

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный аграрный университет»

На правах рукописи

Галиуллина Екатерина Юрьевна

**КАПЕЛЬНОЕ ОРОШЕНИЕ ЯБЛОНЕВОГО САДА В УСЛОВИЯХ
СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Специальность: 06.01.02 –
«Мелиорация, рекультивация и охрана земель»**

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель - доктор
технических наук, профессор
АХМЕДОВ А.Д.

Волгоград - 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА ИССЛЕДОВАНИЯ	8
1.1 Перспективные способы полива в Южном Федеральном Округе.....	8
1.2 Роль орошения в жизни плодовых культур.....	13
1.3 Особенности применения капельного орошения в плодоводстве.....	22
2 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	25
2.1 Методика проведения опытно-производственных и экспериментальных исследований.....	25
2.2 Краткая почвенно-климатическая характеристика опытного участка в годы проведения исследований.....	30
2.3 Методика проведения полевых исследований и схема опыта.....	39
3 ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГИ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ	44
3.1 Краткая характеристика систем капельного орошения.....	44
3.2 Особенность оценки равномерности водораспределения в низконапорных системах капельного орошения.....	50
3.3 Динамика увлажнения почвы при капельном поливе садов.....	57
3.4 Формирование и динамика контура увлажнения в зависимости от величины поливной нормы при капельном поливе.....	61
4 ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТЫ ВЛАГОПЕРЕНОСА ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ	70
4.1 Обоснование выбора математической модели влагопереноса в ненасыщенных почвогрунтах.....	70
4.2 Определение основных параметров влагопереноса в почве.....	76
4.3 Обоснование параметров систем капельного орошения методом математического планирования.....	84
5 РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ И ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ ЯБЛОНЕВОГО САДА ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ	89

5.1 Режим орошения и водопотребление яблоневого сада при капельном орошении.....	89
5.2 Влияние водного режима почвы на рост и развитие яблоневых культур при капельном орошении.....	103
5.3 Повышение энерго-экономической эффективности яблоневого сада в условиях Волгоградской области.....	114
Заключение.....	120
Список литературы.....	122
Приложения.....	142

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В настоящее время в связи с развитием орошения нет сомнения в том, что среди перспективных способов полива одним из основных является капельное орошение. Данный способ полива позволяет создать наиболее благоприятные условия для растений, обеспечить подачу воды непосредственно корням растений, автоматизировать процесс полива. Повышение эффективности данного способа полива основано на получении максимум продукции при минимуме затрат поливной воды и труда. Однако перспективы внедрения капельного орошения в настоящее время сдерживаются отсутствием конкретных режимов орошения и теоретических исследований использования таких систем и технологий полива. Поэтому исследования по разработке и совершенствованию систем капельного орошения в яблоневых садах в условиях сухостепной зоны с точки зрения распределения и нормирования воды растениям, представляют как научный, так и практический интерес.

Степень разработанности темы. Исследованиями И.П. Кружилина (1976), О.Е. Ясониди (1984), М.С. Григорова (1983), В.Н. Щедрина (1995), А.С. Овчинникова (2008), В.В. Бородычёва (2000), М.Ю. Храброва (2008) и других было установлено, что капельное орошение благоприятно влияет на развитие и продуктивность различных сельскохозяйственных культур. При этом урожайность сельскохозяйственных культур возрастает на 20 - 50 % в сравнении с другими способами полива. Несмотря на это вопросы по совершенствованию техники и технологии капельного полива непосредственно для садов остаются недостаточно исследованными, что не позволяет достаточно эффективно использовать почвенные и водные ресурсы. Следовательно, данная проблема является началом актуальных и перспективных научных исследований.

Цель и задачи исследований. Целью исследований является повышение эффективности использования водных ресурсов и урожайности за счет

разработки техники и технологии капельного орошения яблоневого сада в условиях Волгоградской области.

Достижение поставленной цели включало решение следующих задач:

- дать анализ и оценку эффективности использования водных ресурсов при капельном орошении плодовых культур на темно-каштановых почвах;
- изучить особенности водораспределения и оценить его равномерность в низконапорных системах капельного орошения;
- установить закономерности процесса формирования и динамики контура увлажнения почвы в зависимости от величины поливной нормы при капельном поливе садов;
- разработать математическую модель и аналитически решить задачу влагопереноса, описывающую влагообмен в корнеобитаемом слое почвы при капельном орошении;
- обосновать параметры системы капельного орошения с применением методов математического планирования;
- изучить влияние капельного орошения на экономию водных ресурсов, урожайность яблоневого сада в сравнении с поливом по бороздам.

Научная новизна работы заключается:

- в разработке и исследовании закономерностей движения влаги в корнеобитаемом слое почвы при капельном орошении;
- в определении рационального режима орошения яблоневого сада;
- в теоретическом определении и экспериментальном подтверждении параметров капельного орошения.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в научном обосновании, теоретическом и экспериментальном подтверждении экологической безопасности развития и экономической целесообразности в определенных природных условиях водосберегающих систем капельного орошения.

Доказано, что капельное орошение положительно влияет на рост и развитие растений. При этом экономия воды составляет 30 – 60 % по сравнению

с поливом по бороздам. По результатам исследований получены эмпирические зависимости для определения динамики изменения параметров, контура увлажнения почвы до и после полива, определены закономерности движения влаги в корнеобитаемом слое почвы при капельном орошении.

Практическая значимость заключается в том, что проведенные исследования завершены разработкой конкретных режимов орошения, параметров и характеристик капельного орошения для яблоневых садов в сухостепной зоне Волгоградской области.

Практическая значимость подтверждается внедрением результатов исследований в ООО «Липовские сады» Ольховского района Волгоградской области.

Методология исследований характеризуется корректной, научно обоснованной постановкой проблемы исследования, построением предмета и теории исследований основанной на использовании известных законов и методов математического анализа. Экспериментальные методы включали полевые и лабораторные исследования по изучению влагопереноса в почве, определения параметров и характеристик капельного орошения яблоневых садов. Данные исследования выполнены в соответствии с требованиями ОСТ 10.11.1.2000.

Положения, выносимые на защиту:

- оценка равномерности распределения влаги в почвенном профиле и особенности формирования контуров увлажнения в зависимости от величины поливной нормы при капельном поливе;
- математическая модель для прогнозирования и управления водным режимом в корнеобитаемом слое почвы при капельном поливе;
- основные параметры систем капельного орошения;
- влияние капельного полива на использование водных ресурсов, рост, развитие и урожайность яблоневого сада в условиях Волгоградской области.

Степень достоверности и апробация результатов исследований подтверждается большим объемом экспериментальных данных, полученных

в результате многолетних полевых экспериментов, многократной повторностью и положительными результатами в ходе опытно-производственной проверки. Основные положения диссертационной работы доложены и одобрены на научно-практических и международных конференциях: Волгоградский ГАУ (г. Волгоград) в 2010 – 2013 гг.; Саратовский ГАУ (г. Саратов) в 2010 – 2011 гг.; МГУП и ГНУ ПНИИЭМТ Россельхозакадемия (г. Москва) в 2010 г.; ФГНУ ВНИИ «Радуга» (г. Коломна) в 2012 г.; ФГОУ ВПО Ульяновская ГСХА (г. Ульяновск) в 2010 г.

По результатам исследований опубликовано 15 научных работ, включающих 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикаций материалов кандидатских диссертаций. Общий объем публикаций составляет 4,57 п.л., из них лично соискателю принадлежат 1,79 п.л.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, выводов и предложений. Изложена она на 151 странице и включает 28 таблиц, 22 рисунка и 12 приложений. Список использованной литературы представлен 188 наименованиями, из них 10 на иностранных языках.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Перспективные способы полива в Южном Федеральном Округе

В восьмидесятые годы прошлого столетия в Южном Федеральном Округе применялись различные способы полива. При этом наибольшее распространение нашло орошение с применением дождевания. Широко использовались поверхностные способы полива и полив затоплением. В настоящее время данные способы полива являются ведущими на рисовых оросительных системах. При поверхностных поливах воду на поля подают либо сплошным слоем, либо по бороздам. В первом случае вода поступает в почву вертикально вниз под действием сил гравитации, а во втором вода также поступает в боковом направлении за счет капиллярного перемещения. Однако, самый древний способ – лиманное орошение продолжал применяться как наиболее простой при строительстве и относительно дешевый.

К новым и перспективным способам орошения следует отнести внутрипочвенное, капельное орошение, мелкодисперсное и синхронно-импульсное дождевание. Все эти способы не получили еще достаточно широкого применения в нашей стране и находятся в стадии изучения и разработки. Ниже приводится краткое описание сущности названных способов орошения.

При внутрипочвенном способе орошения корнеобитаемый слой почвы увлажняется при помощи труб-увлажнителей или кротовин, устроенных на небольшой глубине, или при помощи специальных механизмов, которые вводят влагу непосредственно в корнеобитаемый слой. Основные преимущества внутрипочвенного орошения перед всеми способами поверхностного полива и дождевания заключаются в следующем: повышается коэффициент полного использования воды; улучшаются водно-физические свойства почв, структура поверхностного слоя почвы в процессе полива не разрушается, уменьшается плотность поверхностного горизонта, усиливается его аэрация; автоматизация процесса подачи воды в почву; вода на орошаемые поля подается в любое время, когда возникает в ней потребность, и в установленных

количествах; повышается эффективность труда поливальщика и обеспечивается получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур. В то же время этому способу присущи и некоторые недостатки: возникает опасность засоления почв, трудно регулировать микроклимат, промывать листья, опрыскивать растения растворами пестицидов и гербицидов, сравнительно высокая стоимость оросительной сети [13, 43, 60, 61].

По способу подачи воды внутрипочвенные системы можно подразделить на вакуумные, безнапорные и напорные.

Увлажнение корнеобитаемого слоя происходит с помощью кротовин, трубок, желобов и т. д. Для устройства труб-увлажнителей обычно применяют гончарные трубы, а в последнее время - пористые и полиэтиленовые. Внутрипочвенные увлажнители обычно располагают на глубине 40...50 см с расстоянием между ними 1...3 м. Вода в почву поступает через стыки труб, которые обсыпают пористым материалом. Если в качестве увлажнителей приняты пористые трубки, то стыки заделывают наглухо и вода из них проникает через стенки. Достаточно равномерное увлажнение почвы по длине увлажнителей получается при длине труб не более 100...300 м. В качестве увлажнителей в плотных грунтах можно использовать искусственные кротовины, которые нарезают в начале оросительного периода с применением специальных кротовых плугов или кротователей. Кротовины нарезаются на глубине 0,35...0,60 м. При этом расстояния между ними составляет 0,5...1,5 м. Длина кротовин принимается в пределах 50...200 м, диаметр 5...15 см [56, 59].

К внутрипочвенному орошению следует относить и машинно-инъекционный способ полива, при котором вода с удобрениями под давлением впрыскивается в корнеобитаемый слой с помощью специальных машин или орудий. Рабочие органы таких машин устроены по типу растениемпитателя. В машину вода подается во время ее движения специальными устройствами по гибким трубопроводам. Такое точечное увлажнение почвы с точки зрения экономии воды, по-видимому, наиболее целесообразно при орошении

садов и виноградников. Его можно применять на легких почвах для удобрительного полива стоками животноводческих комплексов, что весьма рационально с точки зрения охраны природы [8, 59, 60].

Особой разновидностью внутрпочвенного полива является капельное орошение. Внутрпочвенное – капельное орошение – это способ локального увлажнения почвы, при котором вода с помощью небольшого диаметра пластмассовых трубопроводов (6...50 мм) подаётся при необходимости медленно или непрерывно у корневой системы растений. В связи с этим увлажнительная сеть с капельницами находится в пахотном горизонте, то есть в слое 0,15...0,30 м. Поскольку визуальный осмотр капельниц затрудняется и усложняются условия их очистки от закупорки, в некоторых случаях (для полива садов, виноградников) капельницы размещают на поверхности поля. Система внутрпочвенного капельного орошения оснащена насосом, фильтром, регуляторами напора и расхода и другими элементами. Вода подается под небольшим рабочим напором: при расположении капельниц в подпахотном горизонте – 0,1 - 0,2 мПа, на поверхности поля – 0,07...0,2 мПа. При этом напор капельницы на выходе снижается до нуля. Основной принцип данного способа - постоянное обеспечение растений необходимым количеством воды и удобрений. Этот процесс выполняется в соответствии с их физиологической потребностью с помощью точечных микроводовыпусков, т. е. капельниц. При этом достигаются минимальные потери на испарение и фильтрацию, что особенно важно для районов с ограниченными водными ресурсами. При капельном орошении почва увлажняется в зоне максимального развития корневой системы растений, где поддерживается хорошая аэрация. В корнеобитаемый слой вода подается под определенным напором по сети расположенных на поверхности или внутри почвы пластмассовых трубопроводов с помощью водовыпусков - капельниц. Воду подают ежедневно (в течение 3...4, иногда 12 ч.) очень малым расходом (0,9...9,1 л/ч), что обеспечивает медленное (капельное) поступление ее в почву непосредственно около корней растений [56, 59, 176].

По сравнению с другими способами полива капельное орошение имеет следующие преимущества:

- при поливе снижается затрата труда;
- сохраняется основная структура почвы;
- отсутствуют корки на поверхности почвы;
- появляется возможность подачи удобрений непосредственно к корневой системе растений с водой;
- происходит снижение поливной нормы на 30...60 % и повышение урожайности на 20...100 %;
- возможность применения на территориях с большим уклоном;

Однако широкое распространение этого способа сдерживается из-за высоких первоначальных расходов, так как требуется большое количество пластмассовых трубопроводов, которые приходится периодически заменять. Существенным недостатком является возможность закупорки трубок и капельниц вследствие естественной загрязненности поливной воды. Несмотря на данные недостатки, капельное орошение в настоящее время применяется для выращивания цветов и овощей в парниках и теплицах, а также для полива садов, виноградников, сахарного тростника и цитрусовых насаждений.

Метод мелкодисперсного (аэрозольного) дождевания направлен на решение проблемы оптимального регулирования параметров приземного слоя воздуха, с целью создания наиболее благоприятного для развития растений микро- и фитолимата. Основа его заключается в периодической обработке растений мелкораспыленной водой с диаметром единичной капли 100...600 мк. Такое увлажнение проводится только в жаркие сухие дни, когда температура листьев превышает физиологически оптимальную для данной культуры температуру. Норма разового действия на растения при этом способе орошения находится в пределах 100...500 л/га в зависимости от температуры и влажности воздуха, окружающего растения [59, 62].

Применение метода мелкодисперсного увлажнения на достаточно большой площади, занятой под посевами, обеспечивает значительное сниже-

ние температуры листового покрова растений и окружающей их воздушной среды и увеличение влажности воздуха. В результате этого происходит выравнивание дневного хода фотосинтеза, уменьшается транспирация воды растениями из почвы, ликвидируется дефицит влаги в листьях растений и обеспечивается отток продуктов ассимиляции из листьев растений в корень в дневное время.

Опыты свидетельствуют также, что мелкодисперсное увлажнение наиболее эффективно на фоне достаточного предпосевного запаса влаги в почве. Только в этом случае можно планировать получение достаточного урожая при значительном сокращении расхода воды на орошение. Значительный интерес этот метод представляет и как средство борьбы с заморозками и морозами.

Одно из новых прогрессивных технологических направлений в орошении считается синхронно-импульсное дождевание. Оно обеспечивает частые поливы при очень малых поливных нормах, позволяет регулировать микроклимат, поддерживая относительную влажность воздуха на высоте растений в пределах 70...80 % при снижении максимальной температуры в наиболее жаркие периоды дня в среднем на 2...3°C.

Из различных технологических схем импульсного дождевания наиболее практически приемлемой является синхронное импульсное дождевание, которое позволяет осуществить принцип «непрерывного» снабжения сельскохозяйственных культур водой на протяжении всего вегетационного периода в соответствии с ходом их водопотребления.

Осуществляется оно импульсными аппаратами нового типа, работающими по сигналам понижения давления в напорной сети. Работают аппараты одновременно на всей площади орошаемого участка. При этом в гидропнеumoаккумуляторах в этот период происходит выплеск воды под воздействием сжатого воздуха. Для обеспечения равномерной водоподачи растениям продолжительность непрерывно чередующихся пауз накопления должна быть в

50...200 раз больше, чем в период выплеска воды. Следовательно, интенсивность дождя в среднем составляет приблизительно 0,01...0,002 мм/мин.

Считается, что особенно эффективным будет применение импульсных систем дождевания в условиях дефицита трудовых, земельных и водных ресурсов, на массивах со сложным рельефом и большим перепадом высот, при близком залегании грунтовых вод, на маломощных почвах, подстилаемых сильнофильтрующимися породами.

Для осуществления синхронного импульсного дождевания в настоящее время выпускаются комплекты КСИД-10, состоящие из насосной станции, гидроподкормщика, трубопроводной сети, импульсных дождевателей, датчика, генератора командных сигналов и пульта управления. Одновременно комплект КСИД-10 поливает площадь 10 га, за сутки подается воды 20...100 м³/га, число импульсных аппаратов 51...55, продолжительность рабочего цикла 1 мин, средняя интенсивность дождя 0,001...0,005 мм/мин [59].

1.2 Роль орошения в жизни плодовых культур

Проведенные исследования в различных регионах Российской Федерации показывают, что орошение дает высокий эффект в южных районах, где осадки составляют всего лишь 40...60 % количества влаги. Кроме того орошение так же предпочитается в более увлажнённых районах для получения более устойчивых урожаев.

Потребность в орошении нельзя связывать с годовой суммой осадков, это необходимо для получения высоких ежегодных урожаев независимо от складывающихся погодных условий. Например, в Новой Зеландии годовая сумма осадков составляет 1500...2000 мм. При этом для получения стабильных урожаев, в том числе и плодовых применяются различные способы полива [179].

Во Франции независимо от обилия осадков в пределах 300...1000 мм и несмотря на сравнительно близкое залегание грунтовых вод сады за сезон поливают 5...6 и даже иногда 12 раз.

Для обеспечения человека витаминами необходимо увеличить площадь орошаемого участка с возделыванием плодовых культур. Среди семечковых пород по потребности в воде яблоня занимает первое место. Поэтому для нормального роста и развития дерева в течение вегетационного периода необходимо, чтобы влажность почвы была в оптимальных пределах.

Анализируя климатические условия Волгоградской области можно отметить, что данный регион является в целом засушливым, резко-континентальным. Следовательно, выпадает мало осадков, в результате чего, происходят частые засухи. Опытами многих учёных установлено, что яблоневый сад в плодоносящем возрасте расходует за вегетационный период приблизительно 4000...6000 м³/га воды, а при поддержании междурядий в задерненном состоянии, сад требует в 1,5...2 раза больше влаги. Отсюда вытекает, что осадков выпадающих за вегетационный период (200...300 мм) для нормального развития и стабильного плодоношения плодовых культур не достаточно [54].

Учитывая вышеизложенное, для почвенно-климатических зон Волгоградской области в зависимости от фаз развития растений Т.И. Горин рекомендует применять 4...6 поливов: I полив (апрель) - за 10...15 дней перед цветением; II полив (начало роста побегов - май) - после цветения; III полив (июнь) - в фазу физиологического осыпания завязи; IV полив (июль)- в период усиленного роста побегов и формирования цветочных почек; V полив (август) - через 15...20 дней после четвертого полива; VI полив (первая половина сентября) - в период окончания формирования плодов осенне-зимних сортов [54]. Применение данных сроков полива обеспечивает получение высокого урожая и нормальный рост, и развитие всего жизненного цикла растения.

Необходимо учитывать, что при возделывании яблоневого сада при наличии осадков в начале осени и с применением осеннего влагозарядкового полива, можно не проводить первый и шестой поливы, так как в эти периоды времени аккумуляция влаги в активном слое почвы происходит в доста-

точном количестве. Учитывая это молодые сады необходимо поливать чаще. При этом первый полив проводят в начале роста побегов, а последующие поливы в зависимости от погоды и водно-физических свойств почвы даются с промежутками времени через 15...25 дней.

В засушливые годы, когда конец лета и начало осени проходят без осадков большое значение при возделывании интенсивных плодовых насаждений имеет влагозарядковый полив. Применение влагозарядкового полива повышает зимостойкость, повреждение дерева происходит очень слабо, так как корни растений, находящиеся во влажной почве повреждаются морозами гораздо слабее, чем в сухой почве. Это происходит из-за большой теплопроводности и теплоемкости. Например, по уточнённым данным В.А. Колесникова можно отметить, что в 1938 - 1939 годах суровой зимой в Орловском опытном пункте, в садах политых осенью, не погибло ни одно дерево [79, 80].

По данным Колесникова В.А. в ряде хозяйств Ставрополья ежегодное проведение лишь одного осеннего влагозарядкового полива по сравнению с контролем (без орошения) повышало урожайность яблони на 70...100 %, сливы на 50...60, вишни на 60...80 и абрикоса на 90...100 %. Отсюда следует, что применение вегетационных поливов на фоне влагозарядкового полива увеличивает эффективность орошения в 1,5...2,0 раза. В зависимости от климатических условий влагозарядковый полив можно проводить поздней осенью, а так же в зимний период, например, в Крыму практикуется его проведение в феврале [79, 80].

В нашей области при возделывании яблоневого сада влагозарядковый полив обычно проводится в конце сентября или в начале октября. Так же с данным поливом рекомендуется вносить до 1/3 годовой нормы азотных удобрений. При этом поливная норма для влагозарядкового полива изменяется в пределах от 1000 до 2000 м³/га.

По мнению И.С. Флорцэ в орошаемых садах до сих пор в некоторых хозяйствах применяется богарная технология. Несмотря на это, многими ис-

следователями установлено, что орошение увеличивает продолжительность вегетационного периода деревьев, способствует более мощному росту, развитию корневой системы и надземной части дерева. Следовательно, необходимо внедрять в производство насаждения на средне- и слаборослых подвоях, уточнять сроки норм внесения удобрений и обработки почвы, типы и схемы посадки деревьев, конструкции крон и систему обрезки [169].

Для обеспечения повышения продуктивности плодовых культур основным условием орошения, является сохранение и улучшение мелиоративного состояния почв. Например, по мнению И.С. Флюрцэ [169] ухудшение данного состояния почвы в садах интенсивной технологии, в первую очередь влияет на ее водные и физические свойства. Применение различных машин и орудий, связанное с необходимостью возделывания яблоневого сада, приводит к увеличению плотности на 40 - 60 %, снижению аэрации и водопроницаемости почвы. В результате этих изменений в садах независимо от рельефа местности появляется опасность водной эрозии. Для предотвращения данного явления И.С. Флюрцэ рекомендует проведение следующих мелиоративных мероприятий:

- подачу поливной воды за два приема;
- щелевание, прерывистое бороздование, кротование почвы;
- шире практиковать задернение междурядий в садах как агротехническое мероприятие;
- использовать такие эффективные методы как биологический метод и интегрированная система защиты.

Результаты исследований проведенных в нашей стране и за рубежом дают основания полагать о том, что при возделывании плодовых насаждений иногда требуется давать поливы даже тогда, когда годовое количество осадков составляет около 600 мм и больше. Так, результат исследований проведенных в Болгарии доказывает, что при годовом количестве осадков около 644 мм, применение поливов положительно влияет на продуктивность яблони [194].

При возделывании плодовых насаждений применение орошения и поддержание влагообеспеченности на оптимальном уровне благоприятно влияет на физиологические и другие факторы развития растений. Так, например, в Венгрии были проведены опыты с орошением яблоневого сада и установлено, что количество однолетних побегов и общая длина всех побегов сорта Джонатан увеличивается на 33 и 58 % соответственно, а средняя длина одного побега на 19 % по сравнению с богарным [181, 184].

В штате Мичиган в США, несмотря на обильные осадки за весь вегетационный период (около 700 мм) сады поливают 2 раза. При этом повышается продуктивность яблоневого сада, а урожайность в десятилетнем возрасте с одного дерева приблизительно составляет 200...240 кг [185,186].

Результаты исследований проведенных в зоне избыточного увлажнения Кууском (Эстония) показали, что применение дождевания при поливе яблоневого сада способствовало повышению урожайности яблони на 76 %. Данные предпосылки подтверждаются и в других регионах России и ближнего зарубежья. Так, по данным различных научно - исследовательских институтов прибавка от использования орошения яблоневых садов соответственно составляет: в центральных областях России, на Северном Кавказе, в Поволжье, на Украине 25...30; 300; 60...100; 50...200 % [34, 46, 52, 81, 117, 177].

По результатам исследования М.С. Григорова, Н.А. Потаповой, О.Е. Ясониди, Т.И. Горина установлено, что нехватка влаги в почве в летний период времени является одной из главных причин гибели деревьев зимой [54, 59, 137, 178]. Кроме того доказано, что ежегодный прирост (не менее 10...12 мм) штамба дерева гарантирует получение высоких и стабильных урожаев яблоневого сада. При этом надо учитывать, что такой прирост яблоневого сада возможен при условии поддержания влажности почвы на оптимальном уровне. Следовательно, вес плодов при оптимальной влагообеспеченности деревьев больше, чем на неорошаемых участках.

В садах с оптимальной влагообеспеченностью периодичность плодоношения яблони резко снижается. Влагообеспеченность деревьев также

влияет на закладку плодовых почек, т.е. является основой урожайности растений следующего года. Например, А.Д. Ахмедов и Е.В. Акутнева по результатам своих опытов установили, что увеличение влажности почвы в пределах от 70 до 80 % НВ положительно действует на образование большого количества мочковатых корней и степень их ветвления [14].

Значительное влияние орошение так же оказывает на рост и развитие корневой системы яблони и ее размещение в почвенном слое. Так, на основе проведенных наблюдений в 1972 г. в Киевской области совхозе «Бортнички» Бориспольского района установлено, что на орошаемом участке у сортов яблони Пепин литовский и Кальвиль снежный длина корней в 2,1 раз, а масса корней в 3,2 раза были выше, чем в контрольном варианте. Причем основная масса корней при орошении располагалась в почве до глубины 1,3 м, а на богарных условиях в основном в слое до 0...0,6 м [139, 140, 160].

Для большинства растений и в том числе плодовых культур, влага является основным фактором плодоношения, роста и развития. При недостатке влаги плоды деревьев получаются мелкие, нарушается физиологический процесс цветкования почек. В результате данного процесса замедляется рост побегов, корней и листьев, растения не откладывают необходимый запас питательных веществ к зиме. В итоге ухудшается зимостойкость растения, что приводит к его гибели. Выпадающие в летний период осадки не всегда обеспечивают плодовые растения необходимым количеством воды, часто возникает дефицит влаги в почве. Летние осадки не проникают в более глубокие слои и в основном увлажняют только верхний слой почвы до глубины 0,2...0,3 м. Поэтому при возделывании яблоневого сада недостаток влаги в более глубоких слоях почвы в летний период можно восполнить лишь путем применения регулярных поливов [72, 81, 117, 138].

Академики М.С. Григоров, И.П. Кружилин на основании проведенных опытов пришли к выводу о том, что при орошении для питания растения непосредственно используется лишь малая часть поглощаемой корнями воды. При этом необходимо учитывать, что при возделывании плодовых

культур для получения высоких и устойчивых урожаев среди всех факторов вода является главным. Поэтому ей приходится отнестись одно из первых мест [64, 88].

В районах недостаточного естественного увлажнения наилучшим агротехническим приемом при возделывании садов является орошение, которое в сочетании с другими приемами обеспечивает стабильную продуктивность плодовых культур. Так, например, в Болгарии во всех крупных садах действуют оросительные системы. Во Франции для возделывания товарных садов около 65, а в США 75 % от общей площади применяют различные виды орошения [76, 184, 180].

Плодовые культуры для нормального плодоношения и роста требуют значительного количества влаги. По данными В.В. Малыченко, Т.И. Горина, О.Е. Ясониди и А.Д. Ахмедова для получения урожайности в пределах 25...30 т плодов с 1 га растения потребляют от 6 до 8 тыс. м³ воды [21, 54, 117, 178]. Однако здесь необходимо учитывать, что высокую эффективность от орошения за весь вегетационный период можно получать в условиях, когда регулярно обеспечиваются потребности плодовых культур во влаге. Поэтому стремление размещать плодовые сады на орошаемых землях является не случайным. В южных областях европейской части России более, чем вековой опыт плодоводства показывает, что применение регулярного орошения с высокой агротехникой резко повышает и обеспечивает сильный рост и развитие плодовых культур и их урожайности [81, 139].

Исследованиями ЮжНИИГиМа установлена высокая эффективность регулярного орошения садов в условиях засушливых районов. Например, в степной зоне на каштановых почвах Моздокского опытно-мелиоративного пункта урожаи различных сортов яблонь после обильных поливов повышались в 2...3 раза [94, 178]. Так, продуктивность плодов яблони сорта Апорт при влажности почвы 65 и 80 % НВ составила 15,2 и 25,7 т/га соответственно. Далее урожаи сорта «Кронсельское прозрачное» при предполивной влажности 65 % НВ изменялись по годам исследования в

пределах 23 т/га, и при влажности почвы 80 % НВ возрастали до 30 т/га.

Эффективность полива плодовых культур доказана на практике не только в южных и в центральных областях, таких как Московская, Тамбовская, Курская, Рязанская, но и в других регионах России. Каждый гектар, где применяется регулярное орошение, повышает урожайность дополнительной продукции плодов яблони от 30...40 до 50...100 т. В целом продуктивность регулярных орошаемых садов в 2 раза выше, чем по сравнению с неорошаемыми. Такие значительные прибавки урожая плодов яблони от применения орошения даёт возможность получать большую доходность по сравнению с другими сельскохозяйственными культурами [25, 26, 81, 94, 111, 163, 178].

В настоящее время в некоторых засушливых южных районах России плодоводство в общем случае невозможно без орошения. Так, в 1963 г. плодоводческий совхоз «Красный сад» Ростовской области применяя орошение на площади 18,4 га, получил урожай яблок сорта Белого налива 14,9 т/га, а на площади 15,6 га – сорта Боровинка - 14,6 т/га. В опытно-производственном хозяйстве ЮжНИИГиМ на пойменных землях при одном вегетационном поливе урожай яблок изменялись в пределах от 5,2 до 7,6 т/га [177, 178].

Многолетние опыты проведенные в регионах с недостаточным или неустойчивым увлажнением, таких как Средняя Азия, Казахстан, Украина, Молдова, Закавказье, Среднее и Нижнее Поволжье, Северный Кавказ, Центрально-Черноземный район России показали, что орошение оказывает огромное влияние для развития плодовых, ягодных культур и является главным агротехническим мероприятием. Оно, в первую очередь, способствует лучшему росту и развитию растений, повышению, в основном, их зимостойкости, урожайности, сопротивляемости устойчивости против вредителей и болезней. Развитие орошение плодовых деревьев в условиях Нечерноземной зоне России связано с тем, что на данной территории лето проходит засушливым, и растения испытывают недостаток влаги в почве [15,

35, 50, 77, 85, 94, 106, 111, 117, 137, 178].

Развитие садоводства в Нижнем Поволжье возникло еще в глубокой древности, так как плодовые культуры являются основными промышленными культурами данного региона. Несмотря на то, что данный регион имеет климат резко континентальный, пойма реки Дон весьма благоприятна для развития садоводства [54, 117].

Анализируя полученные опытным путем данные М.С. Филимонова по Волго-Ахтубинской пойме можно отметить, что дальнейшее интенсивное развитие садоводства в данной зоне требует необходимость применения орошения. Он так же отмечает, что резко континентальный жаркий климат Волго-Ахтубинской поймы дает возможность получать нежные сорта яблони высокого качества ранних сроков созревания. Следовательно, молодым садам по возможности полив поливными нормами 500...550 м³/га необходимо давать не менее 4-х раз. При этом первый полив во второй половине мая, второй полив в первой половине июня, третий полив в начале июля и четвёртый осенний влагозарядковый полив [168].

В условиях Нижнего Поволжья вопросами орошения плодовых насаждения занимались многие ученые такие как В.В. Малыченко, Т.И. Горин, М.Н. Багров, А.Д. Ахмедов и другие [21, 33, 54, 117]. Результатами опытов установлено, что стабильный рост и развитие плодовых культур протекают при поддержании оптимальной влажности почвы на уровне 75...80 % НВ. При этом необходимо учитывать, что потребность во влаге в течение всего вегетационного периода яблоневого сада происходит не одинаково. Это зависит в основном от почвенно-климатических условий района, где проводятся исследования. Поэтому для обеспечения растений водой в активном слое на легких почвах необходимо постоянно поддерживать влажность не меньше, чем 70 % НВ, на средних - 75% и на тяжелых - 80 % НВ. При уменьшении влажности почвы от наименьшей влагоемкости нужно производить полив.

В целом, по мнению В.В. Малыченко [117] в условиях Нижнего

Поволжья применяя орошение можно повысить устойчивость деревьев к низким температурам зимой и длительной засухе летом и получить высокие урожаи плодов.

Таким образом, яблоня за весь вегетационный период в фазе развития формирования и налива плодов более требовательна к влаге. Недостаток влаги в эти периоды угнетает формирование плодовых почек, что в итоге приводит к снижению урожайности. Даже кратковременная нехватка влаги снижает зимостойкость растений и увеличивает осыпание завязи и плодов. При этом плоды яблони имеют худшие качества, теряют товарный вид, ухудшается их лежкость при зимнем хранении.

В летний период времени с очень высокой температурой воздуха недостаток влаги приводит к снижению фотосинтетической активности листьев и в 2...3 раза сокращает продуктивность растений. Поэтому орошение во всех зонах садоводства позволяет избежать ухудшения качественных характеристик, повысив эффективность растений [54, 117].

Это как правило, и увеличивает объём и массу плодов, усиливается интенсивность окраски. При этом улучшаются вкусовые качества и химический состав плодов яблони. В свою очередь чрезмерно частые и обильные поливы ухудшают качество плодов. Учитывая выше изложенное можно отметить, что для поддержания водного режима садовых насаждений необходимо регулярно применять полив [118, 137, 138].

Таким образом, анализируя литературные данные, необходимо отметить, что в зоне недостаточного увлажнения, орошение плодовых насаждений является высокоэффективным и необходимым средством повышения урожайности.

