 80–100 % НВ.

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 оптимальный, обеспечивающий формирование достаточного объема увлажнённой почвы и интенсивное развитие корневой системы при более рациональном использовании оросительной воды по сравнению с режимом 80–100% НВ.

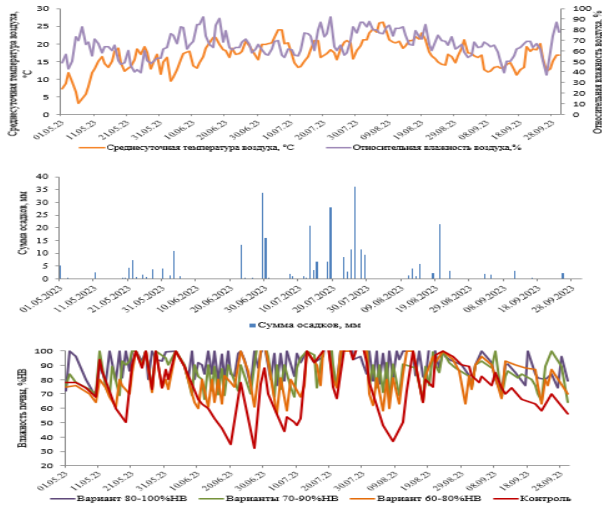


Рисунок 1 – Динамика в 2023 году среднесуточных значений температуры воздуха, относительной влажности воздуха, количества выпавших осадков и влажности почвы по вариантам опыта

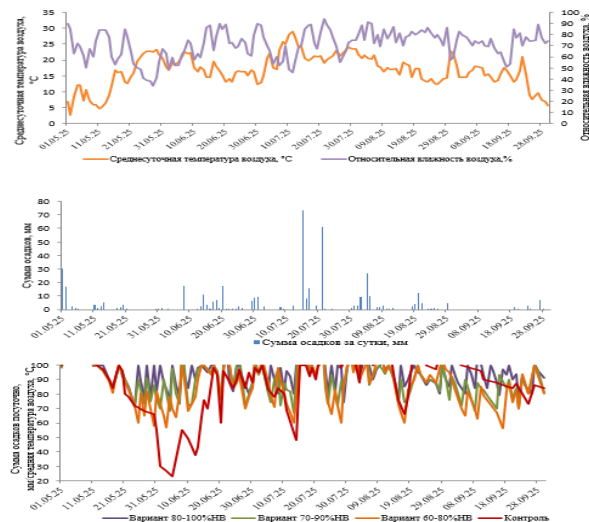


Рисунок 3 – Динамика в 2025 году среднесуточных значений температуры воздуха, относительной влажности воздуха, количества выпавших осадков и влажности почвы по вариантам опыта

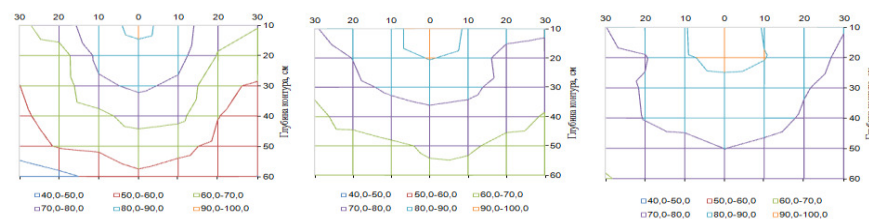


Рисунок 4 – Контура увлажнения вариантов орошения 60-80%НВ, 70-90%НВ и 80-100% соответственно НВ в 2023 году (слева направо)

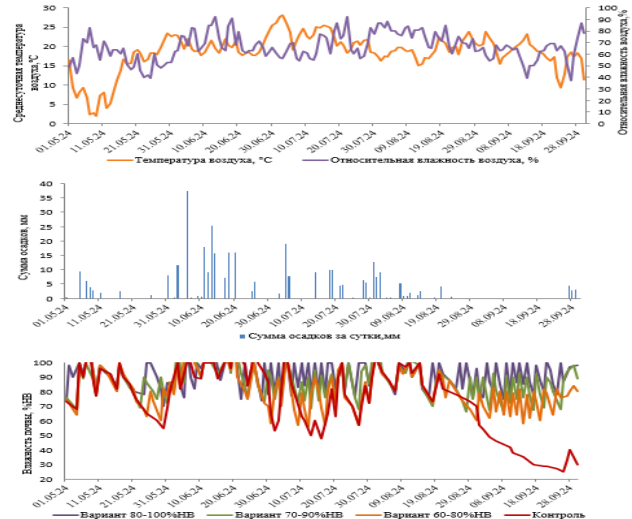


Рисунок 2 – Динамика в 2024 году среднесуточных значений температуры воздуха, относительной влажности воздуха, количества выпавших осадков и влажности почвы по вариантам опыта

Максимальное суммарное водопотребление за вегетационный период в 2023 г. 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. Развитие корневой системы при более рациональном использовании оросительной воды по сравнению с режимом 80–100 % НВ. 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.