1.3 Особенности применения капельного орошения в плодоводстве

В связи с ухудшающейся экологической обстановкой применение современных способов и техники полива должны обеспечивать:

- необходимые оптимальные условия для возделывания плодовых культур и получение высоких урожаев с хорошим качеством плодов;
- сохранение структуры почвы;
- проведение поливов на единицу площади с минимальными затратами воды;
- отсутствие возникновения причин водной эрозии;
- механизацию и автоматизацию процесса полива;
- регулирование в определенном диапазоне водного, питательного и воздушного режимов почвы и растений;
- повышение степени надежности и коэффициента полезного действия оросительных систем;
- уменьшение энерго-экономических затрат [19, 44, 59, 68, 75, 92].

В настоящее время исследования по применению капельного орошения в плодоводстве проводятся очень активно, как в России, так и за рубежом. Например, еще в XIX веке для орошения садов в Калифорнии применялся способ Ли. При этом, для подвода воды к саду закладывался магистральный трубопровод диаметром 0,15 м. К данному магистралу (трубе) диаметром 0,07 м присоединялись боковые отводы. Эти отводы располагались под почвой вдоль деревьев. Для распределения влаги около каждого дерева для увлажнения почвы монтировался клапан. В результате полученных данных было уточнено, что в основном увлажнение происходит в слое почвы глубиной 0,1...1,0 м. Смыкание контуров увлажнения были достигнуты при поливных нормах 700...900 м³/га. При поддержании влажности 80 % НВ в среднесухие и сухие годы проводилось 2 полива с поливной нормой 800...900 м³/га и 3 полива нормой 1400...1800 м³/га соответственно. Для создания необходимого количества влаги в почве во все годы исследований был запланирован влагозарядковый полив (осенний) нормой 700...800 м³/га. В результате этого при экономном расходовании воды за 4 года исследований урожайность яблоневого сада в среднем

составила 12 т/га и все деревья имели хороший вегетативный прирост [59, 186].

В конце XX века, в Израиле полевые исследования с применением капельного орошения при использовании соленой воды для полива в грушевом саду показали возможность получения стабильных урожаев. Было установлено, что при капельном орошении распределение влажности лучше приспособлено к характеру распределения корней в почве по сравнению с традиционными способами полива [180, 188].

В целом применение капельного орошения благоприятно влияет на общее развитие плодовых деревьев, оказывает снижение периодичности плодоношения, способствует повышению зимостойкости и приживаемости их саженцев, что позволяет получать стабильные урожаи с хорошим качеством плодов.

Следует учитывать большие материалоемкости и значительные капиталовложения в строительстве систем капельного орошения. В связи с этим для снижения стоимости системы капельного орошения необходимо продолжать дальнейшие исследования, направленные для увеличения их экономической эффективности и совершенствования методов расчета режима и техники полива.

2 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Методика проведения опытно-производственных и экспериментальных исследований

Исследования, проводимые в условиях Волгоградской области, в первую очередь направлены на изучение особенности орошения земель и их классификацию в данном регионе. В ходе исследований нами учитывались водно-физические свойства почвы и почвенно-рельефные условия орошаемого участка. На основании этих данных проводилось обоснование выбора опытного участка и для достижения поставленной цели проводились опытно-полевые исследования. В качестве опытного участка были выбраны объекты капельного орошения, построенные в ООО «Липовские сады» Ольховского района, которые по почвенно-климатическим условиям являются характерными для Волгоградской области.

В настоящее время в процессе эксплуатации о надежности систем капельного орошения развернулась широкая дискуссия. Например, Токар А.И., Науменко И.И., Мирцхулава Ц.Е. и другие по результатам своих исследований предлагают нормировать показатели надежности без учета причин возникновения отказов. Исходя из этого и анализируя два основных подхода к регламентации показателей надежности в стандартах и технических условиях, характеризующие надежность изделия авторы далее предлагают использовать регламентации, которые обосновываются на основании технико-экономических показателей [115, 116, 124]. Принимая во внимание данные предпосылки, Науменко И.И. и Ахмедов А.Д. считают, что в настоящее время введение в научно-технических документациях установленных показателей надежности несвоевременно. Следовательно, они могут быть целесообразными при наличии технико-экономического обоснования. Их введение для каждого конкретного изделия возможно только после проведения всей необходимой подготовительной работы [16, 123].

В своей работе Левин В.И. [93] несколько раньше сформулировал основные положения надежности изделия при их эксплуатации.

Исходя из поставленных задач, нами в опытно-полевых исследованиях необходимо было выполнить исследования, связанные с работоспособностью элементов поливной сети систем капельного орошения. Для решения поставленной задачи исследовали изменения расходов капельниц в зависимости от давления на технически чистой воде.

Работу капельниц в процессе эксплуатации можно характеризовать функцией:

$$q_3(t) = f(q_c, v_t, H, A, \rho, t), \quad (2.1)$$

где q_c - начальный средний расход капельниц; v_t - технологический коэффициент вариации расходов капельниц; H - среднее давление в поливном трубопроводе; A - параметр, характеризующий конструкцию капельниц и отзывчивость конструкции на воздействия окружающей среды; ρ - мутность воды, поступающая в поливные трубопроводы очистки; t - продолжительность работы капельниц с начала эксплуатации.

Для исследования надежности работы капельниц при эксплуатации были выделены определяющие факторы, оказывающие наибольшее влияние на их работоспособность. Таким фактором является мутность подаваемой в систему воды.

Давление в трубопроводах при измерении расходов капельниц поддерживали постоянным и фиксировали манометром, расположенным в начале поливного трубопровода. Давление в поливных трубопроводах во всех опытах для одних и тех же капельниц было одинаковым, в промежутках между измерениями оно было разным в пределах рабочей характеристики.

Мутность воды измеряли в источнике орошения и после фильтрования фильтром тонкой очистки.

Для выяснения влияния качества очистки воды на работоспособность капельниц проводили исследования при очистке воды песчанно-гравийным и сетчатым фильтром с размером ячеек 0,25 мм.

Для исследования работоспособности капельниц и поливных трубопроводов в процессе эксплуатации в качестве определяющих факторов выделяли мутность воды и биологические свойства.

В ходе исследований напор воды измеряли с помощью пьезометров, а расход капельниц - объемным способом. Для определения расхода капельниц применяли формулу:

$$q=3,6W/t,$$

где q - расход капельницы, л/ч; W - объем вылитой воды из капельница в мерный цилиндр за время t , мл; t - продолжительность времени одного замера, с.

На опытных участках при проведении исследований для достоверных результатов были использованы следующие приборы: мерный цилиндр, секундомер, пьезометры, электрические весы ВЛР-200, бюксы и сушильный шкаф с автотерморегулятором. Согласно ГОСТ 1770 – 74 для определения количества воды использовали мерные цилиндры объемом 25, 100 и 200 мл и 1 л. Для измерения малых объемов - до 20 см³ был использован мерный цилиндр объемом 25 мл. Поверки мерных цилиндров проводили на электрических весах объемно-весовым методом. Продолжительность времени одного замера варьировалась в пределах от 30 до 60 с и измерялась секундомером с ценой деления 0,1 и 0,2 с.

Все экспериментально - производственные опыты проводились в трехкратной повторности.

Равномерность распределения воды при капельном орошении на орошаемом участке напрямую в основном зависит от конструкции капельниц и от их монтажа.

Анализируя системы капельного орошения И.И. Науменко, А.И. Токар и другие ученые, рекомендуют принять показателем надёжности их качество и безотказность, а для определения расчетной равномерности предлагают способ, учитывающий случайный характер расхода воды в капельницах в пространстве и во времени, то есть способ доверительных интервалов. Учитывая

данные предпосылки, они рекомендуют расчетную формулу для определения равномерности распределение влаги капельницами [123, 124]:

$$K_p = K_T \cdot K_c,$$

где K_T - коэффициент технологической равномерности капельниц; K_c - коэффициент изменения расхода воды в капельницах вдоль поливного трубопровода.

В правую часть данной зависимости входят расходы воды, характеризующие изменение напора по длине поливного трубопровода. Отсюда следует, что её можно применить при оценке равномерности водораспределения в высоконапорном режиме работающей системы капельного орошения. В низконапорной капельной системе напоры воды над всеми капельницами примерно одинаковы, и поэтому в таких системах изменение расхода капельниц по длине поливного трубопровода носит случайный характер. Здесь целесообразно заменить коэффициент K_c на коэффициент равномерности водоподачи K_b , тогда можно получить:

$$K_p = K_T \cdot K_b.$$

При капельном орошении основным параметром, характеризующим работу капельницы, является расход. Для определения расхода капельниц применяли объемный способ с использованием мерных цилиндров с объемами 25 и 100 мл и секундомеров с ценой деления 0,2 с. Следовательно, измерения давление воды в трубопроводе вели манометрами с ценой деления 0,0016 и 0,0025 мПа. Поверку манометров выполняли гидростатистическим методом через каждые 150 - 200 часов с корректировкой в случае необходимости. Поверки мерных цилиндров выполняли объемно-весовым методом на электрических весах [50, 122, 123].

Объем пробы для фильтрования брали таким, чтобы масса взвешенных веществ после фильтрования была не менее 100 - 250 мг. После фильтрования стенки прибора промывали дистиллированной водой, чтобы смыть на бумажный фильтр частички взвешенных веществ, оставшиеся на стенках. После фильтрования бумажный фильтр просушивали при температуре 40-50° С и, наконец, досушивали в течении 1 часа при 105° С до постоянной массы. Взвешивание

фильтра с взвешенными веществами в бюксе проводили на аналитических весах ВЛР-200 г с ценой деления 0,05 мг.

Содержание взвешенных веществ вычисляли по формуле:

$$\rho = \frac{(m_3 - m_1 - m_2)}{W} \cdot 1000, \quad (2.2)$$

где ρ - мутность воды, мг/л; m_1 - масса высушенного бумажного фильтра, мг; m_2 - масса бюкса, мг; m_3 - масса бюкса с фильтром и взвешенными веществами, мг; W - объем пробы, взятый для определения, л.

Мутность воды определяли по методу задержания взвешенных веществ на бумажном фильтре при помощи прибора Олихова. Перед фильтрованием бумажный фильтр высушивали в течении 1 часа при 105° С в сушильном шкафу до постоянной массы и взвешивали в бюксе [66, 123].

Для обработки полученных результатов исследований пользовались различными методами математической статистики и теории вероятностей с применением персонального компьютера. Для измерения температуры использовали термометры с ценой деления 0,5°С [40, 49].

Орошение опытного участка обеспечивалось производством израильской компании «Мацерплац» системой капельного полива «Идит». Данная система обеспечивает подачу воды и оснащена полукомпенсированными капельницами. Капельницы расходами 2,2...2,5 л/час имеют выходное отверстие диаметра 1 мм. Диапазон рабочего давления капельных систем находится в пределах 5...40 м.

Главными конструктивными элементами капельницы являлись:

лабиринт;

диафрагма;

фильтр.

Основные показатели (эксплуатационно-технологические) системы капельного орошения показаны в таблице 2.1.

Таким образом, для совершенствования технологии капельного орошения сельскохозяйственных культур в основном необходимо добиваться повышения надёжности водоподачи. При этом главным критерием является оценка равномер-

ности распределения влаги различными устройствами в системе капельного орошения с учётом показателей надежности и правильный выбор методики исследований.

Таблица 2.1 – Основные эксплуатационно-технологические показатели системы капельного орошения

№ п/п	Наименование показателя	Паспортные данные	Данные испытаний
1	Расход системы, м ³ /ч на 1 га	-	36
	л/с на 1 га	-	10
2	Расход капельниц, л/ч	2...2,5	2,2...2,5
3	Напор капельниц, м	5...40	40
4	Количество водовыпусков, шт./га	-	14400
5	Наработка системы за 2010-2012 гг., ч	-	260
6	Качество полива:		
	неравномерность увлажнения почвы, %	-	10...12
	коэффициент эффективного расхода капельниц	-	0,89...0,91
	коэффициент земельного использования	0,96	0,96
7	Эксплуатационно-технологические коэффициенты:		
	Технического обслуживания	-	0,99
	Использования эксплуатационного времени	0,96	0,97

2.2 Краткая почвенно-климатическая характеристика опытного участка в годы проведения исследований

Почвенный покров Волгоградской области в основном представлен тёмно-каштановыми почвами различной степени солонцеватости. Почвообразующими породами на территории участка являются четвертичные древнеаллювиальные отложения. Данная почва представлена лессовидными суглинками, постилаемыми песками, в которых встречаются глины морского происхождения. Их водная вытяжка на плотном остатке не превышает 0,1 %, почвы не засолены [89, 103].

Грунтовые воды располагаются на глубине более 14 м, слабоминерализованны. На орошаемом участке гидрогеологические и геологические условия для проведения орошения являются благоприятными.

В основном Ольховский район Волгоградской области представлен

террасовыми, темно-каштановыми среднесуглинистыми среднемошными почвами в различной степени выщелоченными. Следовательно, опытный участок, находящийся на территории ООО «Липовские сады» Ольховского района, расположен в подзоне темно-каштановых почв, которая характеризуются следующими морфологическими признаками:

A (0...0,28 м)/0,28 м – верхний гумусовый слой темно-серый, пылевато-комковатой структуры, по гранулометрическому составу средний песчаный суглинок, постепенный переход в следующий горизонт;

B_I (0,28...0,51 м)/0,23 м – серовато-бурый, окраска с желтыми пятнами, уплотнен, по гранулометрическому составу крупно-комковатый, средний, песчаный суглинок, переход происходит постепенно;

B_{II} (0,51...0,70 м)/0,19 м – серовато-бурый, окраска с коричневыми пятнами, структура почвы плотная, непрочно-комковатый, резкий переход по следующему горизонту;

BC (0,70...0,99 м)/0,29 м – горизонт буровато-желтый с гумусовыми затеками, плотный, призмовидный, по гранулометрическому составу средний песчаный суглинок, встречаются карбонаты в виде белоглазки, отмечается постепенный переход в горизонт C;

C (0,99...1,20 м)/0,21 м – горизонт рыхлого сложения, более светло-однородный, бесструктурный с очень резкими карбонатными пятнами.

По классификации Н.А. Качинского почвы орошаемого участка и по механическому составу относятся к среднесуглинистым песчано-пылеватым. Содержание частиц физической глины и илистой фракции в пахотном горизонте (частиц 0,001мм) составляет соответственно 38 - 40 и 20 - 25 %.

На опытном участке в слое 0,0...1,0 м основные водно-физические свойства почвы характеризуются следующими данными: наименьшая влагоемкость – 20,74 % от сухой массы, плотность – 1,35 т/м³ и влажность завядания растения – 8,1 % (табл. 2.2).

Таблица 2.2 – Основные водно-физические свойства почвы

Глубина, м	Плотность почвы, т/м ³	Плотность твёрдой фазы, т/м ³	Сква- жен- ность, %	Влажность почвы, % от сухой массы	
				Наименьшая влагоемкость,	Влажность завядания растения
0,0...0,1	1,21	2,49	50,6	24,2	8,7
0,1...0,2	1,27	2,49	49,8	23,1	9,0
0,2...0,3	1,36	2,51	49,0	22,9	8,2
0,3...0,4	1,37	2,52	47,6	21,9	8,3
0,4...0,5	1,37	2,53	45,8	19,7	7,8
0,5...0,6	1,37	2,55	45,9	19,9	7,9
0,6...0,7	1,36	2,57	45,9	19,9	6,9
0,7...0,8	1,40	2,55	44,7	19,3	8,1
0,8...0,9	1,42	2,56	44,5	18,2	7,9
0,9...1,0	1,36	2,53	43,9	18,3	7,2
0,0...1,0	1,35	2,53	46,8	20,74	8,1

В почвах опытного участка плотность твёрдой фазы в основном зависит от содержания органического вещества, т.е. гумуса и от минералогического состава. В пахотном горизонте (0,0...0,3 м) плотность почвы достаточно высокая и изменяется в пределах от 2,49 до 2,51 т/м³, содержание гумуса низкое в среднем составляет 3,7 %. С возрастанием глубины почвы, содержание гумуса уменьшается и в слое 0,3...0,5 м оно составляет примерно 1,78 %.

Скваженность почв в верхних плотных слоях опытного участка составляет 49,0...50,6 %. В нижележащих горизонтах общая скваженность снижается до 43,9 %.

Согласно классификации С.В. Астапова скорость впитывания воды на опытном участке, можно отнести к III группе. Данные показатели приведены в табл. 2.3 [4].

Изучая данные И.С. Кауричева можно отметить, что в террасовой темно-каштановой почве содержится значительное количество фосфора и

калия, умеренное общего азота [89].

Таблица 2.3 – Показатели водопроницаемости почвогрунтов

Скорость впитывания	Интервалы наблюдения, ч.					
	1	2	3	4	5	6
мм/мин	0,825	0,695	0,515	0,430	0,370	0,360

Анализируя опытный участок до глубины 1,0 м и ниже можно увидеть, что механический состав почвы изменяется от среднего до легкого состояния. В зависимости от глубины горизонта сумма фракций не менее 0,01 мм изменяется в пределах 15,6...45,9 (табл. 2.4).

Таблица 2.4 – Гранулометрический состав почв опытного участка

Гори ри- зонт	Глубина взятия об- разца, м	Процент содержания фракций различного размера, мм						Сумма фрак- ций не менее 0,01 мм
		1,0- 0,25	0,25- 0,05	0,05- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	менее 0,001	
A	0,0...0,28	12,9	14,8	26,4	2,1	17,8	26,0	45,9
B ₁	0,28...0,51	13,9	14,1	27,9	6,5	9,6	28,0	44,1
B ₂	0,51...0,70	12,5	13,8	26,8	8,1	12,1	26,7	46,9
BC	0,70...0,99	15,1	15,6	25,0	6,1	15,0	23,2	44,3
C	0,99...1,2	57,6	22,6	4,2	3,3	1,0	11,3	15,6

В поглощающем комплексе главную роль играет кальций. Это способствует образованию прочной структуры и является положительным фактором. На 100 г почвы сумма поглощенных оснований составляет 18...24 мг/экв. Натрия в почве содержится меньше, чем 1 %. Сумма поглощенных оснований на 100 г сухой почвы в темно-каштановых почвах изменяется в пределах 20...25 мг/экв. Обменный натрий достигает величины 5,0...9,0 %, а зачастую и превышает её. На 100 г почвы опытного участка исходное содержание подвижных фосфатов и обменного калия соответственно равнялось в 2010 г. – 4,19 мг, 20,62 мг; 2011 г. – 6,77 мг, 19,53 мг; 2012 г. – 2,97 мг, 21,59 мг (табл. 2.5).

Таблица 2.5 – Химические свойства почв опытного участка

Глубина, м	Гумус, %	Обменные основания, мг/экв. на 100 г почвы			Сумма обменных оснований, мг/экв. на 100 г почвы
		Ca	Mg	Na+K	
0,0...0,10	3,83	15,44	6,05	1,26	22,75
0,10...0,20	3,59	14,51	6,38	1,76	22,65
0,20...0,30	3,22	15,62	8,21	2,47	26,30
0,30...0,50	1,78	13,95	7,93	2,39	24,27

Подводя итоги можно отметить, что орошаемый участок с темно-каштановыми почвами вполне пригоден для орошения. Почвы среднесуглинистого состава средней мощности не содержат заметного количества водорастворимых солей и опреснены до глубины 3,2...3,5 м. Исходя из результатов почвенного анализа, опытный участок пригоден для строительства систем капельного орошения и для возделывания яблоневого сада.

Таким образом, Волгоградская область имеет длительный вегетационный период получая много тепла, на севере (145-160 дней) и на юге (165-175 дней). В связи с этим за вегетационный период среднесуточная положительная температура воздуха выше +10°C на севере и на юге соответственно составляет 2840°C и 3265°C. Тем более этих запасов тепла вполне достаточно для вызревания сельскохозяйственных культур [3, 87].

На данном участке за теплый период времени выпадает всего 120 мм осадков, а когда приходит вегетационный период количество осадков составляет 70...90 мм. При испаряемости 1100 мм, среднегодовое количество осадков в Волгоградской области колеблется в пределах 250...330 мм. Явно область не получает осадков в достаточном количестве, и зачастую эти осадки носят ливневый характер. Большая часть осадков стекает с полей, не успевает поглощаться поверхностью почвы. Поэтому оказывает незначительное влияние на повышение почвенных запасов.

Анализируя среднемноголетние климатические данные Волгоградской области можно отметить, что наибольшее количество осадков выпадает ле-

том (30,9 %) и осенью (27,0 %). Наименьшая их часть приходится на весну (18,3 %) и зиму (23,8 %).

Для регулирования степени влагообеспеченности (недостаточности или избытка влаги) территории в качестве показателя применяется гидротермический коэффициент (ГТК), который определяется по методике Г.Т. Селянинова. Данный коэффициент представляет собой отношение суммы осадков за вегетационный период растений со среднесуточной температурой выше 10°C, увеличенной в 10 раз, за тот же период, к сумме положительных температур [172].

Когда ГТК изменяется в пределах от 0,3 до 0,6, влагообеспеченность территории характеризуется засушливым климатом, а когда ГТК находится на уровне 0,10...0,15 – низким уровнем естественного увлажнения [3, 173].

Климатические условия. Волгоградской области являются резко континентальными. Он отличается, продолжительным, жарким и сухим летом, и холодной, малоснежной зимой.

Открытость и равнинность территориальных зон Волгоградской области создает предпосылки для проникновения в летнее время теплого сухого, запыленного воздуха из Средней Азии, а в зимнее время часто поступают холодные воздушные массы с севера и с востока, Казахстана и Сибири. Это даёт предпосылки повышения испарения, и резкого снижения в почве запасов продуктивной влаги.

По данным Ольховской метеорологической станции безморозный период длится более 155 дней. В это время сумма активных температур достигает 2700°C, а продолжительность солнечного сияния в год составляет 1800 часов. Показатель естественного увлажнения по методике Д.И. Шашко составляет 0,15. Это значение соответствует полусухой зоне незначительного увлажнения территории [173].

Анализируя климатические условия региона можно отметить, что среднегодовая температура изменяется в пределах от 5,2...5,5°C до 8,0...8,3°C. Июль является самым жарким месяцем, при этом среднемесячная

температура воздуха находится на уровне $+21,0...+25,0^{\circ}\text{C}$. В годы исследований среднемесячная температура воздуха в 2010 и 2012 годах превысила на $1,8^{\circ}\text{C}$ норму, а среднемесячная температура июля в 2011 году соответствовала среднегодовой норме.

В летний период времени в отдельные дни температура воздуха достигает свыше 40°C тепла. Максимальная температура в 2011 и 2012 году составила $34,7$ и 38°C соответственно. Эти показатели на $7,7$ и 3°C выше, чем средние многолетние показатели. В годы исследований 2010 г. был наиболее жарким годом. Максимальная температура при этом в июне, июле и в августе соответственно составила $38,6^{\circ}\text{C}$, 38°C и $38,9^{\circ}\text{C}$ (прилож. 1) (рис. 2.1). Особенно при недостаточном увлажнении воздуха и почвы такие высокие температуры в отдельные годы могут вызывать повреждение листьев и плодов деревьев.

Район исследований, где находится орошаемый участок, является очень морозоопасным. Январь является самым холодным месяцем. Так для северо-восточных направлений наиболее характерны низкие температуры. В годы исследований зимний порог температур установился в 2010, 2011 и 2012 году 20 ноября, 24 декабря и 21 декабря соответственно.

В основном в данном регионе среднегодовые заморозки (первые) обычно происходят в октябре. Во все годы исследований (2010...2012 гг.) заморозки наблюдались значительно раньше, т.е. в третьей декаде сентября.

В зоне исследований устойчивый снежный покров обычно устанавливается в первой декаде января и удерживается до второй декады марта. Например, стабильный устойчивый снежный покров в 2012 году наблюдался в третьей декаде декабря и продержался до второй декады апреля. В этом же году его максимальная величина была зафиксирована $0,50$ м в первой декаде марта. В 2011 году третья декада декабря была полностью бесснежной, а максимальная величина снежного покрова не поднялась выше, чем $0,24$ м.

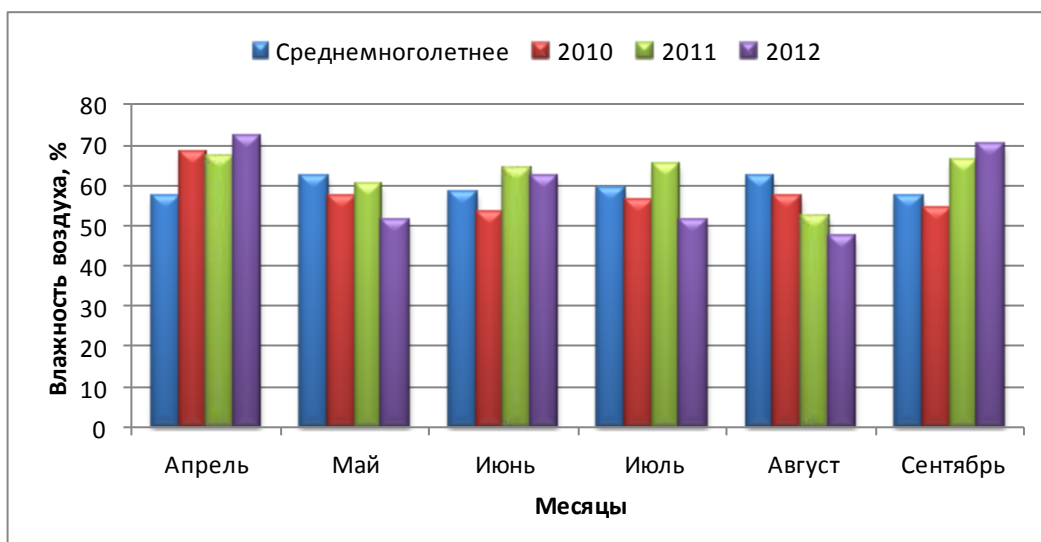
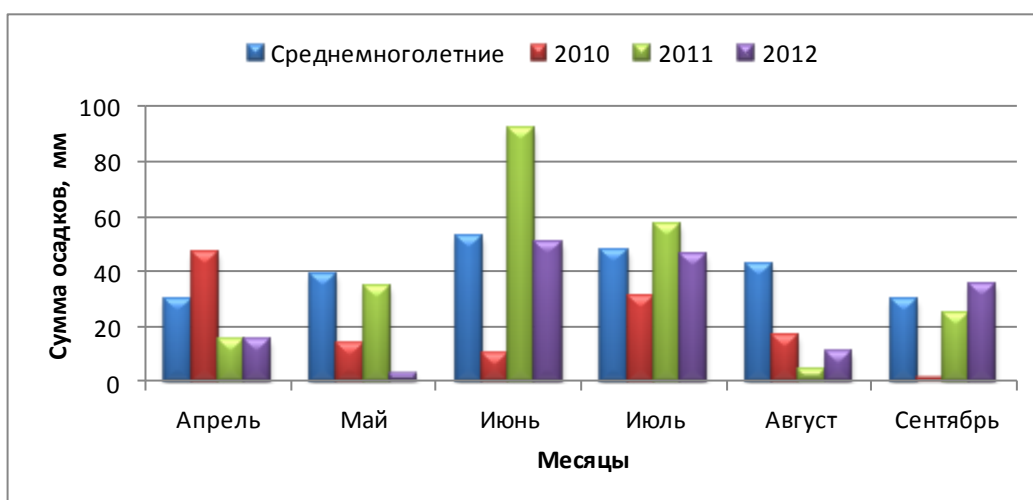
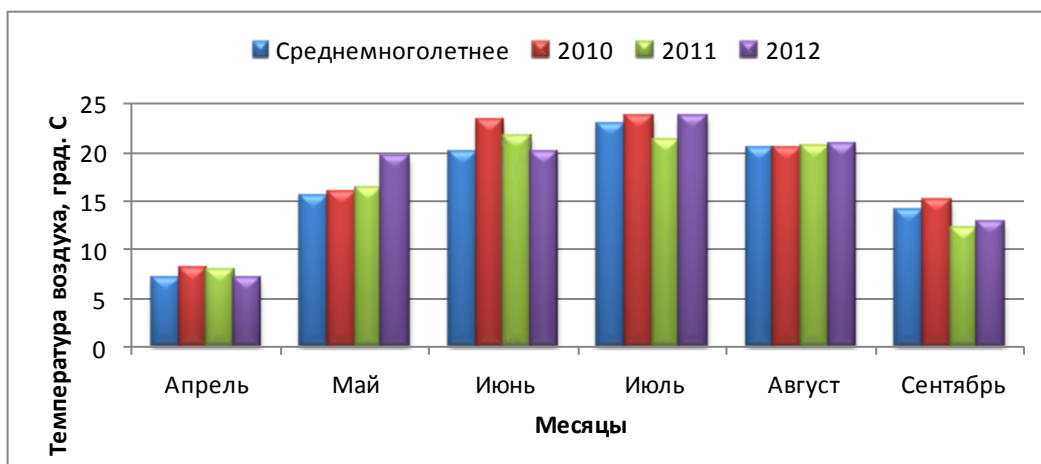


Рисунок 2.1 – Метеорологические условия на опытном участке за вегетационный период в среднем за 2010 – 2012 гг.

Зима 2010 года была самой малоснежной. Устойчивый снежный покров в этом году установился только в январе и продержался два месяца, его максимальная величина не превысила 0,21 м.

По почвенно-климатическим показателям Волгоградская область в основном относится к зоне недостаточного увлажнения. Среднегодовое количество осадков на северо-западной части региона колеблется от 400 до 500 мм. В 2012 г. за весь вегетационный период сумма осадков составила 161,1 мм, это меньше на 102 мм, чем при среднегодовой норме.

Сравнивая годы исследований за весь период вегетации яблоневого сада максимальное количество осадков выпало в 2011 году. За этот год сумма осадков равнялась 228,4 мм, т.е. их суммарное количество на 22,3 мм за год превысило норму (прилож. 2).

Несмотря на обильность дождя за апрель - сентябрь, испаряемость с поверхности почвы составляет 843...997 мм. Это в несколько раз за год превышает сумму выпавших атмосферных осадков.

В целом, для яблоневого сада могут быть наиболее полезными осадки, выпадающие в осенне-зимне-весеннее время. В результате в почве создаются запасы влаги необходимые для растений на весь период вегетации.

Относительная влажность в условиях орошения, особенно в зонах с большим дефицитом влаги играет большое значение. В зимнее время со снижением температуры она достигает наиболее максимального значения (82...86 %). В течение двух месяцев (марта и апреля) весны, в связи с повышением температуры относительная влажность понижается более быстрым темпом, в мае месяце устанавливается летний режим. Самая низкая относительная влажность воздуха приходится на начало лета. Следовательно, растения находятся в угнетенном состоянии. В отдельные дни в дневные часы относительная влажность из-за дефицита влаги понижается до 6...10 % в почве. Среднегодовая величина относительной влажности на территории области составляет в среднем 66...75 %.

В последнее время в различных зонах Волгоградской области

участились весенние и раннелетние засухи. В разные годы и месяцы продолжительность засухи иногда составляет 10-30 суток. При годовой норме осадков 30...40 мм в годы исследования за май, июнь выпадало осадков всего от 1...7 до 15...20 мм (прилож. 3).

В годы проведения исследований, пользуясь шкалой гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова (ГТК) вегетационный период яблоневого сада по годам можно охарактеризовать следующим образом [3]:

2010 г. (ГТК=0,37) – сухой год;

2011 г. (ГТК=0,75) - засушливый год;

2012 г. (ГТК=0,5) - сухой год (прилож. 4).

Анализируя особенности почвенно-климатических условий Волгоградской области для скопления и сохранения влаги в почве необходимо проводить комплекс регулярных агротехнических мероприятий. Этот процесс невозможен без пополнения запасов продуктивной влаги в почве путем применения оросительных мелиораций.

2.3 Методика проведения полевых исследований и схема опыта

Полевые опыты по изучению влияния систем капельного орошения в сравнение с бороздковым поливом на рост, развитие и плодоношение яблоневого сада проводились по рекомендации В.Г. Веденяпина [45], Б.А. Доспехова [66] и др.

Согласно схеме полевого опыта были приняты 4 варианта:

1 - полив по бороздам (контроль), при поддержании влажности почвы на уровне 80 % НВ;

2 - капельное орошение, при поддержании влажности почвы не ниже 70 % НВ;

3 - капельное орошение, при поддержании влажности почвы не ниже 80 % НВ;

4 - капельное орошение, при поддержании влажности почвы не ниже 90 % НВ.

Учетные деланки имели прямоугольный вид. Схема размещения вариантов производилась методом систематических блоков. Повторность опыта 3-х кратная. Все капельные линии выполнялись длиной 130 м. Состояние почвы в саду - черный пар.

Схема размещения вариантов полевого опыта на орошаемом участке с применением капельного полива представлена на рис. 2.2.

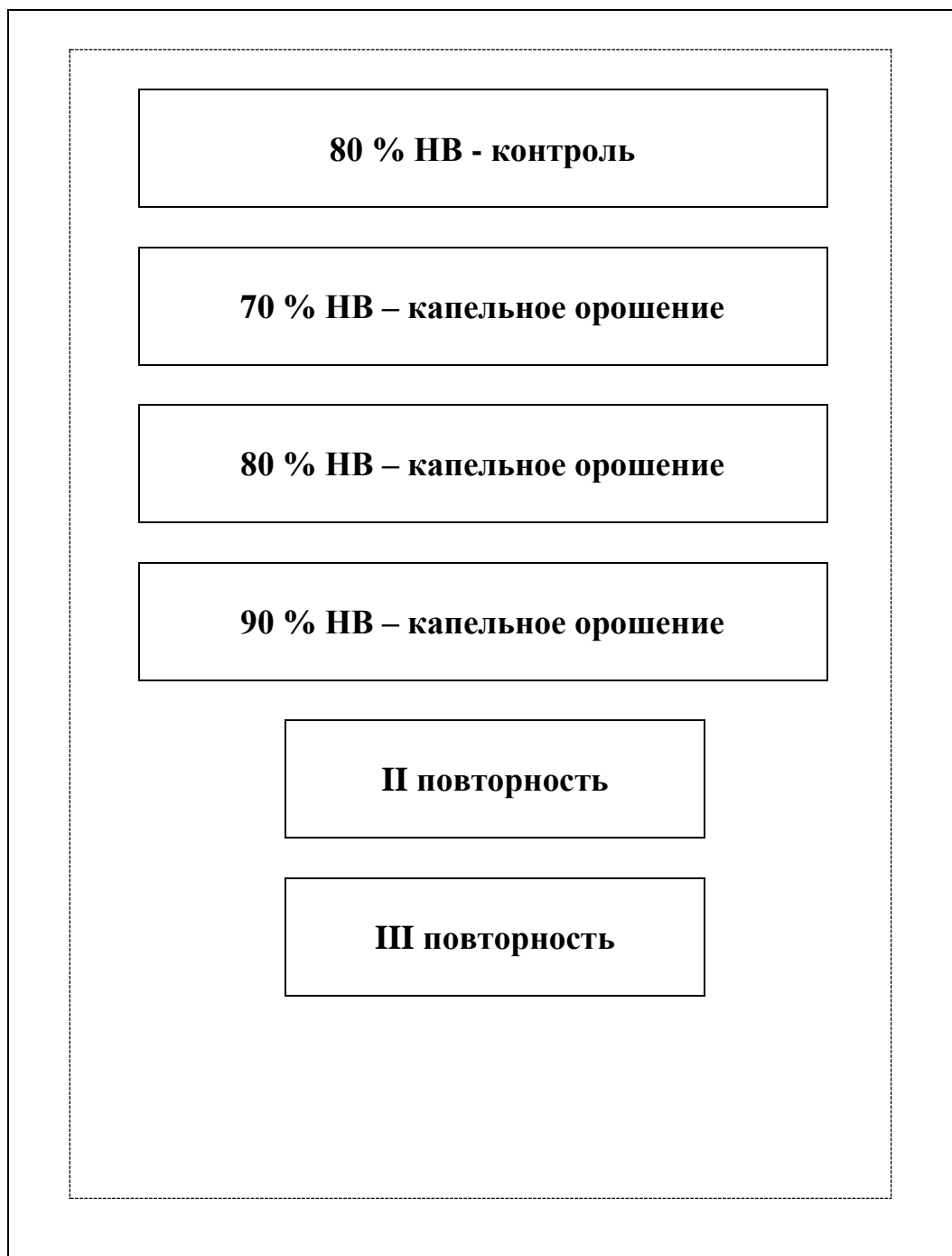


Рисунок 2.2 – Схема размещения вариантов полевого опыта



Рисунок 2.3 – Общий вид яблоневого сада с применением капельного полива

На опытном участке при возделывании яблоневого сада использовали агротехнику для данной зоны. Полевые опыты проводились по четырем сортам яблони: Голден Делишес, Корей, Айдоред и Глостер. Схема посадки деревьев 6×4 м, т.е. сад можно отнести к полунтенсивному типу. Возраст сада 5 лет (рис. 2.3).

При определении расчетного слоя почвы учитывались зона расположения основной массы всасывающих корней. Для яблоневого сада А.М. Алпатьев, В.А. Колесников, М.Н. Багров, Т.И. Горин, В.С. Клюхин, А.Д. Ахмедов, О.Б. Рыбалко и другие рекомендуют глубину в зависимости от способа полива принимать в пределах не ниже 0,6 - 1,3 м [6, 8, 14, 35, 54, 77, 79, 80].

Учитывая, что основная масса корневой системы яблоневых насаждений находится до 1,0 м, в наших исследованиях эту глубину принимаем равной не ниже 1,0 м.

В полевых исследованиях в целях глубокого и всестороннего изучения поставленных вопросов проводились следующие учеты и наблюдения.

Необходимые водно-физические и механические свойства почв определялись по общепринятой методике: плотность твердых фаз и плотность почвы соответственно пикнометрическим способом и методом режущих колец по Качинскому; наименьшая влагоемкость и влажность почвы соответственно методом заливки площадок и весовым методом; полная влагоемкость и порозность – расчетным методом.

Для определения степени засоления и типа почвогрунта проводился анализ водной вытяжки, сухой остаток, катионы Na^I , Ca^{II} , Mg^{II} и анионы HCO_3^- , Cl^- , SO_4^- .

Химическими анализами определялось: содержание гумуса – по методу И.В. Тюрина; гидролизуемый азот – по методу Корнфильда; содержание подвижного фосфора и обменного калия (из 1% углеаммонийной вытяжки) – по методу Б.П. Мачигина; механический состав – по Н.А. Качинскому; [39, 66, 99, 100, 103, 143, 144].

В ходе исследований до и после полива, через 12 часов, 1, 3, 5 суток после полива в интервалах через 0,1 м на глубину до 1 м в трехкратной повторности на специальных площадках для определения влажности почвы образцы отбирались буром. В зависимости от года и вариантов опыта необходимая влажность почвы достигалась путем изменения числа поливов. Для соблюдения данного правила поливы проводились в разные сроки.

Для уточнения размера и формы делянок и их размещения учетное количество деревьев на опытном участке, были использованы методические указания по агротехническим опытам с плодовыми и ягодными культурами ВНИИС им. Мичурина.

В основном при выборе учетных деревьев учитывалось общее состояние каждого растения, принималось во внимание однородность их возрастного состава, условия защищенности, выравненность их по силе развития (окружность штамба и размер кроны), обеспеченность опылителями. Каждое учетное дерево по вариантам опыта было маркировано табличками и этикетками на выделенных отдельных участках.

Каждый вариант опыта включает по 4 ряда деревьев, в ряду 20 деревьев. Их количество на каждом варианте - 80. Кроме того, при размещении вариантов были предусмотрены защитные ряды. В опытах с плодовыми культурами по рекомендациям Г.В. Веденяпина, Б.А. Доспехова и других [45, 50, 66], внутренняя защита по вариантам опыта состоит из 1 ряда, а по краям из 2-х рядов деревьев.

Для определения эффективности различных режимов капельного орошения по сравнению с бороздковым поливом на орошаемом участке проводилась следующие биологические учеты и измерения:

1. Для изучения корневой системы деревьев был использован метод рекомендованный НИИС им. Мичурина «блоков почвы» или «почвенных проб», который является модификацией метода "вольного монолита", предложенного В.А. Колесниковым [79, 80]. В зоне расположения основной массы корней почвенные пробы брались на глубине до 0,4 - 0,5 м и размером 0,2x0,2x0,1 м. После отмывки корней, от них отделялись тонкие корни, несущие на себе белые корешки; измерялась длина и количество белых корешков первичного строения, а также длина проводящего корня.

2. По методике Я.С. Нестерова был проведен учет удельной урожайности деревьев яблони [126]. Учет плодов производился по каждому дереву с определением среднего урожая плодов с 1 дерева, удельной урожайности с 1 м³ кроны деревьев и урожая на 1 га. При вычислении снятого урожая в каждом варианте вес падалицы учитывался и суммировался с массой.

3. Дисперсионный анализ и статистическая обработка результатов полевых исследований проводилась по методу Б.А. Доспехова [66];

4. Экономическая эффективность технологии возделывания яблоневого сада в условиях Волгоградской области при капельном орошении выполнена по методике Россельхозакадемии и МСХ РФ [71, 109,135].

3 ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГИ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ

3.1 Краткая характеристика систем капельного орошения

Выбор опытного участка ООО «Липовские сады» Ольховского района Волгоградской области, где в течение трех лет (2010 - 2012 гг.) проводились исследования, обусловлен наличием в данных условиях системы капельного орошения. При поливе на данной системе для очистки воды применяли сетчатый фильтр с сеткой размером ячеек 0,25 мм.

В общем виде конструкция системы капельного орошения представляет собой сложный элемент, и состоит из следующих основных элементов:

- 1) источник орошения;
- 2) насосная станция;
- 3) фильтрационная станция;
- 4) узел внесения удобрений и химреагентов с поливной водой;
- 5) сеть магистральных, распределительных, участковых трубопроводов;
- 6) поливные трубопроводы;
- 7) соединительные детали;
- 8) запорно-регулирующая и предупредительная арматуры;
- 9) средства учета воды;
- 10) узел автоматического управления системой.

При этом в качестве источника орошения можно применять воду из каналов, рек, озёр, прудов, буровых скважин, напорных водопроводных сетей. На основании источника орошения можно судить о качестве воды. Поэтому применяемые различные фильтры предназначены для удаления из воды механических и биологических зависших примесей разной дисперсности и доведение ее качества к параметрам, которые определены капельницами. В зависимости от качества воды в водоисточнике, фильтры могут состоять из гравийно-песчаных, сетчатых, дисковых фильтров и гидроциклонов.

Учитывая вышесказанное можно анализировать каждый элемент системы капельного орошения отдельно (рис.3.1,3.2, 3.3) (прилож. 5):

- насосная станция, предназначенная для забора расчетного количества воды из источника орошения и подачи ее под необходимым давлением в оросительную сеть;

- узел внесения удобрений и химреагентов предназначен для дозированного введения в поливную воду водорастворимых или редких комплексных удобрений, средств защиты растений и веществ для профилактического промывания поливной сети. Он может состоять из инжектора, удобрительной головки или дозатора, а также емкости для приготовления удобрительного раствора удобрений;

- к запорно-регулирующей и предупредительной арматурам относятся задвижки, гидро- или электроклапаны, обратные клапаны, регуляторы давления, вантузы, заглушки;

- узел автоматического управления системой с помощью контролера руководит процессами водораспределения на системе, работой насосно-силового оборудования, процессом промывания фильтров и внесении удобрений.

Для устройства магистральных, распределительных и участковых трубопроводов используют полиэтиленовые и поливинилхлоридные трубы разного диаметра с разным рабочим давлением.

Пройдя очистку, вода, системой магистральных, распределенных и участковых трубопроводов подавалась на поливной участок. На поливном участке вода распределялась поливными трубопроводами и через капельные линии подавалась в корневую систему растений.

Надежность работы системы капельного орошения определяется надежностью ее основных элементов, к которым относятся капельницы и узел подготовки воды, т.е. очищение воды.

В ходе исследований для определения пропускной способности капельниц и средней наработки на отказ во времени принимали 100 капельниц. При очистке воды использовали песчано-гравийный и сетчатый фильтры.

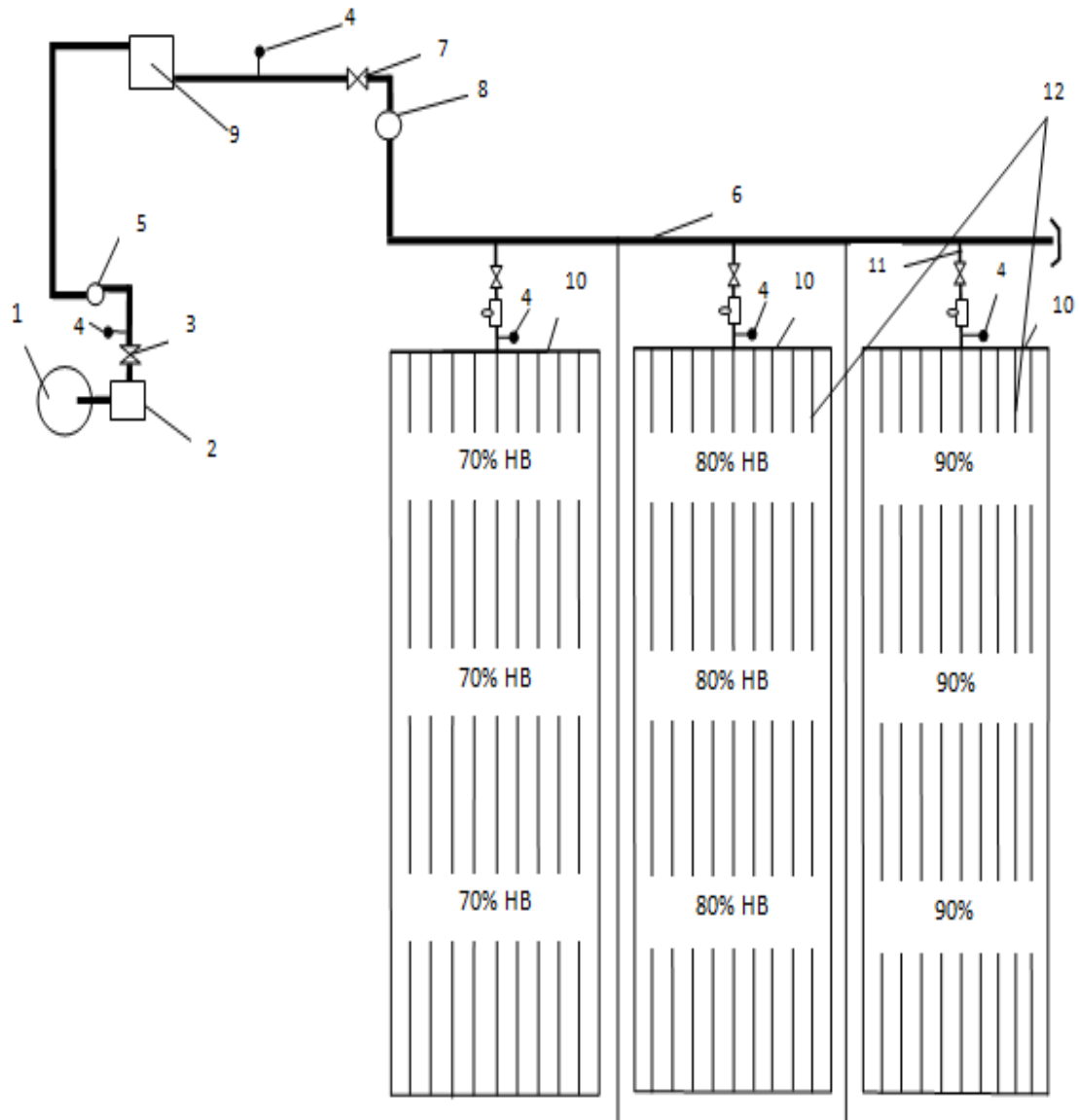


Рисунок 3.1 – Схема размещения варианта системы капельного орошения на опытно-полевом участке: 1 – водоисточник; 2 – насосная станция; 3 – запорная арматура; 4 – манометр; 5 – гидроциклон; 6 – распределительный трубопровод; 7 – вентиль; 8 – сетчатый фильтр; 9 – песчано-гравийный фильтр; 10 – оросительный трубопровод; 11 – переходник; 12 – капельные линии с водовыпусками.

В ходе исследований нами наработки поливных трубопроводов на отказ выполняли по параметрам $q \leq 0,3q_c$, $q \geq 2q_c$. Следовательно, при этом

ошибка определения средней наработки в этом случае зависит от количества элементов, поставленных на испытание и продолжительности испытаний.

Предварительные исследования и обследования систем капельного орошения при очистке воды песчано-гравийным фильтром показали, что через 350 - 550 часов работы на поливных трубопроводах появляется пять и более процентов капельниц с расходами $q \leq 0,3q_c$ и $q \geq 2q_c$. Это позволило наработку поливных трубопроводов на отказ в первом приближении принять равной 450 - 550 часов [17, 29, 69, 123, 125].

Давление в трубопроводе соответствовало номинальному значению, и изменялось для различных капельных линии в пределах 0,02 – 0,30 МПа.

Для выяснения влияния мутности воды на работоспособность капельниц определяли степень пригодности воды. Пригодность воды по степени действия на элементы системы капельного орошения оценивается по показателям, состав и значение которых приведены в табл. 3.1. Если качество воды не отвечает требованиям, используют ее для орошения только после проведения соответствующих мероприятий.

Таблица 3.1 - Показатели пригодности воды по степени влияния на элементы системы капельного орошения

Название показателя	Степень пригодности воды		
	пригодна	условно пригодна	непригодна
Общая минерализация, мг/л	<500	500-2000	>2000
pH	6-7	7-8	>8
Содержание марганца, мг/л	<0,1	0,1-1,5	>1,5
Содержание железа, мг/л	<0,2	0,2-1,5	>1,5
Содержание сероводорода, мг/л	<0,2	0,2-2,0	>2,0
Количество популяций бактерий	<10x10 ⁶	10x10 ⁶ -50x10 ⁶	>50x10 ⁶
Границы индекса стабильности воды, I с	-0,5<Iс <+0,5	-0,5 <Iс >+0,5	-0,5<Iс >+0,5

Результаты исследований показывают, что допустимое содержание зависших веществ минерального и органического происхождения в поливной воде и предельные размеры частиц зависят от размеров проходных отверстий капельницы и средств автоматизации.

При проведении исследований содержание допустимых значений зависших частиц в поливной воде и их размеры зависят от применяемых условий и технических средств. Данные значения можно показывать в табл. 3.2.

Таблица 3.2 - Допустимые значения зависших частиц в воде и их размеры

Размеры проходных отверстий, мм	Зависшие частицы		Гидробионты концентрация, мг/л
	концентрация, мг/л	размер частиц, мкм	
<1	30-50	<50	5
1-2	50-100	<70	10
>2	100-300	<100	15

Принимая во внимание выше изложенное в ходе исследований, нами проводилось измерение мутности воды в источнике до и после очистке соответствующим фильтром. Анализируя полученные данные можно отметить, что сетчатый фильтр по сравнению с песчано-гравийным фильтром при очистке воды более практичен, т.е. при применении сетчатых фильтров очистки воды происходит наилучшим образом. Значения мутности воды в источнике орошения и после соответствующей очистки приведены в табл. 3.3.

Анализируя полученные данные можно отметить, что системы капельного орошения при очистке воды сетчатым фильтром показали лучшие результаты по сравнению с песчано-гравийным фильтром. Сетчатый фильтр без промывки воды работал 1670 ч, а песчано-гравийный всего 1520 ч.

В целом, ежегодно перед пуском опытного участка в эксплуатацию проводили его наладку путем устранения имеющихся неполадок (течей, порывов, подвеска оборванных поливных трубопроводов к шпалерной прово-

локе, замена неработоспособных шаровых кранов и соединительных муфт и др.).

Таблица 3.3 – Изменение во времени мутности воды в источнике орошения и после соответствующей очистки

Водо-источник $\rho_{и}$, мг/л	Фильтр песчано-гравийный			Фильтр сетчатый		
	ρ_1 , мг/л	без про- мывки t, ч	с промыв- кой t, ч	ρ_2 , мг/л	без про- мывки t, ч	с про- про- мыв- кой t, ч
16,20	9,30	40	-	-	-	-
155,70	34,20	190	-	-	-	-
259,10	18,90	340	-	-	-	-
306,50	30,35	490	-	-	-	-
263,00	39,95	610	-	5,10	40	-
347,30	54,30	860	-	48,20	190	-
448,80	30,80	880	10	3,50	220	10
808,70	12,80	930	60	2,10	280	60
770,10	44,50	1000	130	2,40	340	130
119,20	23,00	1030	160	8,30	370	160
138,10	107,80	1050	180	14,80	390	180
122,00	80,70	1070	200	11,10	400	200
92,20	29,20	1110	240	10,60	450	240
125,10	72,80	1190	330	53,20	540	330
46,40	2,20	1230	360	5,80	570	360
7,80	3,50	1260	390	4,90	600	390
71,30	71,50	1290	430	7,80	640	430
9,80	7,90	1350	480	2,00	690	480
4,10	3,30	-	540	4,40	750	540
2,40	1,90	-	560	0,80	770	560
3,40	3,20	-	610	0,70	820	610
4,40	2,90	-	730	3,20	940	730
3,40	2,20	-	790	1,10	1000	790
6,46	4,50	1380	820	3,50	1020	820
3,70	3,10	1520	900	3,00	1140	900
15,00	15,30	-	1340	4,20	1580	1340
10,12	9,80	-	1370	9,70	1610	1370
6,70	6,40	-	1430	6,20	1670	1430

7,20	7,00	-	1490	7,40	-	1490
3,90	0,20	-	1520	0,50	-	1520



Рисунок 3.2 – Фильтры для очистки воды



Рисунок 3.3 – Дисковая задвижка на узле подготовки удобрений

3.2 Особенность оценки равномерности водораспределения в низконапорных системах капельного орошения

Для повышения урожайности сельскохозяйственных культур главным фактором является применение орошения. Следовательно с увеличением орошаемых площадей растет потребление пресной воды, капитальные вложения, затраты труда и энергоемкость.

Поэтому для повышения эффективности применения оросительных мелиораций необходимо создавать более производительные системы, обеспечивающие стабильное получение урожайности различных сельскохозяйственных культур при минимальных затратах труда и поливной воды. Этим требованиям в значительной степени отвечает капельное орошение, которое имеет ряд основных преимуществ по сравнению с другими способами полива [24, 33, 62, 88, 134, 178].

В основном о качестве увлажнения почвы можно судить по равномерности распределения воды по всей длине капельных линий. В целом, при проектировании систем капельного орошения несоблюдение данного условия вызывает неравномерность распределения влаги по длине капельных линий. В результате этого происходит и нестабильность урожаев сельскохозяйственных культур. В связи с этим оценка равномерности водораспределения в низконапорных системах капельного орошения является одной из основных целей наших исследований [28, 30, 55, 178].

Результаты различных исследований показывают, что при поливе садов существуют свои особенности. Нам известно, что в условиях орошаемого земледелия водопотребление яблоневого сада практически и целиком определяется поливным режимом орошаемых насаждений. При этом необходимо учитывать густоту стояния, возраст и биологические особенности плодовых деревьев. Следовательно, при определении оросительной нормы яблоневого сада необходимо учитывать такие факторы как глубина увлажняемого слоя почвы, влажность, плотность, количество осадков, наименьшая влагоемкость почвы и т.п. [6, 18, 45, 52, 90, 91].

Таким образом, для сплошного сева величину поливной нормы до и после полива можно рассчитать по формуле А.Н. Костякова [82]:

$$m = \gamma \cdot H \cdot 100 \cdot (\beta_{НВ} - \beta_{ПВ}), \quad (3.1)$$

где m – поливная норма, м³/га; γ – плотность почвы, т/м³; H – мощность расчетного слоя почвы, м; $\beta_{НВ}$ – влажность расчетного слоя почвы, % от массы сухой почвы и соответствующая НВ; $\beta_{ПВ}$ – влажность почвы на участке перед поливом, % от массы сухой почвы.

Следует отметить, что данная, формула справедлива в том случае, когда необходимо добиваться полностью увлажнения орошаемого участка. При локальном способе полива часть орошаемой площади остается неувлажненной, поэтому данная формула не учитывает особенности локального капельного полива.

При определении поливных норм при локальном поливе необходимо учитывать оптимальные размеры контура увлажнения, т.е. соответствующего размещению основной массы корней системы растений в почвенном горизонте. На основе вышеизложенного можно отметить, что для изучаемой конструкции площадь контура увлажнения при поливе яблоневого сада в основном зависит от количества капельниц непосредственно устанавливаемых для полива одного растения. Тогда, для одиночного растения (контура) расчетная поливная норма будет принимать следующий вид [28, 48, 53]:

$$m = 10 \cdot F \cdot h \cdot \gamma \cdot (\beta_{НВ} - \beta_{ПВ}), \quad (3.2)$$

где F – площадь питания растения, м²; h – глубина расчетного слоя почвы, м.

При капельном орошении параметры локальной формы контура увлажнения зависят от водно-физических свойств почвы, и в плане представляют собой окружность. Для разных почв площадь контура увлажнения существенно различают, поэтому количество устанавливаемых капельниц на одно растение зависит от вида почвы и основного размера корневой системы возделываемой культуры.

В целом можно отметить, что площадь контура увлажнения при установке около ствола дерева двух, трех и более капельниц имеет ту же форму, что и при поливе одной капельницей. Учитывая это, для полива одного рас-

тения, расчет объема контура увлажнения почвы можно проводить с применением одной капельницы [47, 77, 178].

Учитывая распространение влаги вокруг одной капельницы и локального характера увлажнения почвы яблоневого сада при капельном орошении можно определить объем контура увлажнения по формуле шарового сектора. Тогда запишем:

$$V_{ш.с.} = (2/3) \cdot \pi \cdot R^2 \cdot H, \quad (3.3)$$

где R - радиус шарового сектора; H - высота шарового пояса (расчетная высота увлажняемого контура).

Преобразуем в формулу (3.2), с учетом $F \cdot h = V_{ш.с.}$, получим следующее для расчёта формулу поливной нормы:

$$m = 10 \cdot V_{ш.с.} \cdot \gamma \cdot (\beta_{НВ} - \beta_{ПВ}). \quad (3.4)$$

При расчётах, согласно предложений Храброва М.Ю., $R = R_{ш.с.}$ равный $0,707D$, при этом центр шарового сектора - $0,5D$ контура увлажнения поверхности почвы [28].

Исследования, проведенные в условиях ООО «Липовские сады» Ольховского района Волгоградской области позволили нам установить ряд закономерностей передвижения влаги в почве под действиями гравитационного и капиллярного потенциалов, а также менисковых, сорбционных и осмотических сил, значения которых зависят от содержания влаги в почве. Поэтому, характер распределения воды и ее подвижность в почвенном профиле являются функцией влагопроводности, которая в основном зависит от пористости почвы и от степени её заполнения пор водой.

При оценке равномерности распределения влаги можно применять различные виды моделей. Анализируя многообразие различных моделей, во-первых, можно отметить, что полуэмпирические модели основаны на теоретических предпосылках и, во-вторых, эти модели представляют собой простые эмпирические зависимости. Среди различных полуэмпирических моделей наиболее широко применяется формула академика С.Ф. Аверьянова. Данная формула дает возможность раскрывать коэффициент влагопроводно-

сти в зависимости от степени насыщения почвы влагой и имеет следующий вид [1, 2]:

$$K(W) = K_{\phi} \left(\frac{W - W^*}{P_{\text{общ}} - W^*} \right)^n, \quad (3.5)$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации; W – объёмная влажность в долях единицы; W^* – связанная влага, т.е. влажность, при которой начинается интенсивное движение воды в жидкой фазе, по А.Ф. Лебедеву, это будет максимальная молекулярная влагоемкость (ММВ); $P_{\text{общ}}$ – пористость почвы; n – показатель степени, равный 3,5.

Для решения данной формулы область применения показателя степени нами увеличена до $n = 5$. Учитывая это, данную модель можно расширить в пределах от максимальной гигроскопичности до полного водонасыщения. Тогда уравнение будет иметь следующий вид [28, 48]:

$$K(W) = K_{\phi} \left(\frac{W - W_m}{P_{\text{общ}} - W_m} \right)^5, \quad (3.6)$$

Сравнивая выражения (3.5), (3.6) между собой можно отметить, что независимо от различных интервалов применимости вычисленные коэффициенты влагопроводности по этим зависимостям, при одной и той же влажности будут иметь примерно одинаковые числовые значения. Тогда, приравняв формулы (3.5) и (3.6), получаем:

$$\frac{W - W^*}{P_{\text{общ}} - W^*} = \left(\frac{W - W_m}{P_{\text{общ}} - W_m} \right)^{10/7}. \quad (3.7)$$

В результате решая уравнение (3.7) относительно W^* при влажности почвы $W = W_n$, определяем выражение для максимальной молекулярной влагоемкости. Тогда максимальная молекулярная влагоёмкость принимает вид:

$$W^* = \frac{P_{\text{общ}}(W_n - W_m)^{10/7} - W_n(P_{\text{общ}} - W_m)^{10/7}}{(W_n - W_m)^{10/7} - (P_{\text{общ}} - W_m)^{10/7}}. \quad (3.8)$$

Анализируя различные формы влаги в почве, по результатам проведенных исследований было установлено, что когда наименьшее значение влажности почвы составляет в среднем 60...70 % НВ подвешенная влага приобретает способность передвигаться сплошной массой.

В итоге, расчетные значения максимальной молекулярной влагоемкости (ММВ) по полученной формуле (3.8) соответствуют заданному интервалу (табл. 3.4), и изменяются в пределах от 68,6 до 72,2% НВ. Это даёт возможность использовать данную зависимость для вычисления приближенного значения ММВ в промежуточных определениях (прилож. 6).

Таблица 3.4 - Основные расчетные значения максимальной молекулярной влагоемкости почвы

Мощность горизонта, м	Пористость, % объема почвы	Влагоемкость, %		Максимальная гигроскопичность, %	Максимальная молекулярная влагоемкость, %	
		полная	наименьшая		объема почвы	НВ
В ₁ - 0,25-0,72	43,2	22,1	19,1	4,59	14,1	70,1
В ₂ - 0,72-1,20	46,8	25,3	18,2	2,71	13,2	71,9
С - 1,20-1,60	47,6	26,0	18,4	1,83	13,0	68,6

Для количественной оценки распределения влаги по слоям почвы при локальных способах полива можно применять метод составления эпюр влажности почвы. На эпюре влажности (рис. 3.4) можно показывать две линии:

- 1) АВ, характеризующая среднюю предполивную влажность почвы ($\beta_{пв}$);
- 2) ДС - 100% НВ ($\beta_{нв}$) до их пересечения с горизонтальной линией ЕС - границей активного слоя почвы [28].

Из рисунка 3.4 видно, что при равномерном распределении влаги по всему расчетному объему почвы эпюра влажности почвы должна иметь форму прямоугольника и располагаться в плоскости ABCD. Тогда при этом поливная норма m будет эквивалентна площади ABCD, а объем воды, эквивалентен какой - либо части эпюры. Следовательно, учитывая данные предпосылки можно соответственно записывать:

$$W_m = W_{ABCD} = h (\beta_{HB} - \beta_{ПВ}) \quad (3.9)$$

$$W = P_{aэр} \cdot W_{Ч.Э} / W_m, \quad (3.10)$$

где $P_{aэр}$ - порозность почвы; $W_{Ч.Э}$ - площадь эпюры.

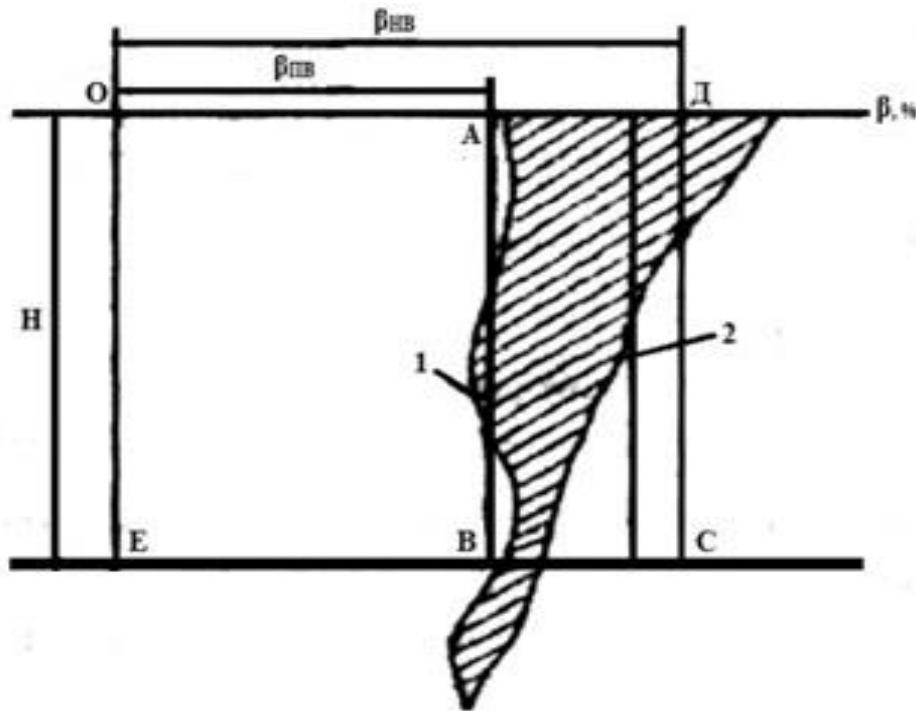


Рисунок 3.4 – Эпюра влажности почвы по объему питания растений

При капельном орошении в течение длительного времени в процессе полива почва может находиться во влажном состоянии. В результате этого формируется затопленный контур увлажнения, радиус его, можно определить по формуле:

$$R = r_{max} \leq (Q/\pi K)^{0,5}, \quad (3.11)$$

где Q – расход капельницы, см³/ч; K – насыщенная гидравлическая проводимость, см/ч.

Если капельницы расположены близко одна к другой; т.е. максимальная ширина полосы насыщенной влагой почвы будет равна:

$$D_{max} \leq q/K, \quad (3.12)$$

где q - удельный расход воды на единицу длины, см²/ч на 1 см длины поливного трубопровода.

Таким образом, при капельном поливе яблоневого сада вода подается непосредственно в зону наибольшего распространения поглощающих кор-

ней. Это обеспечивает значительную экономию поливной воды, экологическую безопасность орошения.

3.3 Динамика увлажнения почвы при капельном поливе садов

Одним из наиболее прогрессивных способов полива, который находит все большее распространение в нашей стране и за рубежом является капельное орошение. Применение его обеспечивает благоприятное для растений увлажнение почвы, т.е. позволяет создать оптимальный водно-воздушный режим, сохранить структуру почвы и улучшить ее аэрацию. В результате этого по сравнению с другими способами полива урожайность сельскохозяйственных культур возрастает на 50...80 % при меньших затратах поливной воды и труда на 35...50 % [5, 26, 35, 133,142].

При подаче поливной воды из капельницы, вокруг капельницы образуется контур увлажнения почвы. Следовательно, размеры и форма этих контуров зависят от водно-физических свойств почвы и количества поданной воды. При этом остается не ясным, каким образом и насколько изменяется контур увлажнения при различных поливных нормах. Кроме этого особый интерес представляет, как распределяется влага в почве и после полива. Эти вопросы связаны, прежде всего, с оптимизацией элементов систем капельного орошения [22, 31, 42, 63, 104, 110, 145,146, 152, 162].

В настоящее время нет единого мнения о том, каким образом при капельном орошении происходит распространения влаги в почвенном профиле, и какая часть площади, т.е. объема почвогрунта отведенная многолетним насаждениям должна быть увлажнена. Данный вопрос имеет научный интерес особенно для засушливой зоны Волгоградской области [14, 32, 47]. Следовательно, одной из задач наших исследований является распределение влаги в почве и изучение контура увлажнения в зоне развития корневой системы яблони при капельном орошении. В связи с этим нами была проведена серия опытов в ООО «Липовские сады» Ольховского района Волгоградской области. Исследования проводились при подаче разных поливных норм с уста-

новкой соответственно одной, двух и четырех капельниц около ствола дерева [27].

В полевых условиях изменение динамики влажности почвы изучались на отдельных водно-балансовых площадках. Эти специальные площадки располагались по диагонали каждой делянки на расстоянии 20 м от головы, в середине, а так же 20 м от конца участка. При подаче различных поливных норм для измерения формы и размера контура увлажнения нарезали шурфы. Влажность почвы при капельном поливе устанавливались бурением и отбором пробы почвы через каждые 0,2 м до глубины 2,0 м в 3-х кратной повторности перед каждым поливом и после каждого полива.

По результатам полученных данных установлено, что распространение влаги в почвогрунте и её контур увлажнения в основном зависит от объёма поливной нормы (рис. 3.5, табл. 3.5).