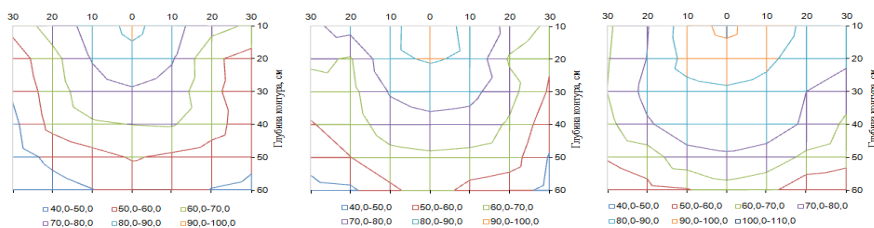


Рисунок 5 – Контура увлажнения вариантов орошения 60-80%NB, 70-90%NB и 80-100%NB соответственно в 2024 году (слева направо)



Рисунок 6 – Контура увлажнения вариантов орошения 60-80%NB, 70-90%NB и 80-100%NB соответственно в 2025 году (слева направо)

максимальное суммарное водопотребление отмечалось в варианте 70–90 % NB 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.



Рисунок 7 – Структура суммарного водопотребления молодых деревьев вишни

На основании экспериментальных данных за трёхлетний период была проанализирована структура суммарного водопотребления молодых деревьев вишни (рисунок 7). 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.

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.

$$E = aT + bA + cF_{\text{плоды}} - dF_{\text{после}} - e \quad 1.1$$

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.

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

Анализ диаграммы (рисунок 8) 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.

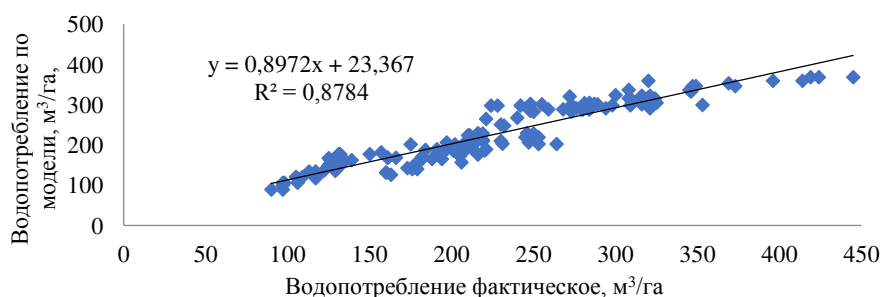


Рисунок 8 – Соотношение расчетных и фактических значений декадного водопотребления по общей регрессионной модели

Коэффициент детерминации составил 0,88, что подтверждает высокую достоверность 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.

Анализ статистических показателей биоклиматических коэффициентов (таблица 4) 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. Алпатьева,

что связано с высокой чувствительностью показателя к изменению дефицита влажности воздуха.

Таблица 4 – Средние значения коэффициентов за годы исследования

Вариант опыта	Средняя	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Модуль испарения И.А. Шарова, мм на 1 °С					
60-80 % НВ	1,03	0,52	1,49	0,31	30,34
70-90 % НВ	1,09	0,53	1,59	0,34	30,75
80-100 % НВ	1,07	0,53	1,52	0,32	29,30
Контроль	0,82	0,35	1,30	0,28	33,71
Биофизический коэффициент Г.К. Льгова, мм на 1 °С					
60-80 % НВ	1,29	0,64	2,15	0,44	33,66
70-90 % НВ	1,37	0,66	2,24	0,46	33,73
80-100 % НВ	1,34	0,66	2,19	0,43	32,30
Контроль	1,08	0,44	1,86	0,39	36,15
Биоклиматический коэффициент А.М. Алпатьева					
60-80 % НВ	0,31	0,13	0,58	0,12	38,79
70-90 % НВ	0,33	0,13	0,64	0,14	39,69
80-100 % НВ	0,33	0,13	0,61	0,13	39,32
Контроль	0,26	0,11	0,49	0,11	40,75
Биоклиматический коэффициент Н.Н. Иванова					
60-80 % НВ	0,30	0,13	0,51	0,10	35,66
70-90 % НВ	0,32	0,13	0,57	0,12	37,69
80-100 % НВ	0,31	0,12	0,53	0,11	36,47
Контроль	0,25	0,09	0,42	0,10	38,49

5. Биометрические характеристики молодого вишневого сада

Анализ биометрических показателей деревьев вишни сортов «Волочаевка» и «Молодежная» в 2023 г. (рисунок 9) 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.