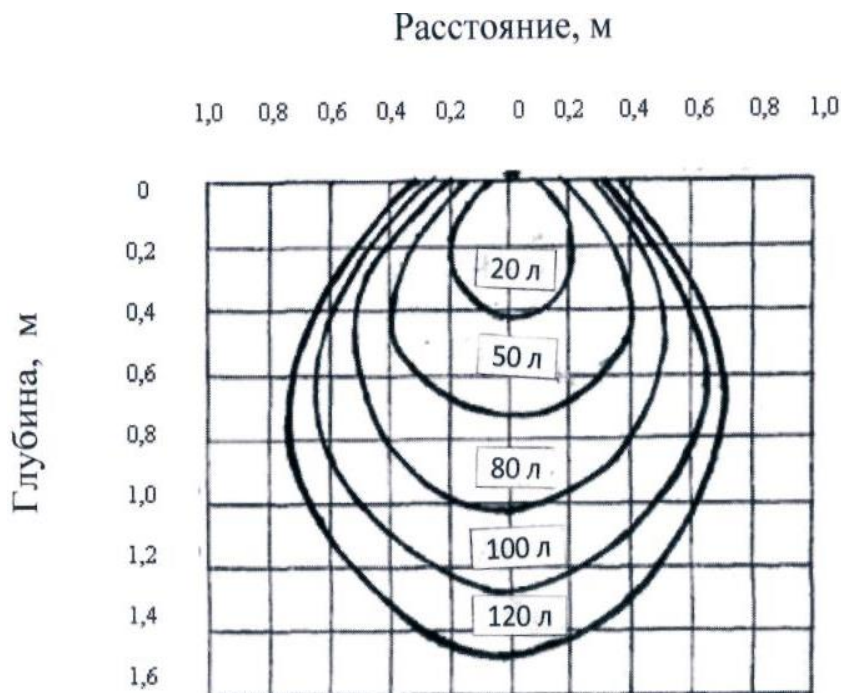


Рисунок 3.5 – Контур увлажнения почвы при подаче объема воды, равного 20, 50, 80, 100 и 120 л.

Анализ данных табл. 3.5 показывает, что при капельном орошении в зависимости от поливной нормы происходит некоторое увеличение процентного соотношения (от 11,1 до 29,2) увлажняемого объема почвогрунта. При

подаче воды в объемах 80, 100 и 120 л/дерево эти увеличения составляет 11,1, 20,8 и 29,2 л/дерево соответственно. Такие изменения связаны с просачиванием воды в нижние слои почвы в пределах от 1,04 до 1,43 м, что и приводит к значительной потере воды на фильтрацию.

Таблица 3.5 - Распределение влаги в почву при капельном поливе с установкой одной капельницы около ствола дерева

Показатели	Поливная норма т, л/дерево				
	20	50	80	100	120
1. Глубина проникновения влаги h , м	0,42	0,78	1,03	1,28	1,50
2. Максимальная ширина увлажнения от поверхности до глубины h в сторону междурядья B_{\max} , м	0,36	0,68	0,96	1,18	1,32
3. Максимальная длина увлажнения от поверхности до глубины h вдоль ряда деревьев $l_{\text{ср}}$, м	0,40	0,82	1,04	1,34	1,43
4. Максимальный диаметр увлажняемой зоны от поверхности до глубины h , т.е. d_{\max} , м	0,44	0,81	1,02	1,26	1,38
5. Максимальное значение отношения d_{\max}/h	1,05	1,10	0,97	0,96	0,90
6. Максимальный объем увлажняемой почвы грунта W_{\max} , м ³	0,15	0,48	0,87	1,65	2,32
7. Процентное соотношение увлажняемого максимального объема почвогрунта к отведенному объему растениям, %	0,7	4,9	11,1	20,8	29,2

В целом, ясно, что при капельном орошении с установкой одной капельницы около ствола за один полив необходимо подавать растениям не более 50 - 80 л воды в объеме. При повышении нормы полива более, чем 80 л/дерево, повышаются потери воды на фильтрацию, т.е. происходит глубинный сброс. Анализ полученных данных показывает, что при таком объеме вода в основном доходит до глубины распространения основной массы корней растений, а урожайность яблони при увеличении глубины увлажнения почвы до 0,7 - 0,8 м практически не изменяется. При этом не зависимо от по-

ливной нормы наибольшее расходование влаги происходит из верхнего (0 - 0,5 м) слоя почвы, так как именно в этом слое сосредоточена основная масса корней у яблони, т.е. около 80 - 85 %.

Изучая результаты исследований распространения влаги в почву при поливе одной капельницей, начали вести исследования с применением полива двумя капельницами. При этом основная задача исследований состояла в том, чтобы контуры увлажнения почвы капельницами при подаче воды в объеме не более 50 - 80 л/дерево сомкнулись именно в зоне максимального распространения корневой системы яблоневого сада. Учитывая это, одна капельница устанавливалась на расстоянии 0,5 м вверх от ствола дерева, а другая капельница размещалась внизу от него на таком же расстоянии. При этом на глубине 0,5 – 0,9 м от поверхности почвы длину зоны увлажнения увеличили до 1,6 м, а ширина зоны увлажнения почвы равнялась максимальному диаметру равной 0,8 м [23, 28].

При капельном орошении для увеличения контура увлажнения использовали четыре капельницы вокруг ствола яблоневого дерева. Для подачи воды вокруг дерева устанавливались по две капельницы вверх и вниз от ствола дерева на расстояния 0,5 м. Результаты исследований этого варианта показали значительное увеличение площади увлажняемого почвогрунта. Так, например, отношение ширины увлажнения почвы, когда принимает значение более 2,0 м к его глубине 0,75 - 0,9 м, тогда площадь увлажняемого почвогрунта увеличивается на 2 - 4 см, а процентное соотношения 38 % и более. В основном этот объем увлажнения располагается в зоне максимального развития корневой системы растений.

Следует отметить о том, что в зоне распространения корневой системы растений устанавливая четыре капельниц около ствола растений можно увеличить объем увлажняемого почвогрунта. При этом увеличивается количество капельниц, которые являются наименее надежным элементом систем капельного орошения на единицу орошаемой площади.

Таким образом, при капельном орошении установлены закономерности распространения влаги в почвенном профиле и формирования контура увлажнения с разными объёмами водоподачи. При этом в ходе исследований доказано, что при поливе яблони с помощью одной капельницы с объемом воды 50 л/дерево увлажняемая зона корнеобитаемого слоя почвы составляет всего 4,9 % объёма почвогрунта отведённому растению. Если увеличивать водоподачи на дерево в объёме до 120 л, увеличивается увлажняемый объем почвогрунта до 29,2 %. Следовательно, это увеличение приводит к потере воды на глубинный сброс, т.е. к фильтрацию.

В целом, несмотря на наметившуюся интенсификацию научных исследований, на успешно реализованные проекты мелиоративных систем с капельным орошением, имеется ещё целый ряд нерешённых вопросов, затрудняющих дальнейшее увеличение площадей с этими, несомненно, прогрессивным и экологическим безопасным способом полива.

3.4 Формирование и динамика контура увлажнения в зависимости от величины поливной нормы при капельном поливе

Как показывают исследования до тех пор, пока вода течёт по какому-либо руслу, в не зависимости от его размеров, она остаётся недоступной для непосредственного усвоения растениями. Лишь тогда наступает качественное превращение воды из недоступной формы в доступную растениям, тогда происходит её качественный переход в форму запаса влаги в почве. Поэтому все способы полива в основном должны обеспечить равномерное распределение воды по полю [37, 57, 58].

В первую очередь все способы полива должны быть гарантом равномерного распределения воды по орошаемому участку и, во-вторых, эта вода в форме запаса почвенной влаги должна быть размещена в слое активного водопотребления растений.

При любом способе полива, независимо от способа распределения влаги на участке, процессы впитывания и формирования запасов почвенной вла-

ги определяются свойствами данной почвы. Поглощение воды почвой, превращение её в фактор почвенного плодородия и глубина увлажнения почвогрунта зависят от водно-физических свойств почвы [1, 65, 83, 113,121, 130,154, 155].



Рисунок 3.6 – Контур увлажнения почвы яблоневого сада при капельном орошении на опытном участке

Каждому способу орошения присущи определённое устройство оросительной сети и соответствующая техника полива.

В зависимости от способов полива поступление, передвижение и распределение влаги в почве имеют большое значение для роста и развития растения. Например, при капельном орошении вода поступает в почву в форме капель, впитываясь в почву, она становится составной частью последней. Далее передвигаясь по закону, поступающая из капельницы вода под действием капиллярных сил проходит определённое расстояние. При этом создаётся постоянная зона увлажнения почвы величина и конфигурация, которой в основном зависят от водно-физических свойств почвы и величины поливной нормы (рис. 3.6).

Поскольку вопрос о распределении влаги в почве имеет большое значение, нами изучались размеры контура увлажнения почвы в зависимости от поливной нормы при капельном орошении. В процессе распределения влаги в почве после поливов оценка параметров контуров увлажнения при различных поливных нормах производилась путем сравнения значений коэффициента эффективности $K_{\text{ЭФ}}$, т.е. распределения воды с оптимальными значениями. Так, чем ближе полученные данные, тем эффективнее можно считать капельный полив. Коэффициент эффективности ($K_{\text{ЭФ}}$) можно определять, как отношение высоты контура увлажнения к ширине, тогда [22]:

$$K_{\text{ЭФ}} = \frac{H}{L}, \quad (3.13)$$

где H и L – соответственно высота (вертикальный диаметр) и ширина (горизонтальный диаметр) контура увлажнения, м.

В результате полученных данных можно отметить, что вычисленный коэффициент эффективности $K_{\text{ЭФ}}$ в течение первых суток увеличивается после проведения полива. Далее происходит его уменьшение через 3 и 5 сут. после полива. Такая закономерность наблюдается для всех изучаемых поливных норм.

При капельном орошении распределение влаги в активном слое почвы изучали до глубины 1,5 м и на расстоянии до 1,0 м от оси капельницы. Для определения динамики влажности образцы почвы отбирали через каждые 10 см, до и после полива, через 0,5 сут., 1, 3 и 5 сут. после полива. При этом

в первую очередь важными элементами технологии полива при капельном орошении являются основные параметры контура увлажнения, их наибольшая ширина, глубина, вертикальная и горизонтальная площади, а также влагонасыщенность. Данные величины в основном зависят от водно-физических свойств почв, конструкций капельниц, напорно-расходных характеристик капельных линий и биологической особенности культуры.

Результаты исследований в зависимости от формирования контура увлажнения представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Процесс формирования и динамика изменения основных параметров контура увлажнения почвы в зависимости от величины поливной нормы и времени полива при капельном орошении

Поливная норма, м ³ /га	Параметры контура увлажнения					
	Время после полива, сут.	Высота H , м	Ширина L , м	Площадь S , м ²	$K_{эф}$	$K_{эф}^{CP}$
120 (90 % НВ)	0	0,69	0,36	0,22	1,85	1,77
	0,5	0,87	0,49	0,39	1,73	
	1	1,00	0,60	0,55	1,63	
	3	0,45	0,22	0,10	1,86	
	5	0,25	0,12	0,03	1,77	
170 (80 % НВ)	0	0,93	0,53	0,46	1,71	1,69
	0,5	1,10	0,64	0,75	1,68	
	1	1,19	0,73	0,79	1,64	
	3	0,60	0,34	0,18	1,70	
	5	0,31	0,17	0,04	1,72	
220 (70 % НВ)	0	1,23	0,63	0,70	1,90	1,84
	0,5	1,36	0,71	0,88	1,82	
	1	1,44	0,82	1,04	1,70	
	3	0,83	0,44	0,33	1,87	

	5	0,39	0,19	0,06	1,93	
--	---	------	------	------	------	--

Полученные данные показывают, что с увеличением поливной нормы наблюдается заметное увеличение площади контура увлажнения. При этом увеличивает высота и ширина контура увлажнения. Так, при норме 220 м³/га высота контура увлажнения через 12 часов после полива составляет 1,36 м, а при уменьшении поливной нормы до 170 и 120 м³/га – 1,10 и 0,87 м соответственно.

Для всех исследуемых поливных норм наибольшая площадь контура увлажнения наблюдается через 1 сут. после окончания полива. При этом в зависимости от поливной нормы 220, 170 и 120 м³/га площадь контура увлажнения составляет 1,04, 0,79 и 0,55 м² соответственно.

Далее через 3 сут. после полива для всех исследуемых поливных норм происходит уменьшение в вертикальном и горизонтальном направлениях всех параметров контура увлажнения.

В дальнейшем, через 5 суток после полива, оценивая характер изменения параметров контура увлажнения в зависимости от принятых поливных норм можно отметить, что величина площади контура увлажнения почвы изменяется от 0,03 до 0,06 м² и составляет незначительную часть увлажненной зоны (рис 3.7).

Таким образом, при капельном орошении значение среднего коэффициента эффективности распределения влаги K_{ϕ}^{CP} получается наиболее приближенным к оптимальному значению при поливной норме 170 м³/га. Следовательно, при этом необходимо поддерживать предполивной порог влажности почвы не ниже 80 % НВ.

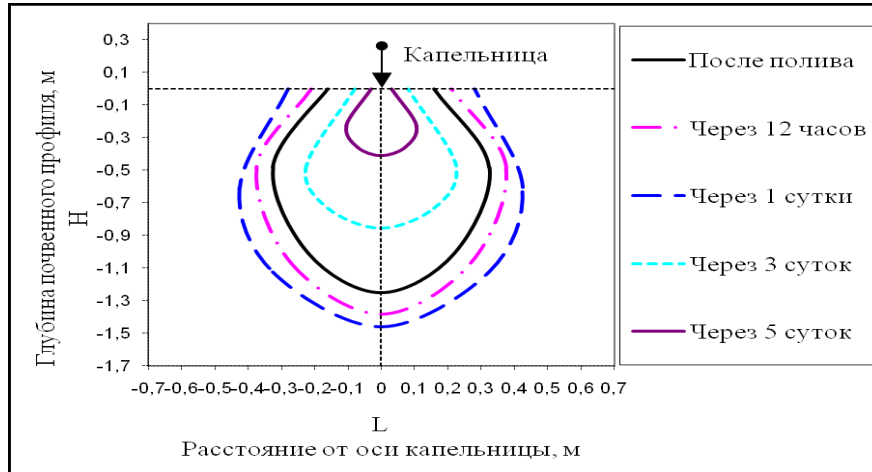
Определение корреляционной зависимости между параметрами контура увлажнения и величиной поливной нормы нами с помощью специальных компьютерных программ была произведена математическая обработка экспериментальных данных.

В результате корреляционно-регрессионного анализа получена аппроксимирующая зависимость, которая имеет следующий вид:

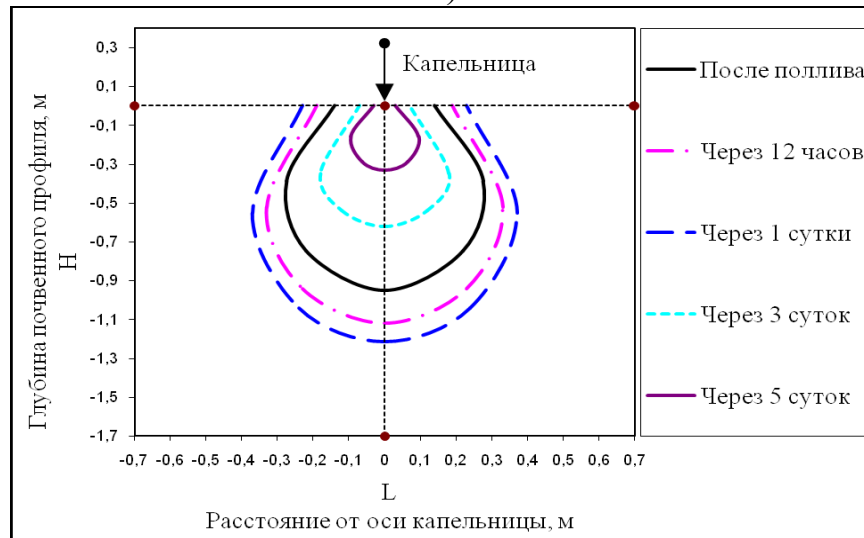
$$Y = a_1 \cdot t^3 + a_2 \cdot t^2 + a_3 \cdot t + a_4, \quad (3.14)$$

где Y – геометрический размер верхней или нижней полуоси контура увлажнения, либо его ширина, м; t – время, сут; a_1 , a_2 , a_3 и a_4 – коэффициенты.

а)



б)



в)

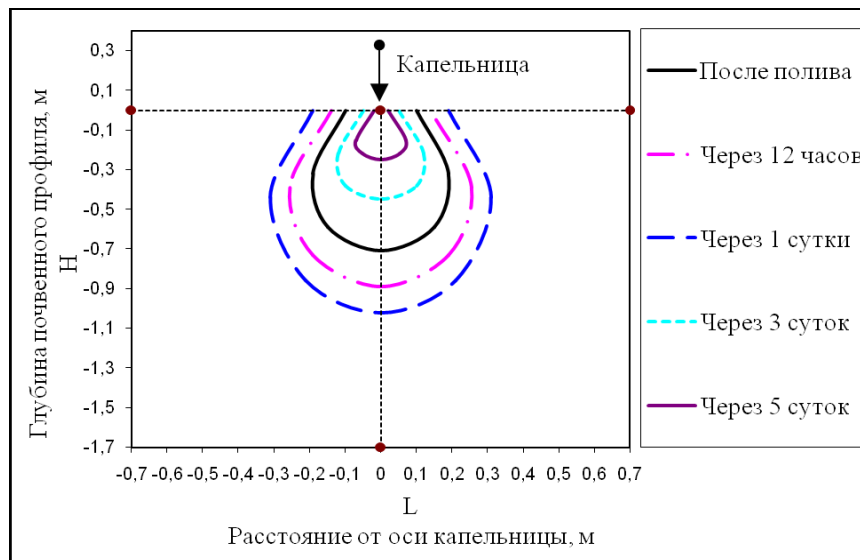


Рисунок 3.7 – Изменение параметров контура увлажнения почвы в зависимости от поливной нормы и времени полива
 а) нормой 220 м³/га; б) нормой 170 м³/га; в) нормой 120 м³/га

Полученные значения коэффициентов входящих в уравнение (3.14) параметров контура увлажнения в зависимости от поливной нормы и времени после окончания полива при капельном орошении приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7 - Значение коэффициентов входящие в уравнение (3.14)

Поливная норма, м ³ /га	Геометрические параметры	Коэффициенты уравнения				Коэффициент корреляции R
		a_1	a_2	a_3	a_4	
220	Y_{K1}	0,034	-0,310	0,475	1,22	0,921
	X_{K1}	0,026	-0,237	0,398	0,61	0,913
170	Y_{K2}	0,041	-0,350	0,560	0,93	0,935
	X_{K2}	0,028	-0,243	0,404	0,52	0,920
120	Y_{K3}	0,043	-0,366	0,620	0,68	0,913
	X_{K3}	0,031	-0,268	0,465	0,35	0,922

Примечания: Y_K – высота контура увлажнения, м;
 X_K – ширина контура увлажнения, м.

Из табл. 3.7 видно, что коэффициенты корреляции в зависимости от вариантов опыта изменяются в пределах от 0,913 до 0,935 и указывают на высокую существенность корреляционных отношений.

Применяя полученного уравнения (3.14) с достаточной точностью после окончания полива, и в межполивном периоде (при поддержании влажности почвы не ниже 80 % НВ) можно вычислить основные геометрические параметры контуров увлажнения для поливных норм 220, 170 и 120 м³/га, при капельном орошении.

В целом, на основании проведенных исследований, нами в условиях темно-каштановых почв Волгоградской области разработаны показатели элементов техники и технологии капельного орошения яблоневого сада. При этом учитывались водно-физические свойства почвы, параметры контуров увлажнения почвы при различных поливных нормах и времени, а также биологические особенности яблони (табл. 3.8).

Таблица 3.8 – Основные параметры и показатели элементов техники капельного полива яблоневого сада в условиях орошения

№ п/п	Показатели элементов техники капельного полива яблоневого сада	Размерность	Параметры
1	Схема посадки деревьев	м ²	6x4
2	Площадь питания деревьев (S)	м ²	0,75 – 0,79
3	Наилучшая поливная норма	м ³ /га	170
4	Глубина распространения основной массы корневой системы (h _к)	м	0,2 – 0,8
5	Максимальная высота контура увлажнения (H)	м	1,10 – 1,19
6	Максимальная ширина контура увлажнения (L)	м	0,64 -0,79
7	Коэффициент эффективности распределения влаги ($K_{эф}^{CP}$)		1,69
8	Необходимый нижний предполивной порог влажности почвы	%НВ	80

Подводя итоги можно сделать следующие основные выводы:

1. Главным фактором, определяющим количественную и качественную сторону поступления и перераспределения влаги в почве при капельном орошении, является поливная норма. Исследованиями установлено, что при повышенных поливных нормах ($220 \text{ м}^3/\text{га}$) по сравнению с малыми нормами поливная вода просачивается на большую глубину. Однако по всему профилю почвы поливы нормой $170 \text{ м}^3/\text{га}$ позволяют более равномерное увлажнение.

2. На основании проведённого корреляционно-регрессионного анализа получены некоторые аппроксимирующие зависимости учитывающие изменение основных параметров контура увлажнения почвы в зависимости от величины поливной нормы и времени. Применение данных этих зависимостей даёт возможность характер распределения влаги в почве после полива с точностью до 11,9 %, а коэффициент корреляции находится на уровне 0,913...0,935.

4 ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТЫ ВЛАГОПЕРЕНОСА ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ

4.1 Обоснование выбора математической модели влагопереноса в ненасыщенных почвогрунтах

Капельное орошение является перспективным способом полива, восполняя дефицит водных ресурсов, обеспечивает высокий технический уровень, повышает продуктивность различных сельскохозяйственных культур. При этом улучшается охрана природы в орошаемой земледелии и сохраняется плодородие почвы. По сравнению с другими способами полива влагоперенос воды в почве при капельном орошении, как в теоретическом, так и в экспериментальном планах, изучен в меньшей степени. В связи с этим создаваемая и используемая математическая модель должна удовлетворять ряду требований в различных условиях [9, 23, 51, 84, 95, 102, 127, 148, 157,170]:

- по возможности она должна иметь самую простую форму, так как погрешность результатов исследований зависит в практических расчетах и от точности исходных данных;
- в уравнение должны входить такие водно-физические характеристики почвы, которые изучены хорошо, только в этом случае можно использовать модель для анализа и расчетов;
- используемый алгоритм и программные продукты для расчета долж-

ны быть наиболее универсальной степени, тогда их можно использовать для широкого диапазона в условиях, который существует в природе;

- расчеты необходимо проводить на персональных компьютерах с применением различных пакетов прикладных программ.

В разные годы различные исследователи, такие как П.Я. Полубаринова-Кочина, И.П. Айдаров, А.А. Алексащенко, Д.А. Куртнер, Л.Г. Чернышевская, Е.И. Мигунова, Б.Б. Шумаков, А.Д. Ахмедов, Е.А. Ветренко, I. Hausenberg, H. Janert и др. рассматривали и создавали математическое моделирование процессов влагопереноса в почве при капельном орошении [9, 23, 47, 73, 108, 131, 141, 149, 170, 171, 182, 183].

Анализируя выше изложенные модели, мы пришли к выводу о том, что при решении данного вопроса, как правило, можно сделать ряд допущений. Можно считать, что вода не имеет растворенных солей, почвенное и атмосферное давление воздуха равны между собой, скелет грунта является не деформируемым, почвенная влага несжимаемой и процесс движения влаги является изотермическим. Поэтому влагоперенос в почве развивается под действием капиллярных и гравитационных сил. Кроме того, большое влияние вызывает градиент влажности, всасывающая сила корней растений и испарение.

В целом уравнение движения жидкости при неполном насыщении грунта можно записывать, используя закон Дарси. На основе анализа физического смысла данного закона можно отметить, что изменение массы жидкости, вытекающей в единицу времени из элементарного объема почвы компенсируется изменением насыщенности внутри этого объема. При этом скорость движения жидкости пропорциональна градиенту напора [1, 2]. Тогда можно записывать:

$$\partial(W)/\partial t = \text{div}(K(W)\text{grad}H) \quad (4.1)$$

где $K(W)$ – коэффициент влагопроводности, зависящий от координат x, y, z ; W – объемная влажность почвы; H – напор; t – время.

На основании результатов анализа было выявлено, что в зависимости от давления влажность грунта может изменяться по-разному [12, 74, 96, 114, 165]. Поэтому если в начальный период времени почва принимает неравномерное по глубине распределение влажности, то тогда влажность будет возрастать в моменты времени в сухих слоях относительно согласно диффузионной модели. Эти возрастания могут иметь значение близкие к начальному значению, как бы ни происходило большое испарение. В экспериментальных исследованиях обычно это происходит наоборот, т.е. при интенсивном испарении влажность в сухих слоях почвы уменьшается. Несмотря на это градиент влажности почвы будет направлен к слоям, где предусматривается более низкая влажность почвы. В последующем этот процесс получил название эффекта Аллэра, который для количественного описания данного факта использовал концепцию трещиноватого пористого тела для грунта [11].

На основании проведённых исследований в уравнение влагопереноса вводится поправочный член, который необходимо было бы использовать для описания влагопереноса в почвогрунтах. Учитывая вышеизложенное, можно отметить, что следующая модель носит название модели Аллэра и принимает вид:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D \frac{\partial W}{\partial x} + A \frac{\partial^2 W}{\partial t \partial x} \right], \quad (4.2)$$

где A - коэффициент пропорциональности.

При решении данных математических моделей можно использовать уравнение передвижения влаги в почве.

Анализируя данную математическую модель, и ее приближенное решение можно отметить, что эта модель основана с применением дифференциального уравнения влагопереноса, который имеет параболический вид. При переменной скорости перемещения границы увлажнения принимает при этом конечное значение, и рассматривают гиперболическое уравнение влагопереноса.

В целом в природе, процессы влагопереноса намного более сложнее, чем применяемые математические их описания, следовательно, их можно определить различными методами и разнообразными формами уравнений влагопереноса. Поэтому, возникает основной вопрос о выборе наилучшей математической модели изучаемого данного процесса. Здесь необходимо учитывать правильность описание процесса влагопереноса. Следовательно, применяемые уравнения должны отражать основные физические закономерности и обеспечивать необходимую точность, которые происходят при проведении данных исследований. При этом зависимость должна иметь простой и эффективный вычислительный алгоритм и его опытно-экспериментальную проверку приблизительно близкую к данным полученным в ходе исследований [38, 41, 101, 107, 129, 136].

Полученные математические модели кроме того должны учитывать физическое испарение и поглощение влаги корнями растений в условиях орошения [174, 184, 187].

Следует отметить, что для решения уравнения влагопереноса в каждый момент времени необходимо учитывать физическое испарение (I) с поверхности почвы и зависимости от времени величины транспирации (E_T). Тогда суммарного испарения (E) будут равно как суммы двух составляющих:

$$E = E_T + I. \quad (4.3)$$

Следовательно, на основе использования биоклиматического метода расчет возможного решения суммарного испарения E будет принимать следующий вид:

$$E = \sum_{i=1}^n K_B \sum d, \quad (4.4)$$

где n - количество периодов; $\sum d$ - сумма дефицитов влажности воздуха; K_B - биоклиматический коэффициент, характеризующий вид и фазу развития растений (i).

При определении доли транспирации в суммарном испарении можно применять эмпирическую зависимость и выразить на ее основе следующую формулу:

$$\frac{E_T}{E} = \frac{1 - M_T (K_B - K_{B \min})}{K_{B \max} - K_{B \min}}, \quad (4.5)$$

где $K_{B \max}$, $K_{B \min}$ – соответственно максимальное и минимальное значения биоклиматического коэффициента для отдельных фаз развития данной культуры; M_T - эмпирический параметр, соответствующий максимальной доле транспирации в суммарном испарении (0,90...0,95).

Основная величина потенциальной транспирации, которая определяется с применением уравнения (4.3 и 4.5) задается послойно. При этом учитываются плотности корневой системы растений, которая является потенциальным отбором влаги корнями [174]. Распределение основной массы корневой системы растений в модели аппроксимируемых функций примет вид:

$$f(Z) = \frac{1}{(z + Z_1) \bar{b}_\lambda 2\pi} \exp \left\{ - \frac{[\ln(z + Z_1) - Z_n]^2}{2\bar{b}_\lambda^2} \right\}, \quad (4.6)$$

где Z_1, Z_n - параметры распределения, рассчитанные на основе экспериментальных данных полученных опытным путем; \bar{b}_λ - эмпирический параметр; z - вертикальная координата.

В целях определения фактической интенсивности использования влаги корнями растений и с учётом транспирации можно использовать в зависимости от степени доступности почвенной влаги растениям следующую формулу:

$$E_\phi = E_0 K_r, \quad (4.7)$$

где K_r - коэффициент интенсивности поглощения влаги корнями; E_0 - транспирация при оптимальных условиях водопотребления.

На основе анализа различных литературных источников следует отметить, что создание необходимых оптимальных условий для развития растений возможно только тогда, когда можно прогнозировать водный, воздушный, тепловой и питательный режимы почвы. Чтобы прогнозировать такой режим необходимо применять дифференциальное уравнение, описывающее процессы обмена в системе «почва - растение - атмосфера».

В корнеобитаемом слое почвы процесс влагообмена, можно представлять в следующем виде [141, 170]:

$$e \frac{\partial \Phi}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_B \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) - g \frac{\partial K_B}{\partial z} + Q(z, t), \quad (4.8)$$

где e - объемная влажность; Φ - капиллярный потенциал почвенной влаги; K_B - коэффициент влагопроводности; g - ускорение силы тяжести; z - вертикальная координата; t - время; $Q(z, t)$ - поглощение влаги корневой системой из единицы объема почвы.

Данные которые используются для прогноза водного режима почвы в формуле 4.8, возможно решать тогда, когда будет известно значение функции $Q(z, t)$, зависимости объемной влажности e и коэффициента влагопроводности K_B от капиллярного потенциала почвенной влаги Φ . При этом необходимо учитывать то, что объемная влажность e и коэффициент влагопроводности K_B в полевых условиях устанавливаются путем опытным.

При решении данного уравнения (4.8) поглощения влаги корневой системы Q , корнеобитаемый слой растений можно делить на две зоны (рис. 4.1) [23, 150]:

- 1) влажную, где в корневую систему поступает ограниченное количество воды, но здесь главную роль играет влагопроводимость почвы;
- 2) сухую, где водопроницаемость живых клеток стенки корня растения является ограничивающим фактором.

Приток влаги к корневой системе для первой и второй зоны соответственно:

$$Q_c = A K_B m_{кор} (\Phi_{нк} - \Phi_n); \quad (4.9)$$

$$Q_B = A^I m_{кор} (\mu_k - \mu_{ПК}), \quad (4.10)$$

где A - коэффициент, учитывающий радиальность притока воды к корню и характер распределения влаги в почве, разницы между капиллярными потенциалами почвы и на поверхности корней ($\Phi_{нк} - \Phi_n$); A^I - коэффициент, характеризующий водопроницаемость тканей корня, определяется опытным путем; $\mu_{ПК}$ - химический потенциал поверхности корня; μ_k - химический потенциал влаги ксилемы; $m_{кор}$ - масса корней в единице объема почвы.

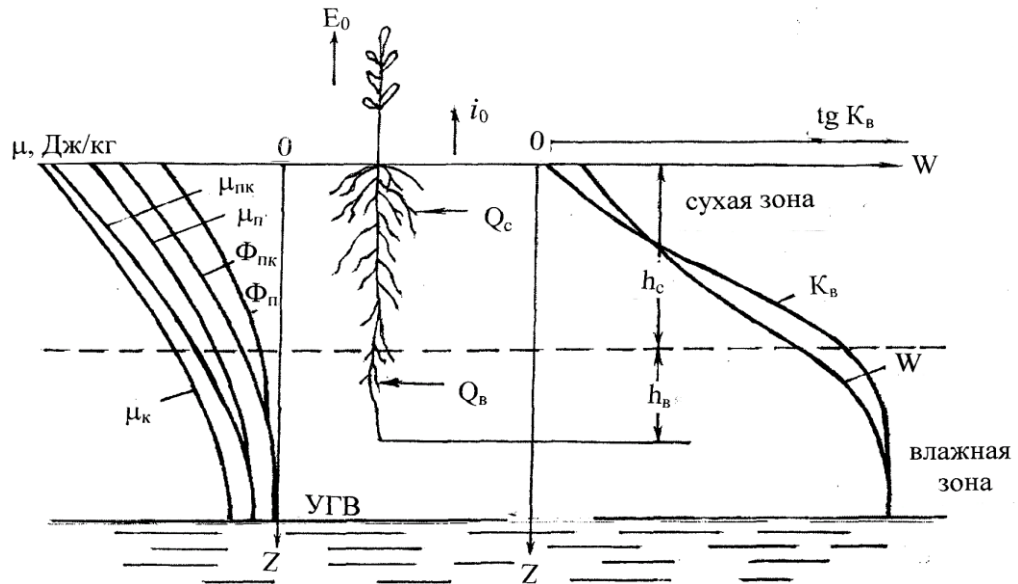


Рисунок 4.1 – Математическая модель прогнозирования влагопереноса в корнеобитаемом слое почвы

Интегрирование выражений (4.9) и (4.10) с учётом распределения глубины корневой системы растений дает возможность вычислять коэффициент постоянной A :

$$A = \frac{E_0 - \int_{hc+hв}^{hc} A^1 m_{кор} (\mu_K - \mu_{ПК}) dz}{\int_0^{hc} K_B m_{кор} (\Phi_{ПК} - \Phi_{П}) dz}, \quad (4.11)$$

где E_0 - транспирация растений.

Подставляя A из (4.11) в (4.10) при $(\Phi_{ПК} - \Phi_{П}) = const$, получим:

$$Q_c = \frac{\left[E_0 - \int_{hc+hв}^{hc} A^1 m_{кор} (\mu_K - \mu_{ПК}) dz \right] K_B m_{кор}}{\int_0^{hc} K_B m_{кор} dz}. \quad (4.12)$$

Учитывая то, что во второй зоне поглощение влаги незначительно, то поглощение влаги на этой зоне можно пренебречь, тогда получим:

$$Q = \frac{E_0 K_B m_{кор}}{\int_0^{hc} K_B m_{кор} dz}. \quad (4.13)$$

В уравнении (4.13) значение массы корней $m_{кор}$ определяется в относительных цифрах.

Таким образом, нами предлагается математическая модель, которая дает возможность при помощи ПК прогнозировать влагообмен, который происходит в корнеобитаемом слое почвы. Применяя при этом различные программные продукты можно корректировать водный режим почвы и при необходимости планировать мероприятия по его регулированию.

4.2 Определение основных параметров влагопереноса в почве

Для расширенного применения капельного орошения в производстве необходимо разработать общую теорию капельного способа полива. Анализ большого числа работ, связанных с развитием капельного орошения, в основном раскрывает математическое моделирование процессов влагопереноса в почве. Следовательно, эти модели не всегда дают требуемые эффекты для создания на их основе инженерной методики расчета основных элементов техники и технологии полива при капельном способе орошении [23, 36, 158,175].

Для выявления основных параметров влагопереноса в почве точность решения задачи во многом зависит от правильного выбора этих параметров, которые характеризуют основные процессы, происходящие в различных слоях почвогрунта. Следовательно, при решении таких задач в значительной степени необходимо раскрывать значение таких функций зависимостей $\psi(W)$, $K(W)$, $D(W)$, которые обычно определяются экспериментальным путем в полевых условиях.

Все разработанные модели (математические) влагопроводности почвы условно можно разделить на три вида:

- 1) теоретические модели;
- 2) полуэмпирические модели;
- 3) эмпирические модели.

При определении коэффициента влагопроводности в первую очередь необходимо определить влажность почвы, т.к. данные значения при полном насыщении в основном отражают коэффициент фильтрации. По данному коэффициенту определяют в основном движение почвенной влаги, которой соответствуют интегрально отражающему свойства почвы и жидкости. Поэтому для ненасыщенного потока использование закона Дарси требует нескольких поправок и допущений. При этом влагопроводность почвы рассматривается как функция объемного влагосодержания, а не как константа [156, 158].

Сравнивая теоретические модели с полуэмпирическими можно отметить, на основе теоретических предпосылках и представляют собой более наиболее простые формы эмпирических зависимостей. Эти зависимости аппроксимируют сложные теоретические уравнения. Полуэмпирической моделью наиболее распространенной является формула академика С.Ф. Аверьянова. В его исследованиях [1, 2] с помощью первого подхода была получена зависимость коэффициента диффузии от влажности почвы, которую можно записывать в следующем виде:

$$D(W) = \frac{K_{\phi} \psi_0 W^*}{1 - (W^*/W_1)^3} \left(\frac{W - W^*}{m - W^*} \right)^{3,5} \left(\frac{1}{W^2} + 2 \frac{W}{W_1^3} \right), \quad (4.14)$$

где ψ_0 – значение давления при влажности $W = W^*$.

В зависимость (4.14) в основном входят такие параметры грунтов, как коэффициент фильтрации, полная влагоемкость, максимальная молекулярная влагоемкость, начальная влажность, пористость, которую необходимо определить в полевых условиях экспериментальным путём. Данная математическая формула неудобна для преобразований.

В отличие от С.Ф. Аверьянова Гарднер [183] установил зависимость коэффициента диффузии от влажности почвы при изучении движения жидкости в пористой среде, которая носит экспоненциальный характер. Учитывая это можно описать:

$$D(W) = D_0 \exp [\beta(W - W_0)], \quad (4.15)$$

где D_0 – коэффициент диффузии при начальной влажности W_0 ; β – параметр, характеризующий почву.

На основе анализа полученных зависимостей, Л.Е. Чернышевская [170] доказала, что при изменении параметров грунта в широком диапазоне зависимость (4.14) можно приближенно аппроксимировать зависимостью (4.15). При этом параметр, характеризующий почву β и коэффициент диффузии D_0 можно определить по следующим формулам:

$$\beta = \frac{1}{W_1 - W_0} \ln \left[\frac{3(W_1 - W^*)^{3,5}}{W_1^2 (W_0 - W^*)^{3,5} \left(\frac{1}{W_0^2} + 2 \frac{W_0}{W_1^3} \right)} \right], \quad (4.16)$$

$$D_0 = \frac{K_\phi \psi^* W^*}{1 - (W^*/W_1)^3} \left(\frac{W_0 - W^*}{W_1 - W^*} \right)^{3,5} \left(\frac{1}{W_0^2} + \frac{W_0}{W_1^3} \right) \quad (4.17)$$

где β – параметр, характеризующий почву; D_0 – коэффициент диффузии при начальной влажности W_0 ; W_1 – полная влагоемкость; W_0 – начальная влажность; W^* – максимальная молекулярная влагоемкость; K_ϕ – коэффициент фильтрации; ψ^* – капиллярное давление при влажности, равной максимальной молекулярной влагоемкости.

Анализируя работы Янгарбера В.А., Чернышевской Л.И., Ветренко Е.А., Ахмедова А.Д. и др. [23, 47, 170, 175] можно отметить, что эмпирическая зависимость между давлением почвенной влаги и влажностью почвы примет следующий вид уравнения:

$$\frac{\partial P}{\partial W} = \frac{1164}{W_1 - W_{B3}} \exp \left(-7,76 \frac{W - W_{B3}}{W_1 - W_{B3}} \right), \quad (4.18)$$

где W_{B3} – влажность завядания растений.

Для определения коэффициента влагопроводности Чернышевской Л.И. [170] была получена зависимость идентичная с зависимостью предложенной С.Ф. Аверьяновым:

$$K(W) = K_0 \left(\frac{W - W_{B3}}{W_1 - W_{B3}} \right)^v, \quad (4.19)$$

где K_0 – коэффициент фильтрации, вычисляемый по формуле Кармана-Козени.

Тогда K_0 принимает вид:

$$K_0 = \frac{K'(0,01W_1)^3}{W_{B3}(1-0,01W_1)^2}, \quad (4.20)$$

где ν, K' – эмпирические параметры.

Учитывая зависимости, коэффициент диффузии можно определить как произведение полученных зависимостей (4.18) и (4.19), т.е. $\frac{\partial P}{\partial W} K$.

Если учитывать, что при влажности почвы $W \geq W^*$, тогда зависимость капиллярного давления от влажности будет описываться наиболее удобно формулой:

$$\frac{W - W^*}{m - W^*} = \exp(-\nu\bar{\psi}^n), \quad \bar{\psi} = \frac{\psi}{h_K}, \quad (4.21)$$

где ν – эмпирический коэффициент, определенный для минеральных грунтов принимается равным 2,7; ψ – капиллярный потенциал; n – показатель степени для связных минеральных грунтов, принимается равным 3,0; h_K – максимальная высота капиллярного поднятия (для суглинистых почв 2...5 м) [9, 58].

Тогда получим:

$$\psi = -h_K \sqrt[3]{\frac{1}{\nu} \ln \frac{W - W^*}{m - W^*}}. \quad (4.22)$$

Следует отметить, что в данную зависимость (4.22) непосредственная подстановка значения влажности $W = W^*$ не дает возможность определить капиллярное давление ψ_0 . Нами был предложен следующий подход к решению этой проблемы.

В зависимости от времени в пространстве основные водно-физические константы почвы не имеют стабильности. Поэтому опытным путем было установлено, что плотность почвы по площади в летние месяцы принимает минимальные значения. Принимая во внимание, что величина максимального изменения плотности в данный период времени составляет не более 6 %, следовательно, сезонные изменения почвы в нашей работе не учитываются.

Таким образом, задачи можно сводить к рассмотрению двух одномерных дифференциальных уравнений влагопереноса, которые обычно описывают передвижение влаги в ненасыщенных почвогрунтах. При этом рассмотрим два различных направления движений влаги:

- 1) горизонтальное направление;
- 2) направление вертикально вниз.

При решении уравнений влагопереноса наиболее приемлемой считается зависимость предложенная Гарднером. Поэтому для определения коэффициента диффузии, нами применяются формулы (4.15 – 4.17). Для сохранения неоднородности сложения почвогрунта в указанных направлениях предлагается учитывать путем изменения значений коэффициента диффузии $D(W)$, и его параметров β , D_0 . Следовательно, в зависимости от применяемых законов величины коэффициентов диффузии следует изменять передвижения влаги в горизонтальном направлении и направлении вертикально вниз. При этом необходимо учитывать, что формулы (4.16 и 4.17) остаются без изменений. Учитывая это водно-физические свойства почвы необходимо усреднять не по всей толще расчетного слоя почвы, а в тех горизонтах, где происходит влагоперенос по исследуемому направлению. Например, для определения значения полной влагоемкости при передвижении влаги в определенном направлении можно находить как среднее значение по формуле:

$$W_n = \frac{\sum_{i=1}^n W_n^{(i)} h^{(i)}}{\sum_{i=1}^n h^{(i)}}, \quad (4.23)$$

где $W_n^{(i)}$, $h^{(i)}$ – соответственно значение полной влагоемкости и мощность i -го слоя почвы.

Все остальные водно-физические характеристики почвогрунта можно вычислить аналогичным образом и получить осредненные значения этих параметров для решения задачи о передвижении влаги в горизонтальных и вертикально вниз рассматриваемых направлениях (табл. 4.1).

Таблица 4.1 – Основные водно-физические свойства почвы в слое 0 – 0,8 м

Основные водно-физические свойства почвы	Направление влагопереноса	
	Горизонтально	Вертикально вниз
Плотность, т/м ³	1,38	1,30
Полная влагоемкость, %	23,2	28,4
Пористость, % объема	42,1	45,3
Максимальна молекулярная влагоемкость, %	13,5	14,5
Наименьшая влагоемкость, %	19,1	20,5
Капиллярное давление ψ_0 , м водн. ст.	2,74	2,72

Параметр, характеризующий почву β и коэффициент диффузии D_0 , при различной влажности почвы в слоистых грунтах задаются кусочно-непрерывными функциями и изменяются по-разному (табл. 4.2).

Таблица 4.2 – Значение коэффициента диффузии D_0, β в зависимости от предполивной влажности почвы

Направление влагопереноса	Начальная влажность, % НВ					
	70		80		90	
	D_0	β	D_0	β	D_0	β
Горизонтально	0,000130	58,122	0,005370	40,90	0,051	32,077
Вертикально вниз	0,006285	40,413	0,009202	30,705	0,046	25,858

На основании полученных данных строятся графики зависимостей параметра, характеризующего почву β и коэффициента диффузии D_0 от влажности W (рис. 4.2, 4.3).

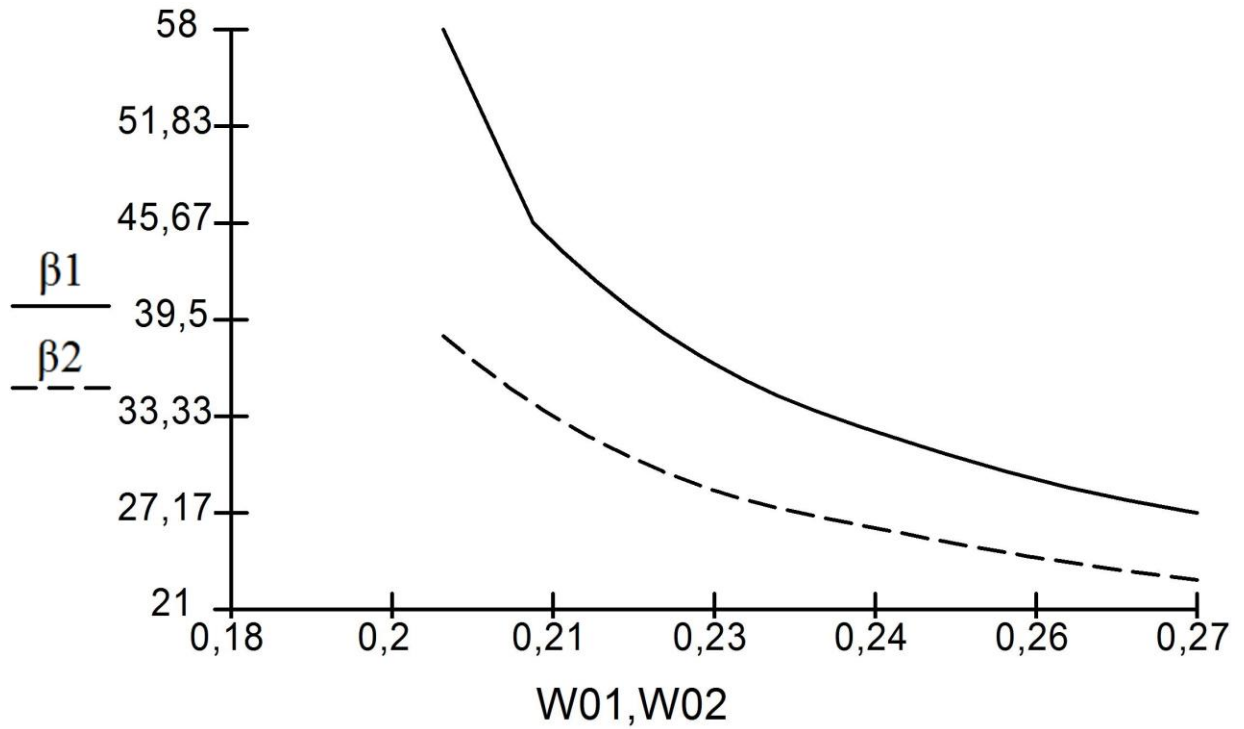


Рисунок 4.2 – График зависимости параметра, характеризующего почву от влажности почвы:

β_1 - горизонтальное направление влагопереноса;
 β_2 - передвижение влаги вертикально вниз.

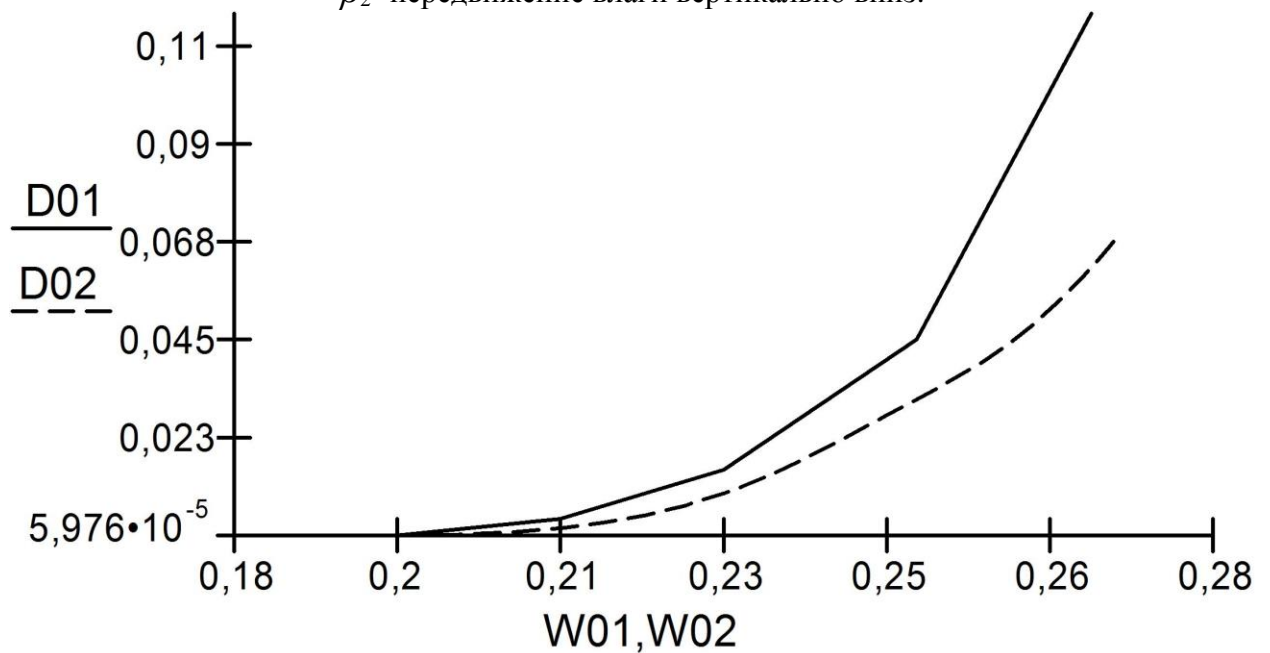


Рисунок 4.3 – График зависимости коэффициента диффузии от влажности почвы:

D_{01} - горизонтальное направление влагопереноса;
 D_{02} - передвижение влаги вертикально вниз

Анализируя полученные кривые можно отметить, что для различных почвенных условий полученные зависимости имеют аналогичный вид. При

этом в основном возрастания или убывания графика определяются в конкретной степени водно-физическими свойствами почвогрунтов. Однако, в зависимости от влажности почвы изменение величины коэффициента диффузии D_0 , носит возрастающий характер, и аналогично изменению коэффициента влагопроводности. Это связано с тем, что между двумя данными параметрами существует прямая линейная зависимость.

По мере повышения влажности почвы в отличие от коэффициента диффузии значение параметра, характеризующего почву β начинает уменьшаться, т.е. с повышением влажности всасывающая способность почвы снижается. По механическому составу для одинаковых почвенных слоев сравнивая полученные кривые можно отметить, что при вертикальном направлении влагопереноса параметр, характеризующий почву β и коэффициент диффузии D_0 незначительно отличаются друг от друга. В то же время для отличительных почвенных слоев (по механическому составу) при передвижении влаги в горизонтальном направлении влагопереноса кривые зависимостей D_0 и β по сравнению с аналогичными графиками имеют наиболее существенное отличие.

4.3 Обоснование параметров систем капельного орошения методом математического планирования

Капельное орошение среди перспективных способов полива является наиболее эффективным. Однако теоретические основы и технологии полива при капельном орошении из-за недостаточной изученности реализованы не полностью. Поэтому исследования представляют научный и практический интерес, для совершенствования технологии капельного орошения как одного из наиболее экономичных способов распределения воды.

Необходимо отметить, что равномерность распределения воды по всей длине капельных линий в основном определяет качество увлажнения почвы. При проектировании несоблюдение этого условия при капельном орошении

вызывает нестабильность урожаев различных сельскохозяйственных культур [20, 28, 112, 132, 153].

При капельном орошении для выявления функции отклика и оптимальных числовых значений факторов, был проведен регрессионный анализ. В результате выходных показателей получены геометрические образы функции отклика. В дальнейшем для построения функции отклика и анализа была применена компьютерная методика. При этом функция отклика аппроксимирована полиномом формы и имеет вид [20, 67, 78]:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2, \quad (4.25)$$

где Y – зависимая переменная (выборочная оценка для критерия оптимизации отклика); b_0 – свободный член; b_i, b_j – теоретически определяемые коэффициенты регрессии; x_i, x_j – независимые переменные (значения факторов).

При обосновании основных параметров систем капельного полива в качестве факторов были выбраны: напор в системе H (X_1), длина капельных линий L (X_2), диаметр отверстия водовыпуска d (X_3).

Задача оптимальности решалась с применением методов теории планирования эксперимента. По всей оросительной системы критерием оптимальности являлась равномерность распределения влаги по всей длине капельных линий, т.е. в начале, середине и в конце капельных линий.

При этом зависимые факторы и уровни их варьирования зависимые значения факторов, и реализация насыщенного плана Рехтшафнера второго порядка приведены в табл. (4.3 - 4.4) соответственно.

Таблица 4.3 - Зависимые факторы и уровни их варьирования

Пределы варьирования фактора	Факторы		
	-1	0	1
$H, м$	0,8	1,0	1,2
$L, м$	120	150	180
$d, мм$	1,0	1,5	2,0

Таблица 4.4 - Реализация плана Рехтшафнера второго порядка ($k = 3$)

Факторы			Значение критерия оптимизации		
X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁ (Q _н , л/ч)	Y ₂ (Q _{ср} , л/ч)	Y ₃ (Q _к , л/ч)
-1	-1	-1	8,5	6,3	7,8
-1	1	1	7,5	6,2	7,1
1	-1	1	6,5	5,8	6,2
1	1	-1	6,2	5,1	6,0
1	-1	-1	8,4	7,4	7,1
-1	1	-1	5,6	4,6	5,2
-1	-1	1	5,4	4,4	5,3
-1	0	0	7,1	5,8	6,7
0	1	0	5,8	4,7	5,6
0	0	1	5,7	5,2	5,4

Решая данную задачу, получим следующий вид уравнения регрессии среднего квадратического отклонения значения расходов в закодированной форме:

в начале:

$$Y_1 = 5,523 + 0,436 x_1 - 2,511 \cdot 10^{-2} x_2 + 4,779 \cdot 10^{-6} x_3 + 0,186 x_1 x_2 + 0,311 x_1 x_3 + 1,261 x_2 x_3 + 1,174 x_1^2 + 0,324 x_2^2 + 0,199 x_3^2; \quad (4.26)$$

в середине:

$$Y_1 = 4,761 + 0,486 x_1 - 0,136 x_2 + 3,110 \cdot 10^{-6} x_3 - 0,161 x_1 x_2 + 0,086 x_1 x_3 + 0,886 x_2 x_3 + 0,586 x_1^2 + 0,086 x_2^2 + 0,461 x_3^2; \quad (4.27)$$

в конце:

$$Y_1 = 5,048 + 0,436 x_1 + 0,186 x_2 + 0,261 x_3 + 0,386 x_1 x_2 + 0,411 x_1 x_3 + 1,111 x_2 x_3 + 1,249 x_1^2 + 0,399 x_2^2 + 0,124 x_3^2. \quad (4.28)$$

Для определения оптимального значения функции отклика, среднего квадратического отклонения расхода воды в начале, середине и в конце капельных линий, уравнения (4.26), (4.27), (4.28) по независимым переменным были про дифференцированы и решены с помощью следующие системы уравнений:

в начале:

$$\begin{cases} \frac{\partial y_1}{\partial x_1} = 0,436 + 0,186x_2 + 0,311x_3 + 2,337x_1 = 0 \\ \frac{\partial y_1}{\partial x_2} = -0,36 + 0,186x_1 + 1,261x_3 + 0,637x_2 = 0 \\ \frac{\partial y_1}{\partial x_3} = 4,779 \cdot 10^{-6} + 0,311x_1 + 1,261x_2 + 0,387x_3 = 0 \end{cases} \quad (4.29)$$

в середине:

$$\begin{cases} \frac{\partial y_1}{\partial x_1} = 0,486 - 0,161x_2 + 0,086x_3 + 1,161x_1 = 0 \\ \frac{\partial y_1}{\partial x_2} = -0,136 - 0,161x_1 + 0,886x_3 + 0,161x_2 = 0 \\ \frac{\partial y_1}{\partial x_3} = 3,110 \cdot 10^{-6} + 0,086x_1 + 0,886x_2 + 0,911x_3 = 0 \end{cases} \quad (4.30)$$

в конце:

$$\begin{cases} \frac{\partial y_1}{\partial x_1} = 0,436 + 0,386x_2 + 0,411x_3 + 2,487x_1 = 0 \\ \frac{\partial y_1}{\partial x_2} = 0,186 + 0,386x_1 + 1,111x_3 + 0,787x_2 = 0 \\ \frac{\partial y_1}{\partial x_3} = 0,261 + 0,411x_1 + 1,111x_2 + 0,237x_3 = 0 \end{cases} \quad (4.31)$$

Решая данные системы уравнения, были определены основные величины оптимальных числовых значений, входящих в уравнение регрессии:

в начале:

$$\begin{aligned} x_1' &= 1,1 + 0,3 \cdot (-0,189) = 1,03 \text{ м} \\ x_2' &= 150 + 30 \cdot 0,037 = 150,1 \text{ м} \\ x_3' &= 1,5 + 1,0 \cdot 0,028 = 1,53 \text{ мм} \end{aligned} \quad (4.32)$$

в середине:

$$\begin{aligned} x_1' &= 1,1 + 0,3 \cdot (-0,423) = 1,07 \text{ м} \\ x_2' &= 150 + 30 \cdot (-0,04) = 148,8 \text{ м} \\ x_3' &= 1,5 + 1,0 \cdot 0,078 = 1,59 \text{ мм} \end{aligned} \quad (4.33)$$

в конце:

$$\begin{aligned} x_1' &= 1,1 + 0,3 \cdot (-0,201) = 1,04 \text{ м} \\ x_2' &= 150 + 30 \cdot (-0,177) = 144,7 \text{ м} \\ x_3' &= 1,5 + 1,0 \cdot 0,016 = 1,52 \text{ мм} \end{aligned} \quad (4.34)$$

Уравнения (4.26), (4.27), (4.28) в коническом виде представлены выражениями:

в начале:

$$Y - 5,449 = - 0,380 x_1^2 + 0,814 x_2^2 + 1,251 x_3^2 \quad (4.35)$$

в середине:

$$Y - 4,641 = - 0,233 x_1^2 + 0,594 x_2^2 + 0,750 x_3^2 \quad (4.36)$$

в конце:

$$Y - 4,979 = - 0,329 x_1^2 + 0,696 x_2^2 + 1,382 x_3^2 \quad (4.37)$$

При оптимальном значении Y в начале, середине и в конце капельных линий уравнение (4.26), (4.27), (4.28) в кодированном виде примет вид:

в начале:

$$Y_1 = 5,523 - 2,511 \cdot 10^{-2} x_2 + 4,779 \cdot 10^{-6} x_3 + 1,261 x_2 x_3 + 0,324 x_2^2 + 0,199 x_3^2; \quad (4.38)$$

в середине:

$$Y_1 = 4,761 - 0,136 x_2 + 3,110 \cdot 10^{-6} x_3 + 0,886 x_2 x_3 + 0,086 x_2^2 + 0,461 x_3^2; \quad (4.39)$$

в конце:

$$Y_1 = 5,048 + 0,186 x_2 + 0,261 x_3 + 1,111 x_2 x_3 + 0,399 x_2^2 + 0,124 x_3^2. \quad (4.40)$$

В данном случае полученные уравнения описывают эллиптические параболоиды. В вершинах параболоидов достигаются минимальные значения функций отклика. Следовательно, компромиссный оптимум, можно получить, лишь через анализ и построение дополнительной функции, которая равна сумме исходных функций:

$$Y = 15,310 + 1,336 x_1 + 0,036 x_2 + 0,261 x_3 + 0,411 x_1 x_2 + 0,786 x_1 x_3 + 3,266 x_2 x_3 + 2,987 x_1^2 + 0,787 x_2^2 + 0,762 x_3^2. \quad (4.41)$$

Нами в начале, в середине и в конце капельных линий на основании полученных уравнений (4.38, 4.39, 4.40) построены двумерные сечения поверхности откликов (прилож. 7 - 9).

Координаты компромиссного оптимума находится в точке:

$$x_1 = -0,230 \text{ (H = 1,05 м)}, x_2 = -0,057 \text{ (L = 148,62 м)}, x_3 = -0,013 \text{ (d = 1,55 мм)}.$$

Для получения значения критериев оптимизации, найденные численные значения факторов компромиссного оптимума подставим в уравнения регрессии (4.26), (4.27), (4.28). Тогда получим:

$$Q_H = 5,52 \text{ л/ч}; Q_{CP} = 5,18 \text{ л/ч}; Q_K = 5,32 \text{ л/ч}.$$

Значения критериев оптимизации несколько ниже найденных значений, и находятся в пределах отклика опыта.

5 РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ И ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ ЯБЛОНЕВОГО САДА ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ

5.1 Режим орошения и водопотребление яблоневого сада при капельном орошении

Влага и питание являются основными факторами для развития орошаемого земледелия в различных зонах Волгоградской области. Волгоградская область, где проводились исследования, относится к зоне недостаточного увлажнения. В связи с этим перед мелиоратором встает вопрос о применении, с эколого-экономической точки зрения, более современного способа полива. К такому способу полива относится капельное орошение. Кроме того, необходимо правильно соблюдать режим орошения, который должен соответствовать потребностям растений в воде по фазам роста и развития.

На основании проведенных исследований таких известных ученых как М.Н. Багров, М.С. Григоров, А.Н. Костяков, И.П. Кружилин и др. отмечают,

что поливная норма является главным показателем режима орошения. В каждом конкретном случае, при определении поливной нормы необходимо учитывать водно-физические свойства почв, особенности возделываемых сельскохозяйственных культур и способ полива [34, 60, 62, 88, 97, 98, 105].

В зависимости от режима орошения изменяется величина оросительной нормы. Оросительная норма в свою очередь балансирует дефицит суммарного водопотребления. Оно аккумулирует в основном расход воды на испарение почвы и транспирацию растений. Поэтому, за вегетационный период, зная суммарное водопотребление оросительную норму можно определить по формуле А.Н. Костякова [62]:

$$M = E - 10\mu P - (W_H - W_K) - K,$$

где M – оросительная норма, м³/га; E – суммарное водопотребление культуры, м³/га; μ – коэффициент использования осадков – для теплого периода 0,7-0,8, для холодного 0,2-0,4; P – количество полезных осадков за период вегетации, м³/га; W_H и W_K – запас почвенной влаги в корнеобитаемом слое почвы соответственно во время посева и в период уборки, м³/га; K – количество влаги, поступающей капиллярным путем, используемое растением за счет грунтовых вод, м³/га.

Следовательно, за вегетационный период растений расчет суммарного водопотребления (E) можно провести методом А.М. Алпатьева [6]:

$$E = K_{\delta} \Sigma d,$$

где E – суммарное водопотребление, мм; Σd – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха за вегетационный период культуры, мб; K_{δ} – биоклиматический коэффициент.

Для различных сельскохозяйственных культур величина биоклиматических коэффициентов устанавливается в зависимости от фазы развития растений. Для определённого интервала времени биоклиматический коэффициент определяется как отношения фактических расходов воды используемой растением к сумме дефицитов влажности воздуха за данный период времени [24, 147, 159, 167].

Продолжительность и количество вегетационных поливов растений соответственно вычисляется по формулам:

$$T = mS \frac{1000}{qn} ; n = \frac{M}{N} \text{ и } n = \frac{M - m_{\text{вл}}}{m} ;$$

где T – продолжительность полива, сут.; ; S – площадь расчетного поливного участка, га; m – поливная норма, м³/га; n – число капельниц, обслуживающих участок; N – количество капельных линий; q – расход капельниц, л/с; $m_{\text{вл}}$ – норма влагозарядкового полива, м³/га; M – оросительная норма, м³/га.

В условиях недостаточного увлажнения плодовые культуры для своего роста, развития и плодоношения в зависимости от почвенно-климатических и других условий используют большое количество воды. Так, плодоносящий сад за вегетационный период потребляет влаги в пределах от 3000 до 6000 м³ на 1 га. Поэтому стабильные урожаи можно получать, лишь при условии правильного соблюдения режима орошения.

Учитывая это, нами на опытно-полевом участке проводились исследования связанные с техникой и технологией полива яблоневого сада при капельном способе полива. На данном полевом участке использовали агротехнику яблоневого сада, рекомендованную для зоны Волгоградской области.

Исследования проводились в ООО «Липовские сады» Ольховского района Волгоградской области. Для проведения опытов взяты зимние сорта «Голден Делишес», «Корей», «Айдоред» и «Глостер», возраст яблоневого сада 5 лет. Все выше перечисленные зимние сорта яблони занимают в структуре сортового состава плодового сада приблизительно одинаковое положение.

При расчёте режима орошения необходимо учитывать, что по сравнению с другими культурами у плодовых деревьев развито более глубокое проникновение корневой системы. Отдельные корни растений перераспределяются в очень глубокие горизонты, несмотря на это, для установления оптимальных поливных норм плодовых культур необходимо определить, где располагается максимальное количество корней. Результаты исследований ряда авторов показывают, что основная масса корней у плодовых деревьев обычно располагается до 1 метра, поэтому при расчёте

поливной нормы активный слой почвы нами принят - один метр [14, 48, 117, 178].

При расчёте норм полива по бороздам поливная норма увеличивается до 15%. Это связано с тем, что при бороздковом поливе вода может испаряться и фильтроваться в выводных бороздах.

Анализируя полученные данные в ходе исследований можно отметить, что режим яблоневого сада как при капельном, так и при бороздковом поливе в различные по климатическим условиям годы исследований складывался по-разному. Поэтому в течение вегетационного периода для конкретной определенной фазы развития яблоневого сада нельзя рекомендовать определенное число поливов. В основном это зависит от применяемого способа орошения и гидротехнических условий года.

В наших опытах по годам исследований, поддерживая порог влажности 80 % НВ, нам пришлось соответственно провести в 2010 - 8 и 26, в 2011 - 6 и 21, в 2012 - 7...23 поливы по контрольному (по бороздам) и капельному орошению. Увеличение количества поливов при капельном орошении в основном объясняется техникой полива и применяемыми нормами полива (табл. 5.1).

Таблица 5.1 - Режим орошения яблоневого сада при капельном орошении за годы проведения исследований

Год	Нижний порог влажности почвы, % НВ	Количество поливов, шт.	Поливная норма, м ³ /га	Оросительная норма, м ³ /га
2010	Полив по бороздам, 80 (контроль)	8	780	6240
	Капельное орошение, 70	19	220	4180
	Капельное орошение, 80	26	170	4420
	Капельное орошение, 90	39	120	4680
2011	Полив по бороздам, 80 (контроль)	6	780	4680
	Капельное орошение, 70	15	220	3300
	Капельное орошение, 80	21	170	3570
	Капельное орошение, 90	31	120	3720

2012	Полив по бороздам, 80 (контроль)	7	780	5320
	Капельное орошение, 70	16	220	3520
	Капельное орошение, 80	23	170	3910
	Капельное орошение, 90	35	120	4200

По ходу исследований в зависимости от варианта опыта проведение поливов планировались не раньше, чем первая декада мая. Это в основном зависит от различных агротехнических мероприятий (обработка почвы, опрыскивание и т.д.), которые необходимо проводить в саду. Последние поливы проводились не позднее, чем в конце августа. Это было необходимо для предупреждения затяжки роста и развития яблоневого сада и подготовки растений к зиме.

На основании проведенных опытов мы видим, что в зависимости от вариантов опыта по-разному изменялась оросительная норма. Так, в варианте с бороздковым поливом оросительная норма при влажности почвы 80 % НВ в зависимости от года исследований изменяется в пределах 4680...6240 м³/га. При капельном орошении с таким же пределом влажности оросительная норма изменяется от 3570 до 4420 м³/га, что меньше на 1110...1820 м³/га, чем при бороздковом поливе.

В целом, сравнивая оросительные нормы при капельном орошении и бороздковом поливе, следует отметить, что применение капельного полива позволяет сэкономить оросительную влагу в среднем на 30...35 %. Данная величина в условиях возрастающего дефицита пресных вод, к которым относится и Волгоградская область, является главным.