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 НВ. 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 фор-

мирования ассимиляционного аппарата. Режим 80–100% НВ способствовал увеличению площади листовой поверхности.



Рисунок 9 – Средние биометрические характеристики деревьев вишни за годы исследования

У сорта вишни «Молодежная» площадь листовой поверхности превышает 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. Объем корневой системы вишни во все годы исследований достоверно 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.

6. Урожайность и биохимический состав плодов вишни

После сбора урожая и расчета перечисленных показателей, 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. Анализ урожайности сортов Волочаевка и Молодежная в 2023–2025 годах показал устойчивую зависимость продуктивности от режима орошения (таблица 5). В среднем у сорта Волочаевка урожайность в 2023 году составила 10,3–12,9 т/га при орошении и 6,2 т/га без полива; в 2024 году – 16,5–19,5 т/га при поливе и 10,3 т/га на контроле; в 2025 году – 20,6–24,2 т/га при режиме 70–90 % НВ и 13,9 т/га без орошения.

У сорта Молодежная показатели были выше: в 2023 году урожайность достигала 12,3–15,4 т/га при орошении и 7,7 т/га на контроле; в 2024 году – 18,5–23,1 т/га при поливе и 12,9 т/га на контроле; в 2025 году – 23,1–27,3 т/га при 70–90 % НВ и 15,4 т/га без орошения.

Таблица 5 – Характеристика урожайности вишни
«Волочаевка» и «Молодежная»

Режим орошения	Средняя масса од- ного 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	-		

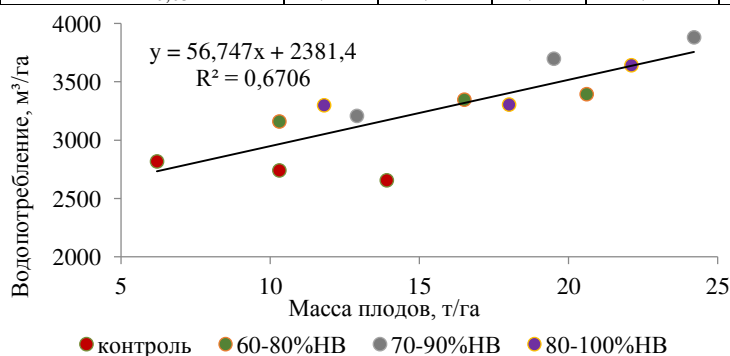


Рисунок 10 – Зависимость водопотребления вишни от массы плодов (2023–2025г.)

На рисунке 10 представлена зависимость массы плодов вишни и суммарного водопотребления при различных режимах орошения. Установлено, что с увеличением водопотребления возрастала масса плодов. Наибольшая масса 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.

Режим 60–80 % НВ давал 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 орошения для формирования стабильных урожаев вишни в условиях Центрального Нечерноземья.

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 ниже, чем при более интенсивных режимах.

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.

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 «Молодежная»). Таким образом, данный вариант обеспечивал более сладкие, но водянистые плоды. 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.

7. Дистанционное управление и автоматизация систем капельного орошения

Результатом проведенного исследования стала разработанная система, повышающая эффективность дистанционного управления процессом орошения за счёт оперативного удалённого регулирования длительностью полива, его режима, осуществления полива зон с различной структурой почвы и рельефом, разными нормами полива (рисунок 11).

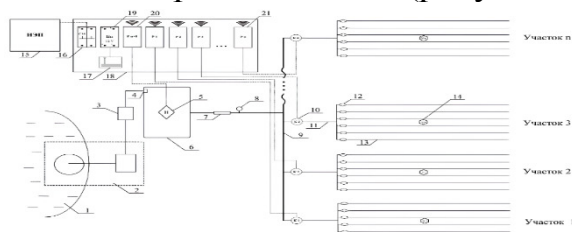


Рисунок 11 – Принципиальная схема капельного орошения с удалённым управлением

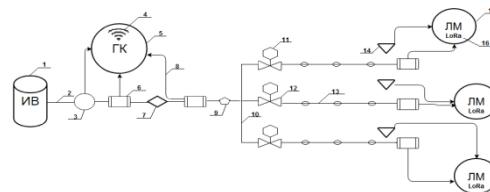


Рисунок 12 – Структурная схема самодиагностируемой системы капельного орошения

Разработанная система оснащена промежуточными Wi-Fi реле насоса и электроклапанов, рабочее оборудование (де-)активируется с учётом анализа уровня влажности почвы, наличия и интенсивности атмосферных осадков. Анализ известных технических решений показал, что еще одной 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 (рисунок 12). 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.

8. Экономическая эффективность выращивания молодого вишневого сада при капельном орошении

Анализ экономической эффективности выращивания вишни на площади 1 га при различных режимах орошения в возрасте деревьев от четырех до шести лет показывает, что экономические показатели существенно зависят от уровня предполивной влажности почвы (таблица 6).