Для роста и развития растений необходимы свет, тепло, воздух и питательные вещества, вода. Растения содержат более 70...80 % воды и в связи с этим все физиологические и биохимические процессы протекают в их клетках в достаточно обводненной среде. Нехватка воды в растениях снижает и даже приостанавливает физиологические процессы. В результате этого снижается урожайность растений, а иногда приводит к гибели. По данным М.Н. Багрова, Б.Б. Шумакова И.П. Кружилина, М.С. Григорова,

А.С. Овчинникова, А.Д. Ахмедова и других можно отметить, что в процессе всего вегетационного периода растения непрерывно потребляют и расходуют большое количество воды, которое используется для создания органической массы [10, 21, 33, 59, 87, 119, 120, 128, 134, 151, 166, 171].

Как отмечали выше, главным элементом характеризующим режим орошения растений является суммарное водопотребление. Суммарное водопотребление, в зависимости от почвенно-климатических условий и сортов растений, имеет свои особенности. Поэтому урожайность нельзя рассматривать в отрыве от воды. Для получения стабильных урожаев в зонах недостаточного увлажнения потребность растений в воде значительно превышает имеющиеся ресурсы. Недостающую влагу для лучшего развития растения восполняют поливами и за счёт выпадающих осадков за весь вегетационный период времени [59, 147, 161].

При расчете суммарного водопотребления яблони учитывались осадки интенсивностью более 5 мм. Анализируя данные необходимо отметить, что при применении полива по бороздам суммарное водопотребление яблони за вегетацию изменяется от 7387 до 8102 м³/га. За три года исследований суммарное водопотребление яблоневого сада при бороздковом поливе в среднем составило 7642 м³/га (табл. 5.2). При этом наибольшее значение суммарного водопотребления достигается в сухие годы.

Таблица 5.2 – Основные элементы суммарного водопотребления яблоневого сада по годам исследований, м³/га

Элементы суммарного водопотребления	Годы	Варианты опыта			
		Полив по бороздам	Капельное орошение		
			80 % НВ	70 % НВ	80 % НВ
Оросительная норма, м ³ /га	2010	6240	4180	3910	4200
	2011	4680	3300	3570	3720
	2012	5320	3520	4420	4680
	средняя	5413	3667	3967	4200

Осадки вегетационного периода, м ³ /га	2010	1257	1257	1257	1257
	2011	2231	2231	2231	2231
	2012	1558	1558	1558	1558
	средняя	1682	1682	1682	1682
Почвенная влага, использованная за вегетацию, м ³ /га	2010	605	633	525	509
	2011	476	473	454	482
	2012	559	585	537	486
	средняя	547	563	505	492
Суммарное водопотребление, м ³ /га	2010	7437	6070	6214	6446
	2011	7387	6004	6255	6433
	2012	8102	5663	5993	6244
	средняя	7642	5912	6154	6378

В течение трёх летних исследований распределение осадков вегетационного периода яблоневого сада происходило крайне неравномерно. Так, в первый год сумма осадков интенсивностью более 5 мм за вегетационный период растений составила 155,8 мм, а во второй и третий год соответственно – 223,1 и 125,7 мм. В связи с этим происходило увеличение оросительной нормы, в 2011 г. она составила наименьшее значение - 4680 м³/га, а в 2010 г. – наибольшее 6240 м³/га.

При капельном орошении с повышением влажности почвы в пределах от 70 до 90 % НВ, увеличивается объем легко доступной влаги в почве. В результате этого повышается суммарное водопотребление яблоневого сада. В зависимости от варианта опыта среднее значение его составляет соответственно 5912, 6154 и 6374 м³/га.

При предполивной одинаковой влажности почвы (80 % НВ), сравнивая капельное орошение с бороздковым, можно отметить, что влага более эффективно используется при капельном способе полива. В среднем суммарное водопотребление при бороздковом поливе составило 7642 м³/га, а при капельном поливе - 6154 м³/га, что на 1488 м³/га меньше, чем по сравнению с бороздковым поливом. Отсюда следует, что при капельном орошении экономия воды приблизительно составляет около 30 % на гектар.

Для наглядного представления о суммарном водопотреблении необходимо проанализировать его структуру. Наиболее конкретное влияние

на структуру суммарного водопотребления оказывают применяемые способы полива, режим орошения и сумма осадков вегетационного периода. Анализируя данные табл. 5.3 и рис. 5.1 мы видим, что доля оросительной воды при бороздковом и капельном поливе в зависимости от года исследований изменяется в пределах от 63,3 до 77,0 % и от 56,7 до 71,0 %, что в среднем составляет соответственно 70,8 и 64,4 % .

В целом, за весь вегетационный период использование весенних запасов влаги в почве в структуре суммарного водопотребления имеет самую низкую долю участия. При капельном орошении величина весенних запасов влаги в среднем составила 8,2 %, а при бороздковом поливе всего 7,2 %, что на 1,0 % меньше, чем при капельном орошении.

Подводя итоги можно отметить, что капельное орошение более продуктивно использует влагу по сравнению с бороздковым поливом.

При оценке режима орошения различных способов полива эффективность вычисляется с получаемым высоким урожаем сельскохозяйственных культур и экономным расходом воды на создание единицы урожая. В наших исследованиях в зависимости от применяемого поливного режима почвы и погодных условий величина суммарного водопотребления увеличивается с улучшением влагообеспеченности, а коэффициент водопотребления наоборот снижается. Например, при бороздковом поливе в зависимости от различных сортов яблони средняя величина коэффициента водопотребления за годы исследования в среднем изменяется в пределах от 314,5 до 431,8 м³/т.

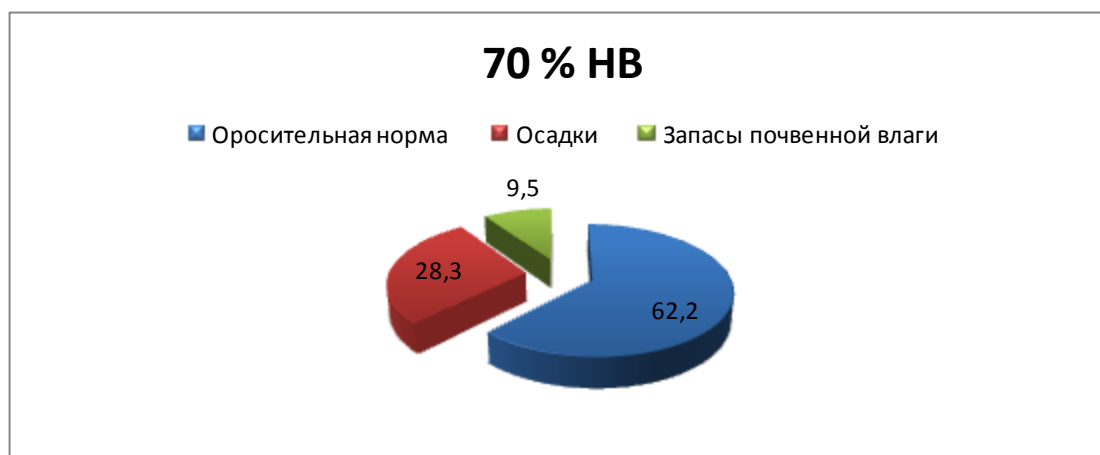
Таблица 5.3 – Основные структуры суммарного водопотребления яблоневого сада по годам исследований, %

Элементы суммарного водопотребления	Года	Варианты опыта			
		Полив по бороздам	Капельное орошение		
			80 % НВ	70 % НВ	80 % НВ

Оросительная норма, м ³ /га	2010	77,0	69,0	71,0	72,5
	2011	63,3	55,0	56,7	58,2
	2012	71,5	62,7	65,5	67,1
	средняя	70,8	62,2	64,4	65,9
Осадки вегетационного периода, м ³ /га	2010	15,5	20,6	20,3	19,6
	2011	30,2	37,2	36,0	34,4
	2012	20,9	27,1	25,8	25,1
	средняя	22,0	28,3	27,4	26,4
Почвенная влага, использованная за вегетацию, м ³ /га	2010	7,5	10,4	8,7	7,9
	2011	6,4	7,9	7,3	7,4
	2012	7,5	10,2	8,5	7,8
	средняя	7,2	9,5	8,2	7,7

При капельном орошении наибольшее значение коэффициента водопотребления было получено с нижним порогом влажности почвы до 70 % НВ. За три года исследований в зависимости от сорта яблони коэффициент водопотребления в среднем составил 237,4 м³/т (для сорта «Голден Делишес»), 244,3 м³/т (для сорта «Корей»), 288,4 м³/т (для сорта «Айдоред») и 317,8 м³/т (для сорта «Глостер»).

Сравнивая применение капельного орошения с поливом по бороздам при одинаковой влагообеспеченности, необходимо отметить, что капельное орошение способствует снижению коэффициента водопотребления по сравнению с поливом по бороздам на 25,8...31,5 %.



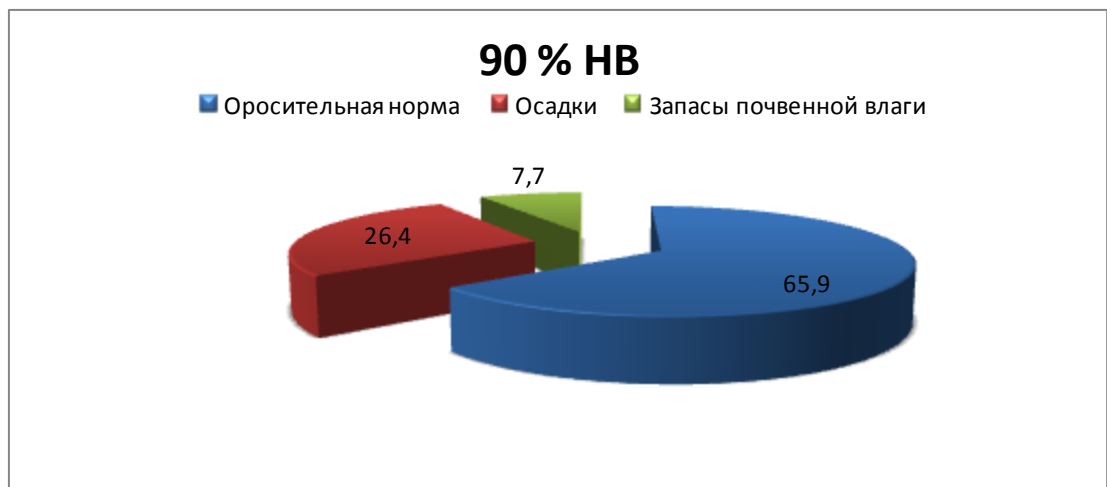
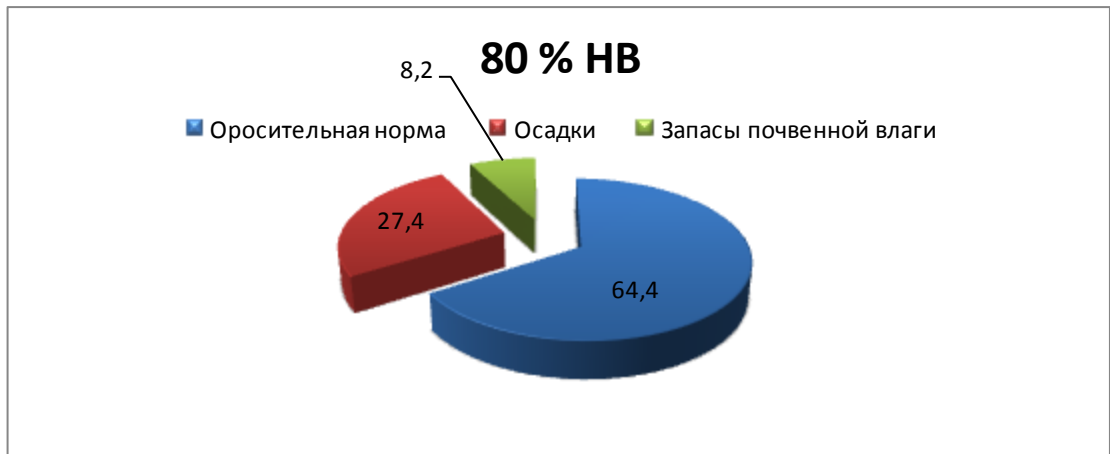


Рисунок 5.1 – Средние показатели структуры суммарного водопотребления по годам исследований, %

При капельном орошении самый низкий коэффициент водопотребления был получен при влажности почвы 80 % НВ и среднем составил для сорта «Голден Делишес» -197,2 м³/т, а для сорта «Корей» - 209,3 м³/т, для сорта «Айдоред» - 234,0 м³/т, а для сорта «Глостер» - 258,8 м³/т (табл. 5.4).

Таблица 5.4 – Коэффициент водопотребления яблони по вариантам за годы исследований

Варианты	Годы исследований	Суммарное водопотребление, м ³ /га	Урожайность, т/га	Коэффициент водопотребления, м ³ /т	Оросительная норма, м ³ /га	Затраты оросительной воды, м ³ /т
1	2	3	4	5	6	7
Голден Делишес						
Полив по бороздам,	2010	8102	22,9	353,8	6240	272,5
	2011	7387	26,1	283,0	4680	179,3

80 % НВ	2012	7437	23,8	312,5	5320	223,5
	средний	7642	24,3	314,5	5413	227,8
Капельное орошение, 70 % НВ	2010	6070	23,7	256,1	4180	176,4
	2011	6004	26,8	224,0	3300	123,1
	2012	5663	24,1	234,9	3520	146,0
	средний	5912	24,9	237,4	3667	147,3
Капельное орошение, 80 % НВ	2010	6214	28,9	215,0	4420	153,0
	2011	6255	35,0	178,7	3570	102,0
	2012	5993	29,7	201,8	3910	131,6
	средний	6154	31,2	197,2	3967	127,1
Капельное орошение, 90 % НВ	2010	6446	27,6	233,6	4680	169,6
	2011	6433	34,3	187,6	3720	108,5
	2012	6244	28,5	219,0	4200	147,4
	средний	6378	30,1	204,5	4200	139,8
Корей						
Полив по бороздам, 80 % НВ	2010	8102	22,2	321,9	6240	281,1
	2011	7387	25,6	288,6	4680	182,8
	2012	7437	23,1	365,0	5320	230,3
	Средний	7642	23,6	323,8	5413	229,4
Капельное орошение, 70 % НВ	2010	6070	22,6	268,7	4180	185,0
	2011	6004	26,1	230,0	3300	126,4
	2012	5663	23,9	236,9	3520	147,3
	средний	5912	24,2	244,3	3667	151,5
Капельное орошение, 80 % НВ	2010	6214	27,4	226,8	4420	161,3
	2011	6255	32,7	191,3	3570	109,2
	2012	5993	28,2	212,5	3910	138,7
	средний	6154	29,4	209,3	3967	134,9
Капельное орошение, 90 % НВ	2010	6446	26,1	247,0	4680	179,3
	2011	6244	30,6	210,2	3720	121,6
	2012	6433	26,9	232,1	4200	156,1
	средний	6378	27,9	220,6	4200	150,5
1	2	3	4	5	6	7
Айдоред						
Полив по бороздам, 80 % НВ	2010	8102	17,2	471,0	6240	362,8
	2011	7387	22,1	334,3	4680	211,8
	2012	7437	18,5	402,0	5320	287,6
	средний	7642	19,3	396,0	5413	280,5
Капельное орошение, 70 % НВ	2010	6070	18,4	330,0	4180	227,2
	2011	6004	23,3	257,7	3300	141,6
	2012	5663	19,9	284,6	3520	176,9
	средний	5912	20,5	288,4	3667	178,9
Капельное орошение, 80 % НВ	2010	6214	24,8	250,6	4420	178,2
	2011	6255	28,4	220,2	3570	125,7
	2012	5993	25,6	234,1	3910	152,7
	средний	6154	26,3	233,9	3967	150,8
Капельное орошение, 90 % НВ	2010	6446	23,3	276,7	4680	200,9
	2011	6433	26,4	243,7	3720	140,9
	2012	6244	24,5	254,9	4200	171,4
	средний	6378	24,7	249,1	4200	169,8
Глостер						
Полив по бороздам,	2010	8102	16,1	503,2	6240	387,6
	2011	7387	19,4	380,8	4680	241,2

80 % НВ	2012	7437	17,5	425,0	5320	304,0
	средний	7642	17,7	431,8	5413	305,8
Капельное орошение, 70 % НВ	2010	6070	17,4	348,9	4180	240,2
	2011	6004	20,0	300,2	3300	165,0
	2012	5663	18,3	309,5	3520	192,3
	средний	5912	18,6	317,8	3667	197,2
Капельное орошение, 80 % НВ	2010	6214	22,5	276,2	4420	196,4
	2011	6255	25,8	242,4	3570	138,4
	2012	5993	23,1	259,4	3910	169,3
	средний	6154	23,8	258,8	3967	166,7
Капельное орошение, 90 % НВ	2010	6446	21,2	304,0	4680	220,8
	2011	6433	24,1	267,0	3720	154,4
	2012	6244	22,8	273,9	4200	184,2
	средний	6378	22,7	273,3	4200	185,4

В ходе исследований нами также была определена эффективность затрат поливной воды на создание единицы продукции при капельном орошении и поливе по бороздам. Как показывают полученные данные, эти показатели в основном зависят от разных факторов, в частности от возраста яблоневого сада, выбранного способа и режима орошения, а так же других причин.

Анализируя полученные данные табл. 5.4 необходимо отметить, что для возделывания в расчете на одну тонну яблони при капельном орошении с нижним порогом влажности почвы 70, 80 и 90 % НВ расход оросительной воды изменяется в среднем от 127,1 до 197,2 м³/т. При бороздковом поливе в среднем он составил 227,8...305,8 м³/т в зависимости от года исследований и сорта яблони.

Сравнивая капельное орошение с бороздковым поливом при одинаковом предполивном пороге влажности почвы можно отметить, что затраты оросительной воды на 1 т яблони в среднем при контрольном варианте (полив по бороздам) на 100,1...139,1 м³/т больше, чем при капельном орошении.

По результатам исследований получены графические зависимости урожайности яблоневого сада (У) от суммарного водопотребления, оросительной нормы, коэффициента водопотребления и затрат оросительной воды. Уравнения регрессии полученных зависимостей имеют вид (рис. 5.2 - 5.5):

$$Y = 0,007x - 17,53; R^2=0,903;$$

$$Y = - 0,073x + 44,35; R^2=0,884;$$

$$Y = - 0,005x + 49,18; R^2=0,936;$$

$$Y = - 0,114x + 44,01; R^2=0,901.$$

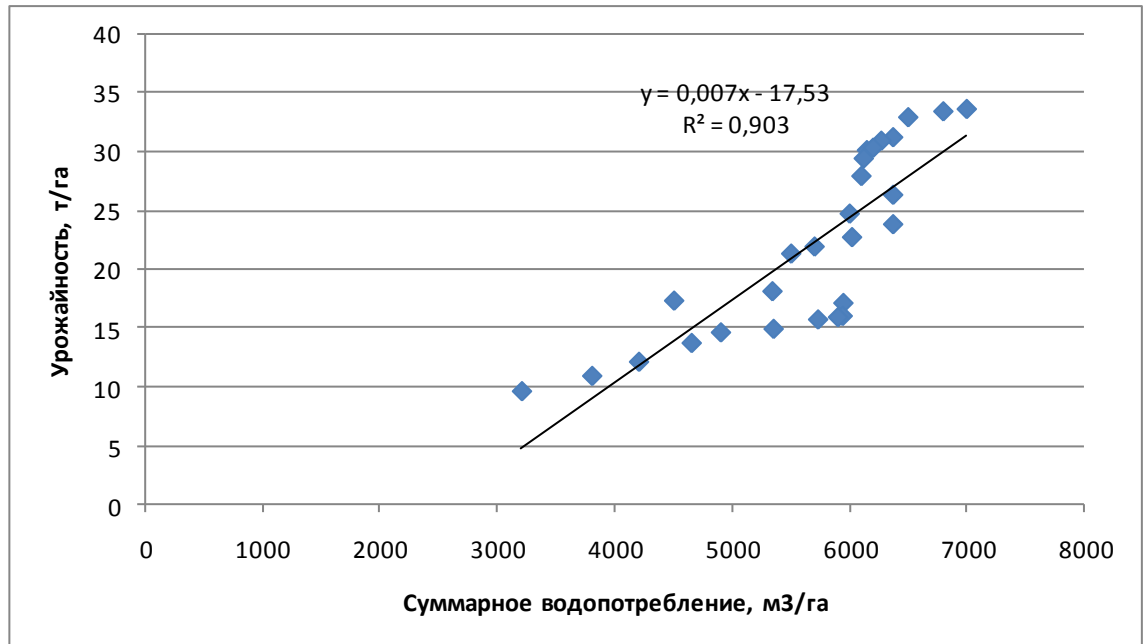


Рисунок 5.2 – График зависимости урожайности яблоневого сада от суммарного водопотребления

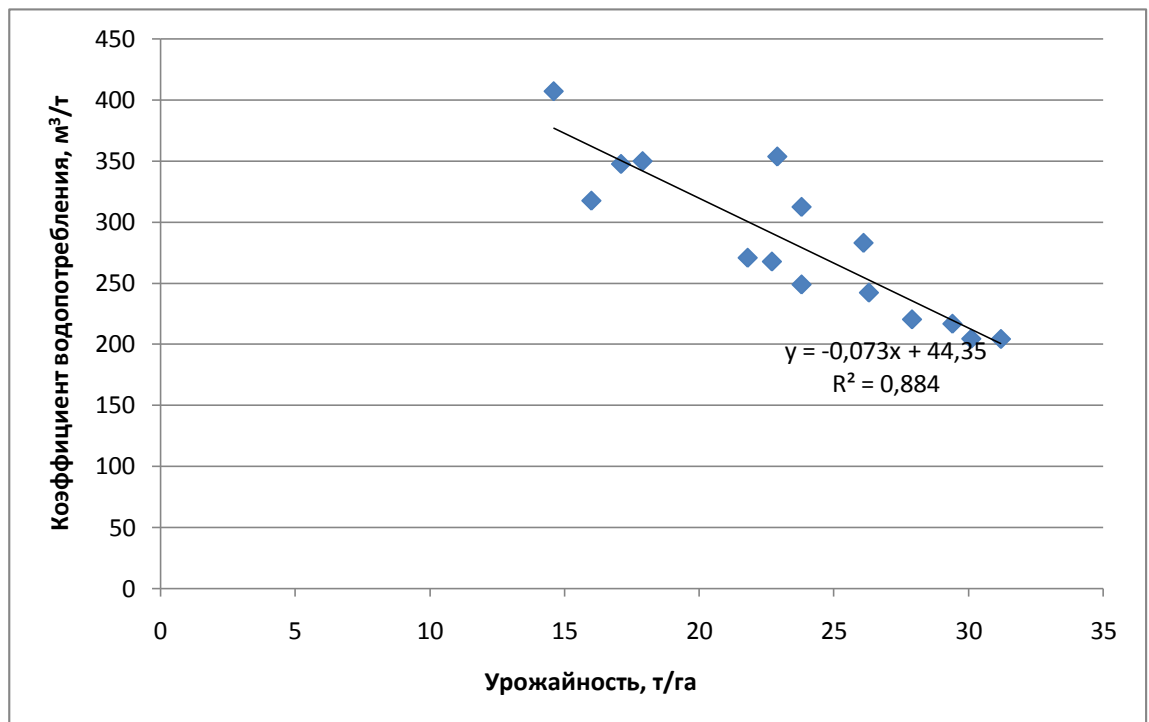


Рисунок 5.3 – График зависимости урожайности

яблоневого сада от коэффициента водопотребления

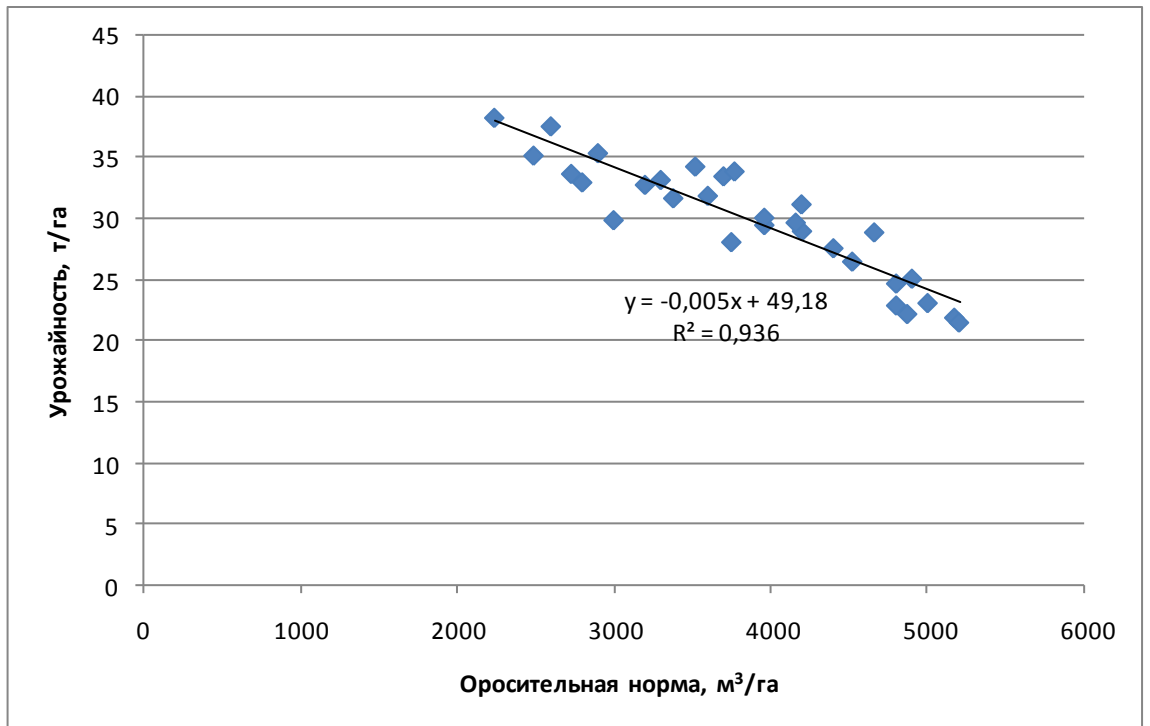


Рисунок 5.4 – График зависимости урожайности яблоневого сада от оросительной нормы

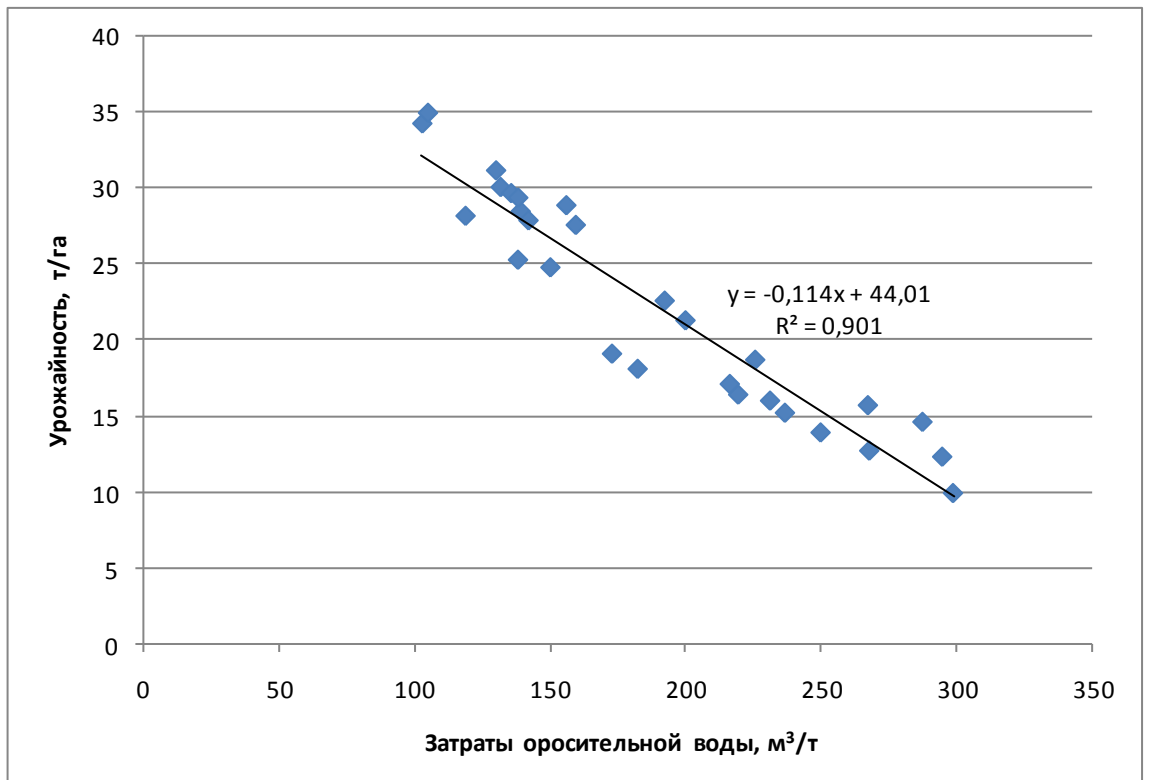


Рисунок 5.5 – График зависимости урожайности

яблоневого сада от затрат оросительной воды

Из вышеперечисленных уравнений видно, что корреляционная связь между ними является достаточно сильной, поскольку теоретические граничные значения значительно меньше, чем фактические значения коэффициентов корреляции, которые стремятся к единице, то есть:

$$R_{св} = 0,903 > R_{0,5} = 0,7;$$

$$R_{кв} = 0,884 > R_{0,5} = 0,7;$$

$$R_{он} = 0,936 > R_{0,5} = 0,7;$$

$$R_{зоб} = 0,901 > R_{0,5} = 0,7.$$

Подводя итоги, мы приходим к выводу, что при капельном орошении с предполивным порогом влажности почвы на уровне 80 % НВ можно получить высокий урожай яблок при низком коэффициенте водопотребления. Этот вариант считается оптимальным при минимальной затрате оросительной воды на создание единицы продукции с поливной нормой 170 м³/га в данных почвенно-климатических условиях Волгоградской области.

5.2 Влияние водного режима почвы на рост и развитие яблоневых культур при капельном орошении

В ходе проведённых исследований в яблоневом саду можно отметить, что рост и развитие растений в основном зависят от наличия влаги в почве. Соблюдение данного положения по вариантам опыта благоприятно действует на рост и развитие однолетних побегов, утолщению ствола и улучшению облиственности растений. В начале 2010 года яблоневый сад развивался равноценно, а в конце года прирост побегов по вариантам опыта отличался на 10...12 %. В дальнейшем эта разница возросла ещё больше.

На основании проведённых исследований можно отметить, что на различных сортах яблони средние приросты побегов за годы исследований в среднем изменялись по-разному и эти данные приведены в табл. 5.5.

Из полученных данных за годы исследований наибольшие средние

приросты побегов наблюдались при капельном орошении, где поддерживались нижние пороги влажности почвы на уровне 80 % НВ. Например, у различных сортов средняя длина приростов яблони в 2010, 2011 и 2012 гг. соответственно составила 0,33...0,42; 0,31...0,40 и 0,25...0,30 м.

Со снижением влажности до 70 % НВ в среднем на 0,08...0,17 м уменьшался прирост побегов. Повышение влажности до 90 % НВ сокращает рост побегов на среднерослых подвоях деревьев в среднем на 0,02...0,04 м (рис. 5.6).

Сравнивая прирост побегов при бороздковым и капельном орошении с предполивным порогом влажности почвы 80 % НВ, следует отметить, что деревья имели слабые приросты при бороздковом поливе, т.е. разница между этими вариантами изменялась в пределах от 0,11 до 0,18 м.

В наших опытах было выявлено, что рост побегов растений состоит из трех основных фаз:

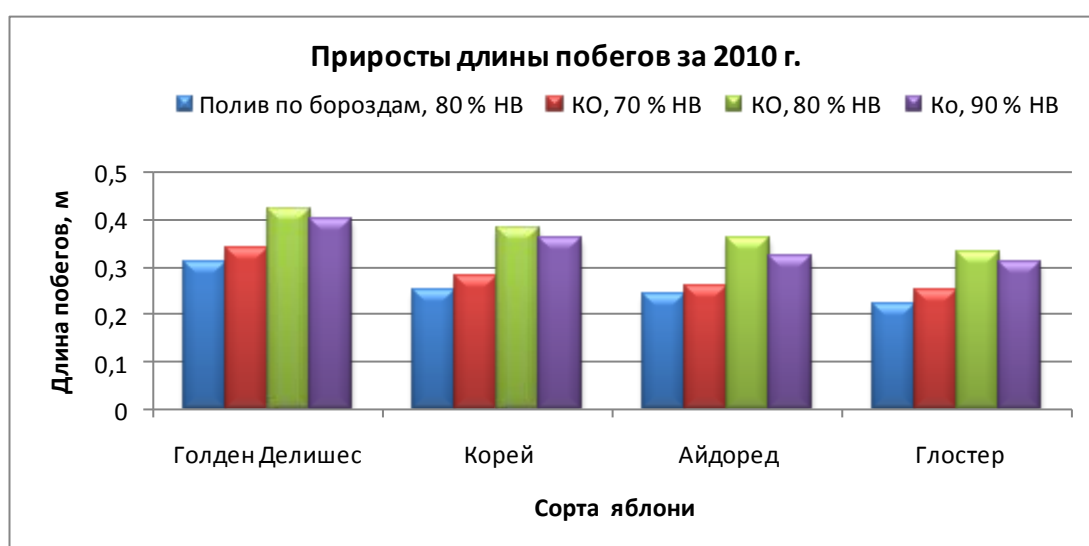
- 1) начальная фаза;
- 2) усиленная фаза;
- 3) фаза затухающего роста растений.

Таблица 5.5 – Приросты длины побегов яблони в среднем по вариантам опыта за 2010-2012 гг.

Варианты	Длина побегов, м			
	Голден Делишес	Корей	Айдоред	Глостер
2010 г.				
Полив по бороздам, 80 % НВ	0,31	0,25	0,24	0,22
Капельное орошение, 70 % НВ	0,34	0,28	0,26	0,25
Капельное орошение, 80 % НВ	0,42	0,38	0,36	0,33
Капельное орошение, 90 % НВ	0,40	0,36	0,32	0,31
2011 г.				

Полив по бороздам, 80 % НВ	0,22	0,20	0,19	0,17
Капельное орошение, 70 % НВ	0,23	0,22	0,21	0,19
Капельное орошение, 80 % НВ	0,40	0,35	0,33	0,31
Капельное орошение, 90 % НВ	0,30	0,29	0,27	0,25
2012 г.				
Полив по бороздам, 80 % НВ	0,16	0,16	0,15	0,14
Капельное орошение, 70 % НВ	0,19	0,17	0,17	0,15
Капельное орошение, 80 % НВ	0,30	0,28	0,27	0,25
Капельное орошение, 90 % НВ	0,23	0,22	0,21	0,20

За годы исследований по всем вариантам опыта начало роста, и распускание почек проходило одновременно. Сравнивая капельное орошение с бороздковым поливом на варианте с одинаковой предполивной влажностью почвы необходимо отметить, что при капельном орошении прирост побегов увеличивается в среднем на 18...23 %. Это объясняется тем, что капельный полив является высокоэффективным способом орошения, использование которого даёт возможность значительного повышения прироста побегов на среднерослых подвоях деревьев.



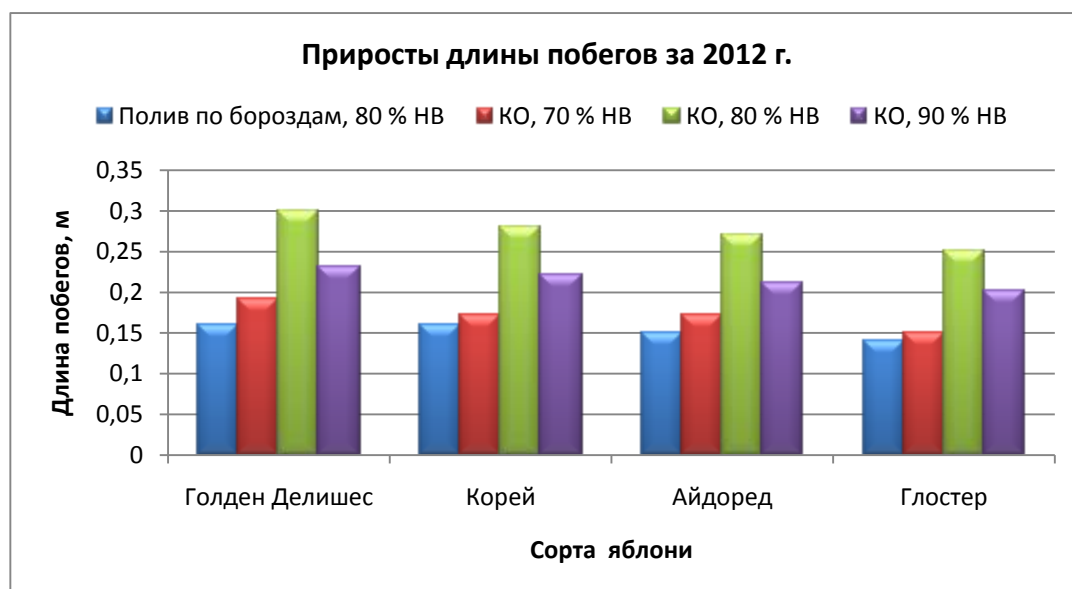
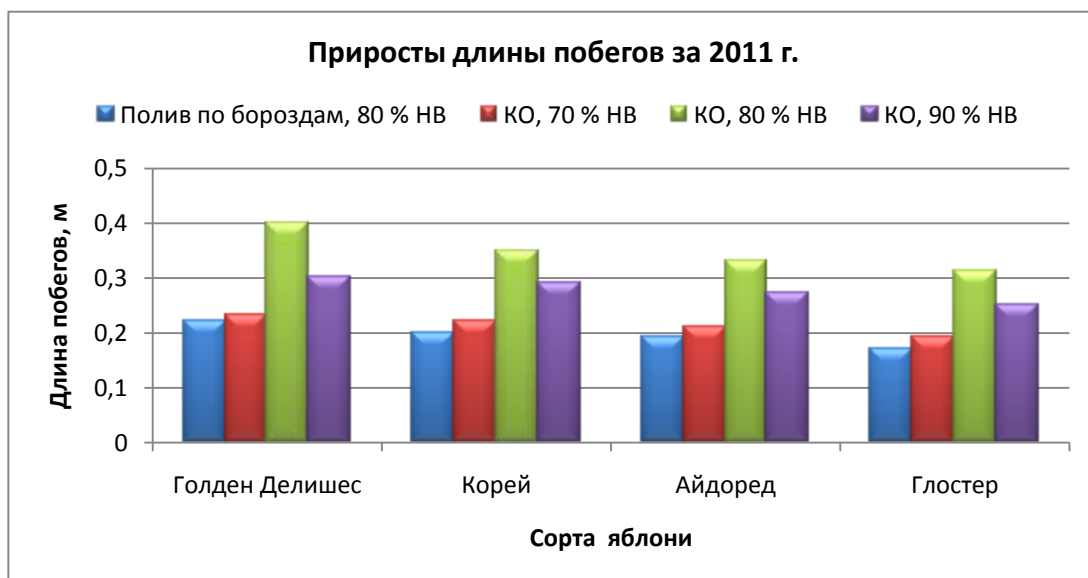


Рисунок 5.6 – Динамика прироста длины побегов яблони в зависимости от варианта опыта в среднем за 2010 – 2012 гг.

По результатам анализа полученных данных можно отметить, что для различных вариантов изменение длины прироста побегов за 2012 г. приведены в табл. 5.6. Из полученных данных видно, что к 15 мая средняя длина побегов по всем вариантам опыта и сортов приблизительно одинакова.

Таблица 5.6 – Изменение прироста побегов яблоневого сада в среднем за вегетационный период в 2012 г.

Варианты	Дата измерения				
	15.05	01.06	15.06	01.07	15.07
Голден Делишес					

Полив по бороздам, 80 % НВ	0,11	0,13	0,14	0,15	-
Капельное орошение, 70 % НВ	0,11	0,13	0,15	0,16	-
Капельное орошение, 80 % НВ	0,13	0,19	0,23	0,27	0,29
Капельное орошение, 90 % НВ	0,12	0,16	0,17	0,20	0,22
Корей					
Полив по бороздам, 80 % НВ	0,11	0,13	0,14	0,15	-
Капельное орошение, 70 % НВ	0,12	0,14	0,15	0,16	-
Капельное орошение, 80 % НВ	0,13	0,18	0,22	0,25	0,27
Капельное орошение, 90 % НВ	0,12	0,15	0,17	0,20	0,20
Айдоред					
Полив по бороздам, 80 % НВ	0,11	0,12	0,13	0,14	-
Капельное орошение, 70 % НВ	0,11	0,13	0,14	0,15	-
Капельное орошение, 80 % НВ	0,13	0,17	0,21	0,24	0,26
Капельное орошение, 90 % НВ	0,12	0,15	0,17	0,19	0,20
Глостер					
Полив по бороздам, 80 % НВ	0,11	0,11	0,12	0,13	-
Капельное орошение, 70 % НВ	0,11	0,12	0,12	0,13	-
Капельное орошение, 80 % НВ	0,12	0,16	0,19	0,22	0,24
Капельное орошение, 90 % НВ	0,12	0,14	0,16	0,17	0,19

В наших опытах, установлена прямая зависимость ростовых процессов растений от наличия доступной влаги в почве. Сравнивая между собой варианты проведённых трехлетних исследований выявлено, что оптимальным является вариант с нижнем порогом влажности не ниже 80 % НВ. В сухие и засушливые годы снижение или увеличение уровня влажности почвы ниже или выше, чем 80 % НВ приводит к угнетению ростовых процессов. Следовательно, с уменьшением или повышением водообеспеченности деревьев в целом, сохранялась тенденция уменьшения приростов побегов.

В целом, в ходе исследований сравнение вариантов проводилось согласно схеме опыта. Дисперсионный анализ прироста побегов деревьев

выполнен по методике Б.А. Доспехова [66]. Сравнивались фактор А (режим орошения) и фактор В (влияние сорта). Точность опыта за годы исследований составила 5,46...7,85 %. При этом наименьшая существенная разность (НСР) изменялась от 0,13 до 0,41 м, то есть между вариантами опыта соблюдается НСР на 5 %-ном уровне значимости.

Анализируя полученные данные можно отметить, что на рост штамба в толщину деревьев яблоневого сада большое влияние оказало изменение влажности почв. Установлено, что периодическое уменьшение запасов влаги в активном слое почвы почти до уровня ниже, чем влажность завядания приводит к замедлению утолщения штаба деревьев.

В ходе исследований было установлено, что когда рост побегов в начале вегетации менее интенсивен, тогда штаб деревьев утолщался более быстро. Так в варианте с бороздковым поливом прирост диаметра штамба деревьев у различных сортов изменялся в пределах 0,10...0,14 м, а при капельном орошении с нижним порогом влажности почвы не ниже 80 % НВ - 0,17...0,22 м, что на 17 - 21 % больше (табл. 5.7).

Таким образом, уменьшение влажности почвы при капельном поливе до 70 % НВ сокращает прирост диаметра штамба деревьев в среднем на 10...15 %. Отсюда следует, что при капельном орошении данный режим влажности (70 % НВ) отрицательно влияет на развитие прироста побегов деревьев.

Таблица 5.7 – Приросты диаметра штамба деревьев в среднем за 2010...2012 гг.

Нижний порог влажности почвы	Прирост диаметра штамба, м.			
	Айдоред	Голден Де-лишес	Корей	Глостер
Полив по бороздам (контроль) 80% НВ	0,14	0,18	0,10	0,13
70 % НВ	0,15	0,19	0,13	0,14
80% НВ	0,17	0,21	0,22	0,18
90% НВ	0,16	0,17	0,12	0,15

Кроме того установлено, что урожайность плодов яблони зависит в основном от гидротермических показателей, складывающихся при закладке и формировании урожая и от условий роста и плодоношения в предшествующие годы (рис. 5.7).



Рисунок 5.7 – Плодоносящий яблоневый сад в ООО «Липовские сады»

Можно отметить, что поливы любых сельскохозяйственных культур, в том числе и яблоневого сада не дают полного эффекта, если не соблюдать поливной режим, в частности не обеспечивать высокий уровень агротехники. Поддерживая данное положение нами в течение трех лет (2010-2012 гг.) проведены исследования по определению наилучшего способа полива яблоневого сада в условиях Волгоградской области. При этом по каждому модельному дереву учитывался урожай плодов яблони, после чего по вариантам опыта уточнялся средний урожай. При учете урожая масса падалицы, которая со-

ставляла всего 5...7 % , суммировалась с массой снятого урожая этих деревьев.

Сравнивая варианты капельного орошения между собой можно отметить, что деревья сорта «Голден Делишес» в 2011 г. показали наибольшую урожайность - 83,1 кг, с 1 дерева. В зависимости от погодных условий за годы исследований 2011 г. был более урожайным. При бороздковом поливе в этот же год деревья сорта «Голден Делишес» дали максимальную урожайность – 56,2 кг с 1 дерева (табл. 5.8 и рис. 5.8). Сравнивая капельное орошение с бороздковым поливом, мы видим, что применение капельного орошения в зависимости от сорта яблони позволяет увеличить урожайность в среднем на 8,3 - 28,6 кг с 1 дерева.

Повышение (до 90 % НВ) и снижение (до 70 % НВ) влажности почвы в среднем при капельном орошении снижает урожайность яблони соответственно на 10...13 и 18...23 %.

Анализируя данные между собой по всем сортам деревьев можно заметить, что наилучшие показатели при капельном орошении были на вариантах, где нижний порог влажности поддерживался на уровне 80 % НВ.

Судя по результатам полученных данных, наилучшим способом полива яблоневого сада является капельное орошение. Применение данного способа полива дает значительное увеличение урожайности. В этом случае оптимальным вариантом является варианты с предполивной влажностью почвы на уровне 80 % НВ.

Таблица 5.8 – Фактическая урожайность яблони по вариантам опыта за годы исследований, кг с 1 дерева

Годы	Вариант опыта	Сорта яблони			
		Голден Делишес	Корей	Айдоред	Глостер
2010	Полив по бороздам 80 % НВ	51,7	48,9	43,2	36,8
	КО, 70 % НВ	59,3	58,0	44,6	38,9
	КО, 80 % НВ	73,1	70,5	50,4	45,1
	КО, 90 % НВ	70,5	67,4	51,3	42,7
2011	Полив по бороздам 80 % НВ	56,2	53,7	49,3	44,5

	КО, 70 % НВ	63,3	62,1	53,4	47,2
	КО, 80 % НВ	83,1	79,6	68,8	60,7
	КО, 90 % НВ	80,8	74,2	60,5	58,3
2012	Полив по бороздам 80 % НВ	49,5	46,7	41,1	34,9
	КО, 70 % НВ	57,1	55,8	42,2	37,4
	КО, 80 % НВ	71,3	68,4	48,6	43,7
	КО, 90 % НВ	68,4	65,6	49,5	40,6

Результаты дисперсионных анализов по урожайности различных сортов яблони представлены в прилож. 10 -12. Анализируя данные приложения можно подчеркнуть, что в зависимости от года исследований и вариантов опыта НСР изменяется следующим образом:

первый год (2010 г.) исследований: НСР (05)= 1,50...3,01 кг/дер.;

второй год (2011 г.) исследований: НСР (05)= 0,93...1,86 кг/дер.;

третий год (2012 г.) исследований: НСР (05)= 1,39...2,78 кг/дер.

В настоящее время исследования по распространению и развитию корневой системы яблони при капельном орошении изучено слабо. В связи со слабым изучением корневой системы яблони, при капельном и бороздковом поливе, нами после 3-х лет исследований для выявления характера формирования корневой системы были проведены раскопки $\frac{1}{4}$ части круга радиусом 2 м на глубину 1,5 м, т.е. применяли «траншейный» метод исследования. Для исследований были выбраны деревья сорта Голден Делишес и Глостер.

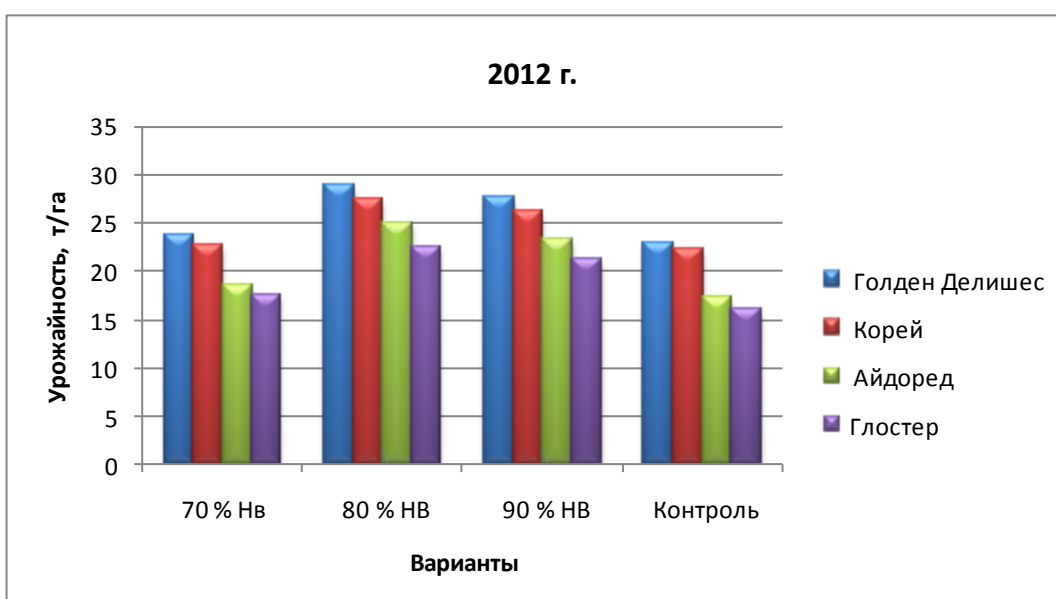
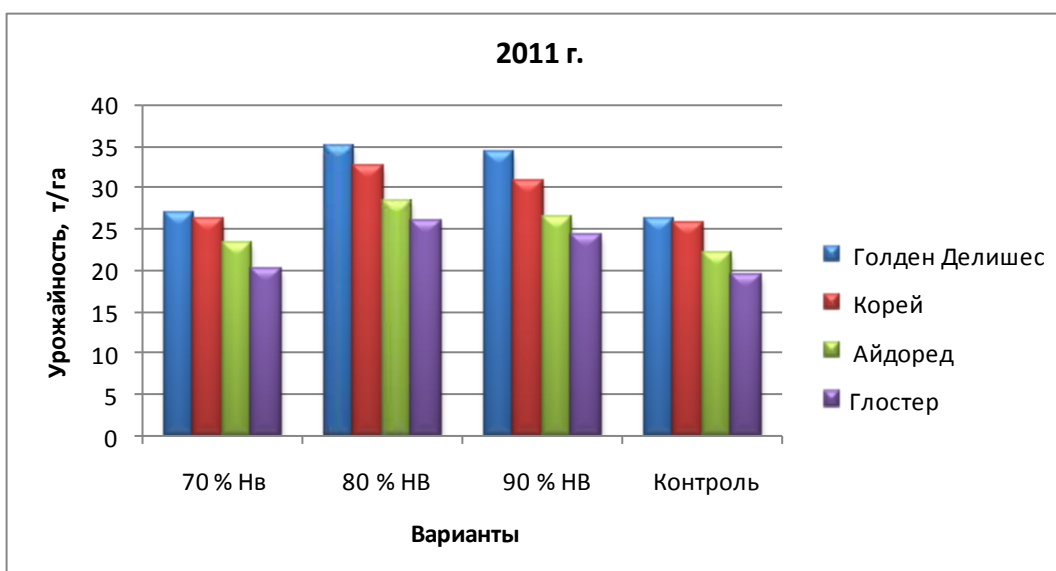
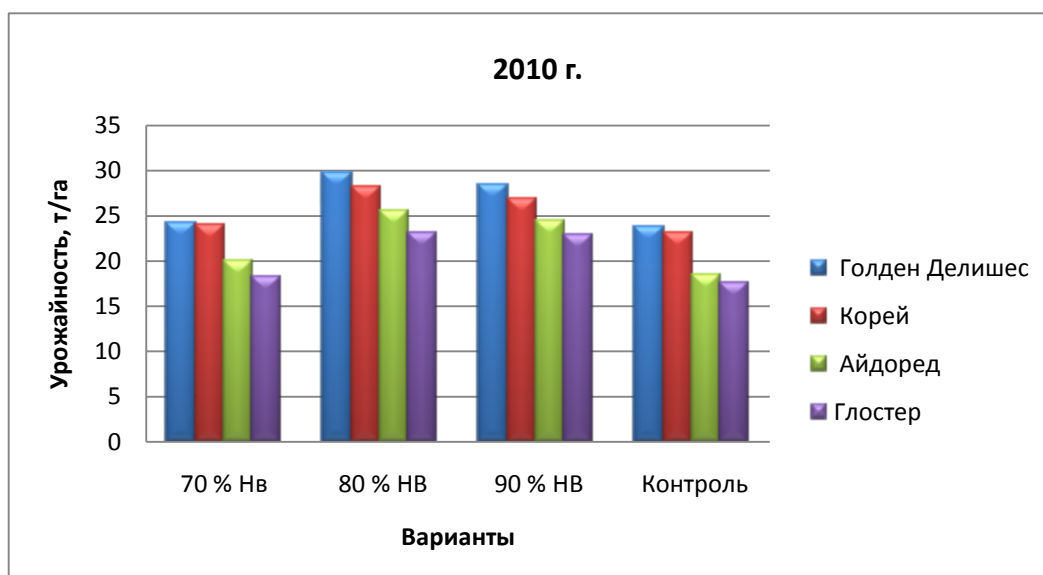


Рисунок 5.8 – Фактическая урожайность яблони в зависимости от варианта опыта в среднем за 2010 – 2012 гг.

При поверхностном способе полива в верхнем 0...0,4 м слое наблюдается (около 38,7 %) максимум количества корней. С изменением глубины количество корней уменьшается, например, в слое 0,6...1,0 м наблюдается всего 39,2 %.

При капельном орошении максимальное количество корней находится в слое 0,2...0,8 м и это составляет 66,2 %, а в слое 0,8...1,5 м - 24,6 % (табл. 5.9 и рис. 5.9).

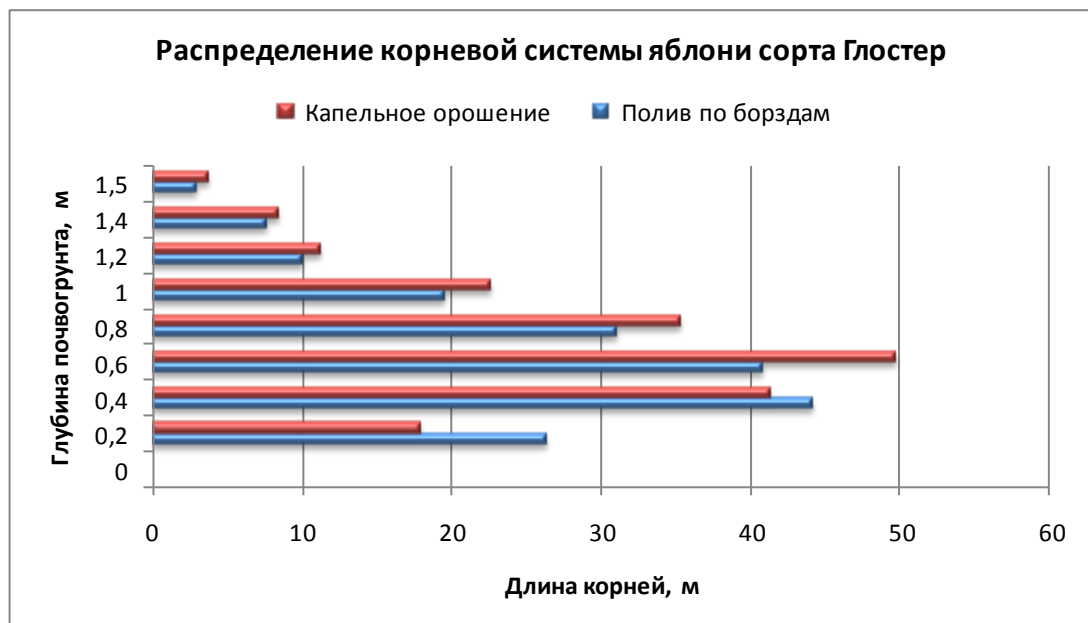
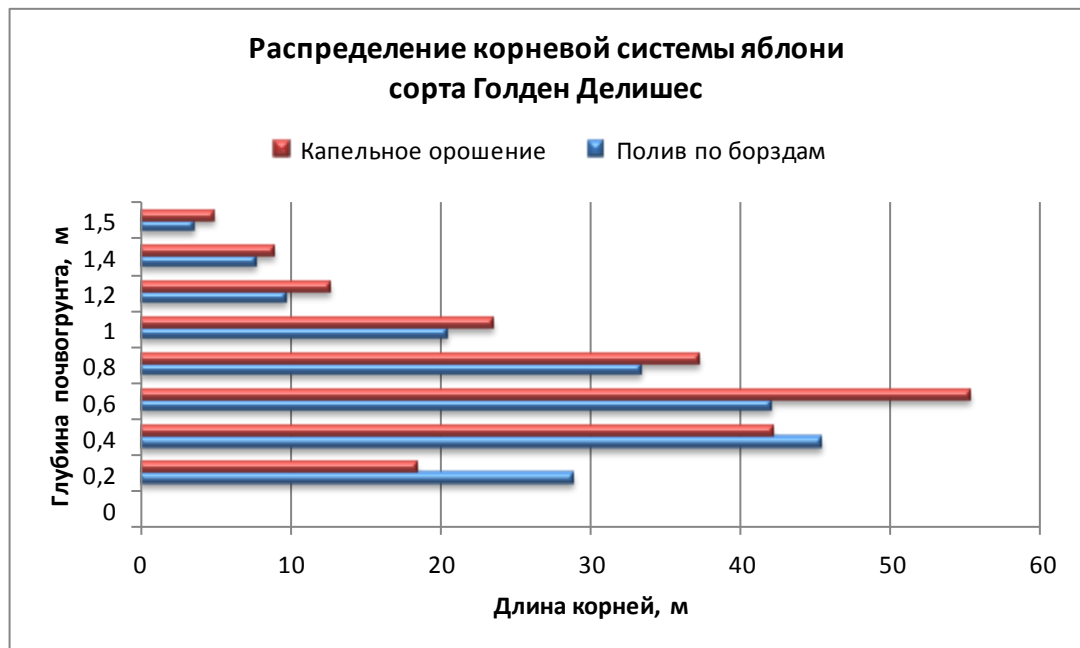


Рисунок 5.9 – Распределение корневой системы яблони при различных способах полива в среднем за 2010 – 2012 гг.

Таблица 5.9 – Размещение корневой системы яблони
в зависимости от способа полива

Слой почвы, м	Полив по бороздам		Капельное орошение	
	Длина корней, м	%	Длина корней, м	%
Голден Делишес				
0...0,2	28,96	15,1	18,51	9,1
0,2...0,4	45,42	23,7	42,28	20,8
0,4...0,6	42,15	22,0	55,42	27,2
0,6...0,8	33,41	17,5	37,35	18,3
0,8...1,0	20,54	10,7	23,54	11,6
Итого в слое 0...1,0	170,48	89,0	177,1	87,0
1,0...1,2	9,74	5,1	12,58	6,2
1,2...1,4	7,71	4,0	8,92	4,4
1,4...1,5	3,52	1,8	4,89	2,4
Итого в слое 1,0...1,5	20,97	11,0	26,48	13,0
Итого в слое 0...1,5	191,45	100	203,58	100
Глостер				
0...0,2	26,35	14,4	17,9	9,4
0,2...0,4	44,12	24,2	41,36	21,7
0,4...0,6	40,84	22,4	49,73	26,1
0,6...0,8	31,07	17,0	35,25	18,5
0,8...1,0	19,48	10,7	22,64	11,9
Итого в слое 0...1,0	161,86	88,7	166,88	87,7
1,0...1,2	10,03	5,5	11,27	5,9
1,2...1,4	7,59	4,2	8,39	4,4
1,4...1,5	2,96	1,6	3,78	2,0
Итого в слое 1,0...1,5	20,58	11,3	23,44	12,3
Итого в слое 0...1,5	182,44	100	190,24	100

Сравнивая данные по размещению корневой системы яблоневого сада двух способов полива можно отметить, что локализация корней при бороздковом поливе наблюдается в основном в слое 0...0,6 м, а при капельном орошении - в слое 0,2...0,8 м, то есть максимум несколько смещен в глубокие горизонты.

Полученные данные показывают, что при капельном орошении у деревьев яблони развивается более мощная корневая система, чем при бороздковом поливе. Если сравнивать сорта яблони, то здесь главную роль сыграют биологические особенности сорта растений, т.к. корни у сорта «Голден Делишес» развиваются лучше, чем «Глостер». Подводя итоги можно отметить, что капельное орошение способствует повышению урожайности плодовых насаждений на 30 – 40 %, происходит экономия оросительной воды на 35- 45 %, улучшается качество урожая, активизируется рост и развитие растений по сравнению с другими способами полива. Применение капельного орошения позволяет не только управлять режимом влажности в корнеобитаемом слое почвы, но и автоматизировать процесс полива.

5.3 Повышение энерго-экономической эффективности яблоневого сада в условиях Волгоградской области

В настоящее время жизненно важной отраслью народного хозяйства является и садоводство. В связи с этим для обеспечения устойчивости и эффективности развития садоводства необходимо учесть производственные факторы, влияющие на повышение экономической эффективности данной отрасли. Для устойчивого развития данной отрасли и для удовлетворения потребностей населения в таких ценных продуктах - как плоды и ягоды необходимо увеличивать объемы производства продукции садоводства. Следовательно, это повышение должно быть до такого уровня, который удовлетворял бы потребности населения в научно-обоснованных нормах. Оно возможно лишь при разработке и решении задач, обеспечивающих выведение отрасли из состояния экономического кризиса [26, 164, 172].

Таким образом, эффективность производства и устойчивость развития для получения максимального дохода в садоводстве зависят от природно-климатических и организационно-экономических факторов. Важна не просто устойчивость производства, а его эффективная устойчивость, ибо производство может быть устойчивым, но не эффективным.

Анализируя показатели эффективности производства в садоводстве можно отметить то, что природно-климатические факторы оказывают непосредственное влияние на конечные результаты производства, т.е. на урожайность растений.

Комплексным показателем производства, характеризующим развитие отрасли, является «порог безубыточности», т.е. обеспечивающим окупаемость затрат.

Анализ безубыточности рассматривает поведение выручки от продаж, затрат и прибыли от продаж при различных объемах производства и продажи продукции, а также при изменениях цены продажи единицы продукции, переменных затрат на единицу продукции и постоянных затрат.

В садоводстве «порог безубыточности» производства определен нами по данным ООО «Липовские сады» Ольховского района Волгоградской области. Данных табл. 5.10 показывает, что за 2010 - 2012 гг. «порог безубыточности» при возделывании яблоневого сада в 2,7 раза повысился в стоимостной оценке, а в натуральном выражении - на 28,4%.

Себестоимость продукции и цена продажи 1 т плодов яблони повысились в 2 раза. В итоге постоянные затраты увеличились в 2,8 раза, а переменные - в 1,9 раза. Этим объясняются развитие различными темпами изменения «порога безубыточности» производства плодов яблоневого сада.

«Порог безубыточности» (У) производства в зависимости от площади насаждений, урожайности, цены продажи, постоянных и переменных затрат, маржинального дохода в исследуемом хозяйстве имеет вид:

$$Y = 7947,2 - 0,88 x_1 + 232,1 x_2 - 75,5 x_3 + 2,2 x_4 - 25,3 x_5 - 0,20 x_6,$$

где У - порог безубыточности, тыс. руб.; x_1 - цена продажи ц, руб.; x_2 - урожайность, ц/га; x_3 - площадь, га; x_4 , x_5 - соответственно переменные и постоянные затраты на 1 га, руб.; x_6 - маржинальный доход на 1 га, руб.

В итоге полученные результаты исследований показывают, что порог безубыточности уменьшится на 18,8 тыс. руб., если увеличить площадь насаждений на 1 га. Кроме того, порог безубыточности увеличится на 565 тыс. руб.,

если увеличивается урожайность яблони на 1 т с 1 га. Следовательно, если повысить или увеличить цену продажи яблони на 1 руб., порог безубыточности увеличится на 0,22 тыс. руб., а с увеличением маржинального дохода на 1 руб. порог безубыточности уменьшится на 0,05 тыс. руб.

С увеличением постоянных и переменных затрат на 1 руб. порог безубыточности уменьшится на 5,2 тыс. руб. и увеличится на 0,53 тыс. руб., соответственно.

В целом, повышению экономической эффективности производства в садоводстве способствуют объективные и субъективные факторы.

Объективные факторы, проводимые государством, включают в себя: принятие законов; государственное регулирование цен; преодоление монополизма крупных перерабатывающих предприятий путем создания цехов по переработке плодовой продукции на местах; обеспечение гарантированных цен на продукцию; объединение организаций, занимающихся производством и переработкой продукции отрасли.

Субъективные факторы, проводимые хозяйством: интенсификация производства, внедрение в производство районированных перспективных сортов яблоневого сада, интеграция и кооперация производства.

Исходя из вышеизложенного, необходим комплексный подход к решению проблем для устойчивого и эффективного развития садоводства, как на государственном уровне, так и на уровне самих хозяйств, что обеспечит производство и продажу продукции по ценам, позволяющим вести расширенное производство.

Для определения экономической эффективности выращивания яблоневого сада при капельном орошении основными показателями экономической эффективности являются: увеличение объема производства яблоневого сада, рост производительности труда, прирост чистого дохода и срок окупаемости капиталовложений.

В наших исследованиях для определения экономической эффективности яблоневого сада при капельном орошении взяты данные сорта Голден Делишес с влажностью не ниже 80%НВ.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение капельного орошения при выращивании яблоневого сада обеспечивает рост урожайности до 35 т/га (при наименьшей влагоемкости 80 % НВ) и вызывает возрастание стоимости полученной продукции до 787,5 тыс. руб./га. При этом прибыль составит 196,35 тыс. руб./га, рентабельность – 33,2 % (табл. 5.10).

Таблица 5.10 – Расчёт эффективности производства плодов яблони в условиях Волгоградской области

Показатели	Годы		
	2010	2011	2012
Затраты на 1 т плодов яблоневого сада, всего, руб.	15737	16890	18388
из них: переменные	11804	12536	14078
постоянные	3933	4354	4310
Цена продажи 1кг, руб.	22,5	22,5	22,5
Продано - всего, т	29,7	35,0	28,9
Выручка от продажи, тыс. руб.	668,25	787,50	650,25
Получено прибыли, тыс. руб.	200,86	196,35	118,84
Маржинальный доход, тыс. руб.	349,91	348,74	243,40
Площадь насаждений, га	1,0	1,0	1,0
Урожайность, т/га	29,7	35,0	28,9
Порог безубыточности, тыс. руб.	221,65	343,99	333,06
Рентабельность, %	43,0	33,2	22,4

В целях создания эффективного организационно-экономического механизма целесообразным является взаимосвязь между производителями садоводческой продукции, обслуживающими, перерабатывающими и торговыми организациями. Развитие связей между вышеперечисленными факторами углубляет взаимодействия и достигает объединения хозяйствующих субъектов, т.е. создает экономические интеграции.

На основе себестоимости продукции формируются организационно - экономические факторы развития садоводства. При этом прибыль, рентабельность и маржинальный доход являются обобщающими показателями эффективности производства в садоводстве. Эти же показатели являются определяющими степень обеспечения ее воспроизводства.

Таким образом, предлагаемые рекомендации будут практически осуществлять увеличение объемов производства плодов яблоневого сада, и будут способствовать повышению экономической эффективности отрасли в сельскохозяйственных предприятиях. Данная предпосылка позволит обеспечить население в научно-обоснованных нормах потребления свежими фруктами отечественного производства, а перерабатывающую промышленность достаточным количеством сырья.

В последние годы параллельно с экономическими расчетами производится расчет энергетической эффективности возделывания сельскохозяйственных культур. Энергетический анализ применяемых приемов основывается на сравнении таких показателей как коэффициент энергетической эффективности ($K_{ээк}$), затраты совокупной энергии (ΣE) и содержание энергии в урожае (E_k).