В первый год эксплуатации сада ни контрольный вариант, ни орошаемые варианты 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 деревья) 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 6 – 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 окупае-

мость (1-й год), наиболее высокую стоимость реализованной продукции и максимальную прибыль.

Заключение

1. Режим капельного орошения оказывает влияние на агрохимическое состояние почвы под молодыми насаждениями вишни сортов Волочаевка и Молодежная. 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 Молодежная.

2. Изучение особенностей процесса формирования и динамики контура увлажнения почвы при различных режимах капельного орошения показало, в условиях дерново-подзолистых почв Центрального Нечерноземья режим 70–90% НВ может рассматриваться как наиболее оптимальный, обеспечивающий формирование достаточного объема 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 мм). 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 условиях 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 тыс. рублей) и 80–100 % НВ (22 157,350 тыс. рублей) на третий год эксплуатации

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Статьи, опубликованные в изданиях из перечня ВАК РФ:

1. 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. – DOI 10.35809/2618-8279-2023-4-1. – EDN BUAZRX.
2. 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. – № 5. – С. 34–38. – DOI 10.32962/0235-2524-2024-5-34-38. – EDN TQSUNJ.
3. Биометрические показатели саженцев вишни при капельном орошении в условиях Центрального Нечерноземья / Н. Н. Дубенок, А. В. Гемонов, А. В. Лебедев, **Е. С. Калмыкова** // Мелиорация и водное хозяйство. – 2024. – № 2. – С. 24–30. – DOI 10.32962/0235-2524-2024-2-24-30. – EDN VQJNBC.
4. 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. – № 6(147). – С. 73–77. – DOI 10.25680/S19948603.2025.147.14. – EDN WSFMAI.
5. 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.
6. 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. – Т. 19, № 1. – С. 21–31. – DOI 10.26897/1997-6011-2026-1-21-31. – EDN JEJHHQ.

Публикации в международных библиографических базах:

7. 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.
8. 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. – P. 01031. – DOI 10.1051/bioconf/202519401031. – EDN HPFQZF.

Патенты:

9. Патент № 2822771 С1 Российская Федерация, МПК А01G 25/02. Система капельного орошения с дистанционным управлением: № 2023127533: заявл. 26.10.2023: опубл. 12.07.2024 / Н. Н. Дубенок, А. В. Гемонов, А. В. Лебедев, К.Б. Шумакова, О.М. Кузина, **Е.С. Калмыкова**; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет-МСХА имени К.А. Тимирязева". – EDNJKMQFG.
10. Патент № 2822774 С1 Российская Федерация, МПК А01G 25/02. Способ дистанционного управления системой капельного орошения: № 2023127531: заявл. 26.10.2023: опубл. 12.07.2024 / Н. Н. Дубенок, А. В. Гемонов, А. В. Лебедев, К.Б. Шумакова, О.М. Кузина, **Е.С. Калмыкова**; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева". – EDN SIGDDM.
11. Патент № 2864022 С1 Российская Федерация, Система капельного орошения: № 2025126301: заявл. 25.09.2025: опубл. 16.06.2026 / Н. Н. Дубенок, А. В. Гемонов, А. В. Лебедев, **Калмыкова Е.С.**, Каблуков О.В., Владимиров С.О.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева".
12. Патент № 2864159 С1 Российская Федерация, Автоматизированная самодиагностируемая система капельного орошения: № 202512603: заявл. 25.09.2025: опубл. 17.06.2026 / Н. Н. Дубенок, А. В. Гемонов, А. В. Лебедев, **Калмыкова Е.С.**, Каблуков О.В., Кузина О.М.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева".

Публикации в прочих изданиях:

13. 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.
14. Гемонов, А. В. Морфометрические показатели саженцев вишни при капельном орошении в условиях Центрального района Нечерноземной зоны Российской Федерации / А. В. Гемонов, **Е. С. Калмыкова** // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича : Сборник статей, Москва, 03–05 июня 2024 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024. – С. 174–178. – EDN WOYCAU.
15. 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.
16. Калмыкова, Е. С. Обоснование оптимального диапазона увлажнения при капельном поливе молодого вишнёвого 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.
17. Калмыкова, Е. С. Разработка технологии дистанционного управления системой капельного орошения молодого вишневого сада лаборатории плодоводства Тимирязевской академии / **Е. С. Калмыкова** // Мелиорация: история и современность: Материалы международной научно-практической интернет-конференции, к 80-летию победы в Великой

Отечественной войне и 100-летию ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, Москва, 15 апреля 2025 года. – Москва: Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, 2025. – С. 102–111. – DOI 10.37738/VNIIGIM.2025.90.21.015. – EDN NVXIWP.