Коэффициент энергетической эффективности можно определить как отношение энергии накопленной в урожае к затраченной совокупной энергии. Учитывая это, можно записать:

$$K_{ээк} = E_n / \Sigma E.$$

Анализируя энергетическую эффективность яблоневого сада при капельном поливе для различных режимов орошения, необходимо отметить, что все варианты полевого опыта являются эффективными, так как коэффициент энергетической эффективности по всем вариантам выше единицы (табл. 5.11).

Таблица 5.11 – Энергетическая оценка выращивания яблони (сорт Голден Делишес) по вариантам опыта за 2010 – 2012 гг.

Вариант	Годы исследования	Урожайность, т/га	Показатели энергетической эффективности		
			ΣE , МДж/га	E_n , МДж/га	$K_{\text{ээк}}$
Полив по бороздам, 80 % НВ (контроль)	2010	22,9	43187,5	44242,8	1,02
	2011	26,1	44733,2	50425,2	1,13
	2012	23,8	43792,0	45981,6	1,05
	средняя	24,3	43876,3	46947,6	1,07
Капельное орошение, 70 % НВ	2010	23,7	39472,8	45788,4	1,16
	2011	26,8	40250,1	51777,6	1,29
	2012	24,1	39854,6	46561,2	1,16
	средняя	24,9	39859,2	48106,8	1,21
Капельное орошение, 80 % НВ	2010	28,9	39906,8	55834,8	1,40
	2011	35,0	40286,7	67620,0	1,68
	2012	29,7	40053,6	57380,4	1,43
	средняя	31,2	40082,4	60278,4	1,50
Капельное орошение, 90 % НВ	2010	27,6	39822,0	53323,2	1,34
	2011	34,3	40101,9	66267,6	1,65
	2012	28,5	39899,2	55062,0	1,38
	средняя	30,1	39941,0	58153,2	1,46

Из полученных данных видно, что при выращивании яблоневого сада коэффициент энергетической эффективности в зависимости от варианта опыта в среднем изменяется в пределах от 1,07 до 1,50.

При капельном орошении наименьшие затраты совокупной энергии на возделывание продукции яблоневого сада были получены в 2010 году и в зависимости от варианта опыта составили 39472,8 – 39906,8 МДж/га.

Необходимо отметить, что на контрольном варианте (полив по бороздам - 80 % НВ) затраты совокупной энергии в урожай в среднем составили 43876,3 МДж/га, что на 3793,9 МДж/га больше, чем при капельном орошении, где нижний порог влажности поддерживали на уровне 80 % НВ. Следовательно, коэффициент энергетической эффективности на этом варианте в среднем оказался на 0,43 выше, чем на контрольном варианте. Таким образом, сравнивая варианты между собой, при капельном орошении, самым лучшим является вариант влажности почвы не ниже 80 % НВ. На этом варианте средний коэффициент энергетической эффективности составил 1,59 с колебаниями от 1,40 до 1,68.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании анализа использования водных ресурсов теоретически обоснована и разработана технология капельного полива яблоневого сада на темно-каштановых почвах Волгоградской области. Учитывая форму пространственной области увлажнения почвы, образуемой вокруг одной капельницы, получена формула для расчета поливной нормы и построена эпюра влажности почвы по объему питания растений. Установлено, что при поливе большими ($220 \text{ м}^3/\text{га}$) нормами поливная вода просачивается на большую глубину, чем при малых. Малые поливные нормы ($170 \text{ м}^3/\text{га}$) создают более равномерное увлажнение по всему профилю почвы. Определена динамика изменения параметров контура увлажнения почвы после полива при капельном орошении с точностью до 11,9 %. При этом коэффициент корреляции изменяется в пределах от 0,913 до 0,935.

2. Установлены закономерности формирования контура увлажнения почвы с разными объемами водоподдачи. Доказано, что при подаче воды 50 л/дерево увлажняемая зона корнеобитаемого слоя почвы с помощью одной капельницы составляет всего 4,9 % объема почвогрунта, отведённого растению. При увеличении подачи воды на дерево до 120 л, увеличивается обеспечиваемое увлажнение до 29,2 % отведённого объема почвогрунта, что приводит к потере воды на глубинный сброс, т.е. на фильтрацию.

3. По результатам натурным испытаний с использованием метода теории планирования эксперимента (план Рехтшафнера второго порядка) получены математические формы отклика, которые дают возможность определить основные параметры систем капельного орошения. На основании полученных данных установлен компромиссный оптимум в точке с координатами: напор в системе $x_1 = -0,230$ ($H = 1,05 \text{ м}$); длина капельных линий $x_2 = -0,057$ ($L = 148,62 \text{ м}$); диаметр капельницы $x_3 = -0,013$ ($d = 1,55 \text{ мм}$).

4. При возделывании яблоневого сада в условиях Волгоградской области установлено, что оптимальным вариантом является вариант с предполи-

ной влажностью почвы на уровне 80 % НВ. Это обеспечивается проведением 21 – 26 поливов нормой 170 м³/га.

5. В среднем, по годам исследований, максимальная урожайность яблоневого сада была получена на участке с капельным орошением при поддержании влажности почвы 80 % НВ, и составила по сорту Голден Делишес 31,2 т/га, по сорту Корей 29,4 т/га, по сорту Айдоред 26,3 т/га, по сорту Глостер 23,8 т/га, что на 20 - 30 % выше в сравнении с бороздковым поливом. Годовая экономическая эффективность от внедрения рекомендуемой технологии капельного орошения яблоневого сада при поддержании влажности почвы на уровне 80 % НВ в зависимости от года исследований составила 65 - 109 тыс. руб. на 1 га. При этом энергетическая эффективность при капельном орошении в среднем составила 1,50.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверьянов, С.Ф. Зависимость водопроницаемости почвогрунтов от содержания в них воздуха / С.Ф. Аверьянов // ДАН СССР. - 1949. - Т. 69. - № 2. - С. 141 - 144.
2. Аверьянов, С.Ф. Расчет водного режима мелиорируемых земель / С.Ф. Аверьянов, А.И. Голованов, Ю.Н. Никольский // Гидротехника и мелиорация. - 1974. - №3. - С. 34 - 42.
3. Агроклиматический справочник по Волгоградской области / Гидрометеоздат. – Л., 1967. - С. 8 - 23.
4. Астапов, С. В. Мелиоративное почвоведение / С.В. Астапов. – М.: Сельхозиздат, 1958. – 367 с.
5. Алексашко, А.А. Теоретические вопросы капельного орошения / А.А. Алексашко, Н.И. Вдовин // Вестник с.-х. науки, - М.: 1977, №8. – С. 112-117.
6. Алпатьев, С.М. Методические указания по расчету режима орошения сельскохозяйственных культур на основе биоклиматического метода / С.М. Алпатьев - Киев, 1967. – 30 с.
7. Алпатьев, А.М. О методах расчета потребности в воде культурных фитоценозов в связи с развитием орошения в СССР / А.М. Алпатьев // Биологические основы орошаемого земледелия. – М., 1974. – С. 85-89.
8. Алпатьев, С.М. Поливные режимы при капельном и капельно-инъекционном орошении / С.М. Алпатьев // М.: 1981, №2, с. 40-44.
9. Айдаров, И.П. Теоретические и экспериментальные исследования влагопереноса при внутрипочвенном и капельном орошении / И.П. Айдаров, А.А. Алексашенко // Оптимизация процессов комплексного мелиоративного регулирования: сб. науч. тр. / МГМН. – М., 1985. – С. 3-12.
10. Алиев, Д.А. Фотосинтетическая деятельность, минеральное питание и продуктивность растений: автореф. дисс... д-ра с.-х. наук / Д.А. Алиев. – Баку, 1971. – 60 с.

11. Аллер, М. Эффективный потенциал воды при высыхании почв / М. Аллер // Термодинамика почвенной влаги.-Л.: Гидрометеиздат, 1966. – С. 325 - 360.

12. Афанасик, Г.И. Тепло- и влагообмен в системе открытая почва-атмосфера / Г.И. Афанасик //Мелиорация переувлажненных земель: труды Белорусский НИИ мелиорации и водного хозяйства. – Минск, 1973. - Т.21. – С. 124 - 134.

13. Ахмедов, А.Д. Расчет распространения влаги в почве при внутри-почвенном орошении / А.Д. Ахмедов // Основы достижения устойчивого развития сельского хозяйства: материалы междунар. науч.-практ. конф. - Волгоград. гос. с.-х. акад. – Волгоград, 2004. – С. 137-138.

14. Ахмедов, А.Д. Корневая система яблони при различных способах полива / А.Д. Ахмедов, Е.В. Акутнева // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сб. науч. тр., посвящ. 50-летнему юбилею Мещерского филиала ВНИИГиМ. – Рязань, 2004. – С. 58-61.

15. Ахмедов, А.Д. Некоторые аспекты эффективности орошения Волгоградской области /А.Д. Ахмедов // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии и техники орошения: сб. науч. докл. междунар. науч.-практ. конф. ВНИИ «Радуга». - Коломна, 2004. – С. 110 - 113.

16. Ахмедов, А.Д. Надёжность систем капельного орошения /А.Д. Ахмедов, А.А. Темерев, Е.Ю. Галиуллина // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. - 2010. - №3 (19). – С. 83-88.

17. Ахмедов, А.Д. Гидравлический расчёт надёжности капельниц в оросительных системах /А.Д. Ахмедов, А.А. Темерев //Проблемы, состояния комплексных мелиораций и их роль в обеспечении продовольственной безопасности России: материалы междунар. науч.-практ. конф. ВГСХА. - Волгоград, 2010. – С. 266-269.

18. Ахмедов, А.Д. Методика расчёта режима орошения сельскохозяйственных культур при капельном способе полива /А.Д. Ахмедов, Е.Ю. Селиверстова // Новые направления в решении проблем АПК на основе ресурсосберегающих инновационных технологий: материалы междунар. практ. конф. ВГСХА. – Волгоград «Нива». 2010. – С. 321-324.

19. Ахмедов, А.Д. Экологические аспекты капельного орошения / А.Д. Ахмедов, А.А. Темерев, Е.Ю. Галиуллина // Проблемы и перспективы инновационного развития мирового сельского хозяйства: материалы междунар. науч.-практ. конф. Саратовского ГАУ. - Саратов, 2010. – С. 156-158.

20. Ахмедов, А.Д. Обоснование параметров систем капельного орошения методом планирования /А.Д. Ахмедов, А.А. Темерев, Е.Ю. Галиуллина // В мире научных открытий. Научно-инновационный центр, Красноярск. - 2010. - №4 (10). - Ч. 3. – С. 137-140.

21. Ахмедов, А.Д. Экологическая безопасность развития садоводства в Волгоградской области /А.Д. Ахмедов, Е.Ю. Галиуллина // Социально - экономические и природоохранные аспекты развития сельских муниципальных образований: материалы междунар. науч.-практ. конф. ГНУ ПНИИАЗ. - М., 2010. – С. 271-273.

22. Ахмедов, А.Д. Динамика формирования контура увлажнения при внутрипочвенном и капельном орошении при возделывании яблоневого сада /А.Д. Ахмедов, А.А. Темерев, Е.Ю. Галиуллина // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сб. научн. трудов. Вып.4. Рязанский государственный агротехнический университет. - Рязань, 2010. – С. 55-59.

23. Ахмедов, А.Д. Расчёт основных параметров влагопереноса при капельном орошении /А.Д. Ахмедов, А.А. Темерев, Е.Ю. Галиуллина // Социально-экологические проблемы сельского и водного хозяйства. Ч. I. «Комплексное обустройство ландшафта»: материалы междунар. науч.–практ. конф. – М: ФГОУ ВПО МГУП, 2010. – С. 11-22.

24. Ахмедов, А.Д. Коэффициент водопотребления плодовых культур в условиях Волгоградской области /А.Д. Ахмедов, Е.Ю. Галиуллина // Экологические аспекты развития АПК: материалы междунар. науч.-практ. конф. Саратовский ГАУ. - Саратов, 2011. – С. 10-12.

25. Ахмедов, А.Д. Перспективы водосбережения яблоневых садов в Волгоградской области /А.Д. Ахмедов, Е.Ю. Галиуллина // Энергосберегающие технологии, проблемы их эффективного использования. Т. 2. Эффективные электротехнологии и электрооборудования: материалы 4 и 5 междунар. науч.-практ. конф. Волгоград: ФГОУ ВПО Волгоградская ГСХА. - Волгоград, 2011. – С. 91-93.

26. Ахмедов, А.Д. Капельное орошение яблоневого сада в ООО «Липовские сады» Ольховского района /А.Д. Ахмедов, Е.Ю. Галиуллина // Интеграционные процессы в науке, образовании и аграрном производстве - залог успешного развития АПК: материалы междунар. науч.-практ. конф. Т. 1. - Волгоград: ФГОУ ВПО ВГСХА, 2011. – С. 202-205.

27. Ахмедов, А.Д. Динамика увлажнения почвы при капельном поливе садов /А.Д. Ахмедов, А.А. Темерев, Е.Ю. Галиуллина // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. - 2011. - № 2(22). - С. 159-164.

28. Ахмедов, А.Д. Особенность оценки равномерности водораспределения в низконапорных системах капельного орошения /А.Д. Ахмедов, А.А. Темерев, Е.Ю. Галиуллина // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. - 2011. - № 3(23). – С. 174-179.

29. Ахмедов, А.Д. Влияние качества поливной воды на работоспособность систем капельного орошения /А.Д. Ахмедов, А.А. Темерев// Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. - 2011.- №6. – С. 61-63.

30. Ахмедов, А.Д. Выбор основных критериев оценки надёжности оросительных систем /А.Д. Ахмедов, Е.Ю. Галиуллина //Иновационные технологии и экологическая безопасность в мелиорации сб. науч. докладов 5-й

междунар. конф. молодых учёных и специалистов. ФГБНУ ВНИИ «Радуга». Коломна. 2012. – С. 33-37.

31. 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(270). – С. 183-188.

32. Ахмедов, А.Д. Расчёт элементов режима орошения при локальном способе полива /А.Д. Ахмедов // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сб. науч. тр. вып. 5. - Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2012. – С. 31-34.

33. Багров, М.Н. Прогрессивная технология орошения сельскохозяйственных культур/ Багров М.Н., Кружилин И.П. - М.: Колос, 1980. – С. 20 - 42.

34. Багров, М.Н. Режим орошения сельскохозяйственных культур / М.Н. Багров // Обзорная информация. – М.: ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975. – 76 с.

35. Багров, М.Н. Режим орошения сельскохозяйственных культур в условиях Нижнего Поволжья / М.Н. Багров // Тр. Волгоградского СХИ. – Волгоград, 1991. – С. 7-27.

36. Белозеров, Н.П. Расчет систем водоснабжения с применением вычислительной техники/ Н.П. Белозеров, М.П. Луговский - М.: Колос, 1973. – 284 с.

37. Бойко, Л.П. Математическое описание процесса поглощения воды корневой системой растений/ Л.П. Бойко, О.Д. Сиротенко //Труды ИЭМ, 1976. – Вып. 8(67). – С.24 - 28.

38. Беленький, Д.К. Разработка и исследование алгоритмов оптимизационного использования метеоинформации к задачам планирования технологических процессов: автореф. дис... канд. с.-х. наук / Д.К. Беленький. – Л., 1975. – 27 с.

39. Будаговский, А.И. Впитывание воды в почву/ Будаговский А.И. - М., 1955. – С. 25 - 85.
40. Болотин, В.В. Методы теории вероятности и теории надёжности в расчётах сооружений / В.В. Болотин. – М.: Стройиздат, 1982. – 348 с.
41. Большев, А.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1983. – 415 с.
42. Боровой, Е.П. Формирование контура увлажнения в зависимости от конструкции увлажнителя и поливной нормы / Е.П. Боровой // Материалы конф. молодых ученых / Волгоград. СХИ. – Волгоград, 1986. – С. 154-155.
43. Боровой, Е.П. Равномерность водораспределения на участках внутрипочвенного орошения / Е.П. Боровой, А.Д. Ахмедов // Научный вестник. Инженерные науки. ВГСХА. – Вып. 4. – Волгоград, 2003. – С. 60-62.
44. Боровой, Е.П. Природоохранные и экономически обоснованные технологии сельскохозяйственных культур / Боровой Е.П., Ананских Е.П., Ахмедов А.Д.// Экология: образование, наука, промышленность и здоровье: материалы II междунар. науч.-практ. конф. – Белгород: Вестник БГТУ, 2004. - № 8. – Ч. V. – С. 25 - 27.
45. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных/ Г.В. Веденяпин - М.: Колос, 1973 – 256 с.
46. Вавилов, П.П. Растениеводство / П.П. Вавилов и др. – М.: Колос, 1981. – 431 с.
47. Ветренко, Е.А. Расчет влагопереноса при ВПО с учетом влагоотбора корнями растений / Е.А. Ветренко // Актуальные проблемы экологии в условиях современного мира: материалы II междунар. науч.-практ. конф. – Майкоп, 2002. – С. 67-69.
48. Ветренко, Е.А. Научно-экспериментальное обоснование внутрипочвенного орошения яблоневого сада: автореф. дис... канд. техн. наук: 06.01.02 / Е.А. Ветренко. – Волгоград, 2003. – 23 с.
49. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

50. Временные технические указания на проектирование, строительство и эксплуатацию систем капельного орошения садов и виноградников. – Кишинев: Тимпул, 1981. – 222 с.

51. Галанин, М.П. Математическое моделирование процесса движения влаги при испарении в постоянных внешних условиях // М.П.Галанин, Р.И. Зайцева Докл. ВАСХНИЛ. - 1981. - №1. – С. 43 - 45.

52. Гарюгин, Г.А. Режим орошения сельскохозяйственных культур / Г.А. Гарюгин. – М.: Колос, 1979. – 270 с.

53. Гаджиев, М.К. Оптимальная схема расстановки капельниц при орошении виноградников / М.К. Гаджиев. // Доклады ВАСХНИЛ, М.: 1983, №8. – С. 46-47.

54. Горин, Т.И. Интенсивность транспирации у яблони в зависимости от степени увлажнения почвы / Т.И. Горин // Доклады научной конференции 1957.- Сталинградский СХИ: Сталинград, 1960. – С. 255-257.

55. Гнеденко, Б.В. Математические методы в теории надёжности. Основные характеристики надёжности и их статистический анализ / Б.В. Гнеденко // - М.: Наука, 1965. – 318 с.

56. Гостищев, Д.П. Изучение величины и формы контуров увлажнения при подпочвенном орошении / Д.П. Гостищев // Мелиорация – как средство интенсификации сельского хозяйства на Северном Кавказе. Вып. 18. – Ростов н/Д, 1975. – С. 95-107.

57. Гостищев, Д.П. Математическое моделирование влагопереноса при внутрипочвенном орошении/ Д.П. Гостищев, Ю.С. Рогозина //Обзорная информация. - М.: ЦБНТИ Минводстроя СССР, 1990. – 52 с.

58. Голованов, А.И. Математическая модель переноса влаги и растворов солей в почвогрунтах на орошаемых землях/ А.И. Голованов, О.С. Новиков// Тр. МГМИ. - М., 1974. - Т.34. – С. 121 - 124.

59. Григоров, М.С. Современные перспективные водосберегающие способы полива в Нижнем Поволжье /М.С. Григоров, А.С. Овчинников, Е.П. Боровой, А.Д. Ахмедов // Волгоград: ВГСХА «Нива», 2010. – 244 с.

60. Григоров, М.С. Внутрипочвенное орошение / М.С. Григоров. – М.: Колос, 1983. – 128 с.

61. Григоров, М.С. Обоснование и оптимизация параметров внутрипочвенного орошения для различных природных зон/ М.С. Григоров// Сб. науч. тр. ВСХИ. - 1984. - Т. 84. - С. 8 - 28.

62. Григоров, М.С. Эффективность различных способов полива/ М.С. Григоров // Зерновое хозяйство. - 1985. - №1. – С. 10 - 12.

63. Григоров, М.С. Контур увлажнения при внутрипочвенном орошении/ М.С. Григоров, А.Д. Ахмедов // Мелиорация и водное хозяйство. - 1999. - №4. – С.32 - 33.

64. Григоров, М.С. Современное состояние и развитие орошения в Волгоградской области / М.С. Григоров, А.Д. Ахмедов // Природообустройство и рациональное природопользование - необходимые условия социально - экономического развития России: сб. науч. тр. Ч. II. М.: МГУП, 2005. – С. 53 - 58.

65. Долгов, С.И. Исследования подвижности почвенной влаги и ее доступности для растений/ С.И. Долгов - М.: Изд. АН СССР, 1948. – С. 144 - 197.

66. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов - М.: Колос, 1979. – 416 с.

67. Ермаков, С.М. Математическая теория планирования эксперимента /С.М. Ермаков // М.: Наука, 1983. – 391 с.

68. Журба, М.Г. Капельное орошение: проблемы чистой воды и надёжности капельниц / М.Г. Журба // – Гидротехника и мелиорация. - №7. - М., 1982. – С. 37-38.

69. Журба, М.Г. Выбор технологических схем и состава очистных сооружений для систем капельного орошения / М.Г. Журба, В.Н. Олексич // - М.: ЦНБТИ Минводхоза СССР, обзорная информация. - № 19. - 1979. – 44 с.

70. Зюбенко, С.И. Надёжность закрытых трубопроводов / С.И. Зюбенко. - М.: Доклады ВАСХНИЛ, № 1, 1976. – С. 43-44.

71. Иванов, В.М. Агроэнергетическая оценка технологии возделывания сельскохозяйственных культур / В.М. Иванов и др. – Волгоград: ВГСХА, 2000. – 32 с.

72. Игнатъева, И.П. Плодовые и овощные культуры СССР / И.П. Игнатъева, А.Н. Постников, Н.В. Борисов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 182 с.

73. Куртнер, Д.А. Модель тепло- влагообмена в почвах. / Куртнер Д.А., Кузнецов М.Я., Трубачева Г.А.// Научно-технический бюллетень по агрономической физике. Агрофиз. ин-т: ВАСХНИЛ, 1979. - № 40. - С. 30 - 34.

74. Кац, Д.М. Контроль режима грунтовых вод на орошаемых землях/ Кац Д.М. - М.: Колос, 1967. - С. 118 - 165.

75. Капельное орошение (пособие к СНиП 2.06.03-85). Мелиоративные системы и сооружения. – Введ. 11.04.86. – М.: Союзводпроект, 1986. – 147 с.

76. Келлер, Дж. Проектирование систем капельного орошения / Дж. Келлер, Д. Кармели // Глендора, шт. Калифорния, 1975. перевод ин-ст. «Укргипроводхоз», Киев, 1976 – 175 с.

77. Ключин, В.С. Опыт проектирования капельного орошения в Молдавии / В.С. Ключин // – М., Гидротехника и мелиорация. - № 4. - 1983. – С. 36-39.

78. Коваленко, И.Н., Филиппова, А.А. Теория вероятностей и математическая статистика / И.Н. Коваленко, А.А. Филиппова // - М.: Высшая школа, 1973. – 368 с.

79. Колесников В.А. Корневая система плодовых и ягодных растений и методы ее изучения/В.А. Колесников// - М.: Сельхозиздат, 1962. – 269 с.

80. Колесников В.А. Методы изучения корневой системы древесных растений /В.А. Колесников// - М.: Лесная промышленность, 1972. – С. 96-21

81. Ковальчук, П.И. Определение моделей урожая в зависимости от динамики водоснабжения растений / П.И. Ковальчук, В.П. Остапчик // Мелиорация и водное хозяйство. – Киев: Урожай, 1982. – Вып. 55. – С. 3-5.

82. Костяков, А.Н. Основы мелиораций / А.Н. Костяков. – М.: Сельхозгиз, 1960. – 621 с.

83. Колясев, Ф.Е. Подвижность воды в почве и некоторые пути ее регулирования//Вопросы агрономической физики/ Ф.Е. Колясев - Л., 1957. – С. 11 - 29.

84. Колясев, Ф.Е. О подвижности воды в почве и пути ее регулирования/ Ф.Е. Колясев // Почвоведение. - 1957. - № 4. – С. 53 - 62.

85. Кружилин, А.С. Биологические особенности и продуктивность орошаемых культур / А.С. Кружилин. – М.: Колос, 1977. – 229 с.

86. Кружилин, А.С. Корневая система и продуктивность орошаемых культур / А.С. Кружилин // Биологические и агротехнические основы орошаемого земледелия. – М.: Наука, 1983. – С. 235-242.

87. Кружилин, И.П. Агротелиоративная оценка влагообеспеченности территории Нижнего Поволжья / И.П. Кружилин. – Волгоград, 1976. – 66 с.

88. Кружилин, И.П. Оптимизация водного режима почвы для получения запланированных урожаев сельскохозяйственных культур в степной и полупустынной зонах Нижнего Поволжья: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / И.П. Кружилин. – Волгоград, 1982. – 52 с.

89. Кауричев, И.С. Почвоведение/ И.С. Кауричев - М.: Агропомиздат, 1989. – С.102 - 213.

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

91. Лайск, А. О моделировании продукционного процесса растительного покрова /А. Лайск, Х. Молдау, Т. Нильсон, Ю. Росс и Х. Тоуминг //Ботанический журнал, 56. - 1971. – С. 761 - 776.

92. Литвинов, П.И. Преимущество подпочвенного и капельного орошения / П.И. Литвинов, И.В. Шевченко // М.: Вестник с.-х. науки, № 1, 1978. – 75-81 с.

93. Левин, В.И. Логическая теория надёжности сложных систем / В.И. Левин // - М.: Энергоиздат ,1985. – 129 с.

94. Льгов, Г.К. Орошаемое земледелие Северного Кавказа / Г.К. Льгов. – Орджоникидзе, 1967. – 328 с.

95. Лыкосов, В. Н. Динамика взаимосвязанного переноса тепла и влаги в системе атмосфера-почва / В. Н. Лыкосов, Р. Г. Палагин // Метеорология и гидрология. - 1978. - №8. – С. 48 - 56.

96. Ляшко, И.И. Численное решение задач тепло- и массопереноса в пористых средах/ И.И. Ляшко, Л. И. Демченко, Г.Е. Мистецкий - Киев: Наукова думка, 1991. – 264с.

97. Лебедев, А.В. Методы изучения баланса грунтовых вод / А.В. Лебедев - М.: Недра, 1976. – С. 27 - 113.

98. Лебедев, А.Ф. Почвенные и грунтовые воды/ А.Ф. Лебедев - Л.: Изд. АН СССР, 1955. – С. 25 - 85.

99. Летунов, П.А. Некоторые закономерности передвижения воды и солей в орошаемых почвах/ П.А. Летунов // Вопросы освоения земель Средней Азии. - М., 1955. – С. 184 - 243.

100. Лыков, А.В. К теории миграции воды в почве/ А.В. Лыков // Почвоведение. - 1951. - № 9. – С. 562 - 566.

101. Лыков, А.В. Основные коэффициенты тепла и массы вещества во влажных материалах/ А.В. Лыков - Науч. тр. МТИПП. - М., 1956. - Вып. 6. – С. 7 - 20.

102. Лыков, А.В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах/ А.В. Лыков - М.: Гос. изд. техн.- теор. лит., 1954. – С. 31 - 130.

103. Методическое руководство по изучению водно-физических свойств почв для мелиоративного строительства. - М.: Гипроводхоз, 1974. – С. 7 - 24.

104. Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем. / Под ред. Н.Н Веригина. - М.: Колос, 1970. – С. 157 - 172.

105. Мичурин, Б.П. Испарение воды почвой/ Б.П. Мичурин // Основы агрофизики. - М.: Госфизматиздат, 1959. – С. 126 - 136.

106. Мичурин, Б.А. Доступность влаги для растений в зависимости от структуры и плотности сложения почв и грунтов/ Б.А. Мичурин // Вопросы агрономической физики. - Л.: Изд. ВАСХНИЛ, 1957. – С. 56 - 72.

107. Мигунова, Е.И. Исследование переноса влаги, тепла, солей и питательных веществ в почвогрунтах / Е.И. Мигунова, М.Г. Хубларян // Управление комплексом факторов жизни растений на мелиорируемых землях: тезисы всесоюзного совещания по проблеме 0.52.01. - Фрунзе, 1977. – С. 90-91.

108. Мигунова, Г.И. Численное решение задачи переноса влаги, тепла и солей в зоне аэрации почвогрунтов / Е.И. Мигунова, М.Г. Хубларян // Вопросы управления комплексом факторов жизни растений. - М.: 1978. – С. 76-82.

109. Методика биоэнергетической оценки технологии производства продукции растениеводства/ Е.И. Базаров, Е.В. Глинка - М.: ВАСХНИЛ, 1983. – 45 с.

110. Мироненко, В.А. Основы гидротехники/ В.А. Мироненко, В.М. Шестаков - М.: Недра, 1974. – 296 с.

111. Мосиенко, Н.А. Справочник по орошаемому земледелию / Н.А. Мосиенко. – Саратов: Приволж. кн. изд-во, 1993. – 432 с.

112. Маланчук, З.Р. Экспериментальные зависимости гидравлического расчёта поливных трубопроводов систем капельного орошения / З.Р. Маланчук // М.: в сб. Новое в технике и технологии полива, вып. 12, 1979. – С. 184-189.

113. Мамедов, И. Контуры увлажнения почвы при капельном орошении на склонах / И. Мамедов, Н. Баширов // Баку, Тезисы докладов Азербайджанской конференции молодых учёных и специалистов по мелиорации и водному хозяйству, 1982. – С. 35-36.

114. Муромцев, Н.А. Об использовании термодинамического потенциала почвенной влаги в исследованиях потенциала почвенной влаги в исследованиях по гидрофизике почв и растений/Н.А.Муромцев //Почвоведение. - 1976. - № 3. – С. 42 - 52.

115. Мирцхулава, Ц.Е. Надёжность гидромелиоративных сооружений /Ц.Е. Мирцхулава // М.: Колос, 1974. – 278 с.

116. Мирцхулава, Ц.Е. О качестве, надёжности оросительных систем и о прогнозе ущерба от снижения уровня надёжности / Ц.Е. Мирцхулава // Доклады ВАСХНИЛ, № 12, 1977. – С. 33-35.

117. Малыченко, В.В. Яблоня / В.В. Малыченко. – Полки. Рад, 1994. – 334 с.
118. Ничипорович, А.А. Фотосинтетическая деятельность растений и пути повышения их продуктивности / А.А. Ничипорович // Теоретические основы фотосинтетической продуктивности. – М.: Наука, 1972. – С. 511-527.
119. Ничипорович, А.А. О путях повышения производительности фотосинтеза растений / А.А. Ничипорович - М.: Изд. АН СССР, 1963. - С. 5 - 37.
120. Ничипорович, А.А. Фотосинтез и вопросы интенсификации сельского хозяйства/ А.А. Ничипорович - М.: Изд. Наука, 1965. – 48 с.
121. Най, П.Х. Движение растворов в системе почва-растение/ П.Х. Най, П.Б. Тинкер - Перевод с английского. - М.: Колос, 1980. – С. 28 - 49.
122. Науменко, И.И. Организация и методика исследований надёжности объектов капельных оросительных систем / И.И. Науменко, А.И. Токар // Рукопись деп. в УкрНИИНТИ № 405 Ук-Д 83. - Ровно, 1983. – 36 с.
123. Науменко, И.И. Рекомендации по исследованиям надёжности и работоспособности элементов систем капельного орошения / И.И. Науменко, А.М. Сидоренко, З.Р. Маланчук, А.И. Токар // НТД 33.03.002-86. – К.: Укргипроводхоз, 1986. – 68 с.
124. Науменко, И.И. Методы повышения надёжности систем капельного орошения / И.И. Науменко, А.И. Токар // Рукопись деп. в ВНИИТИСХ № 5819. - Ровно, 1985. – 13 с.
125. Новик, М.Р. Засорение капельных водовыпусков и борьба с ними на системах капельного орошения / М.Р. Новик, М.Г. Журба // - М.: Обзорная информация ЦБНТИ Минводхоза СССР, Серия, вып. 1, 1984. – С. 1-23.
126. Нестерова, Г.С. Капельное орошение / Г.С.Нестерова, Е.А. Вейцман, И.С. Зонн, Б.В. Дзюбенко // - М.: Гидротехника и мелиорация. - № 7. - 1972. – С. 103-112.
127. Нерпин, С.В. Моделирование переноса влаги и испарения в верхних горизонтах почвенного профиля / С.В. Нерпин, А.А. Аракелян // Физиче-

ские, агроэкологические и технические основы управления средой обитания растений: сб. тр. по агрономической физике. - Л.: АФИ, 1980. – С. 57 - 75.

128. Нерпин, С.В. Использование численных методов расчета на ЭВМ водного режима почв в исследованиях по программированию урожая: методические рекомендации/ С.В. Нерпин, М.Я. Кузнецов, Г.А. Трубачева, Е.Д. Хлопотенков - Л: АФИ, 1981. – 70 с.

129. Нерпин, С.В. О способах учета поглощения влаги корнями растений при моделировании влагообмена на сельскохозяйственном поле/ С.В. Нерпин, М.Г. Саноян, А.А. Аракелян //Докл. ВАСХНИЛ. - 1976. - № 9. – С. 40- 42.

130. Нерпин, С.В. Энерго-и массообмен в системе растение-почва-воздух/ С.В. Нерпин, А.Ф. Чудновский -Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 358 с.

131. Новосельский, С.Н. Решение некоторых краевых задач влагопереноса при наличии источников орошения: дис. ... канд. физ.-мат. наук/ С.Н. Новосельский - Калинин, 1981. – С. 9 - 53.

132. Никитенков, Б.Ф. Некоторые вопросы теории движения тепла, влаги, почвенного воздуха и солей в мерзло-талых почвогрунтах / Б.Ф. Никитенков //Сельскохозяйственная мелиорация: тр. МГМИ.- 1974.- Т. 36. – С. 65-70.

133. Овчинников, А.С. Капельное орошение сладкого перца в условиях Волго-Донского Междуречья / А.С. Овчинников, О.В. Данилко // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сб. науч. тр. / Мещерский филиал ВНИИГиМ им. Костякова. – Рязань, 2004. – С. 388-391.

134. Овчинников, А.С. Ресурсосберегающая технология капельного орошения сладкого перца / А.С. Овчинников, О.В. Данилко, М.М. Гавра // Ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии и техника в орошаемом земледелии: сбор. науч. докладов междунар. науч.- практ. конф. – Коломна: ФГНУ ФГНУ ВНИИ «Радуга», 2004. – С. 89-90.

135. Паршин, В.А. Биоэнергетическая оценка технологий возделывания сельскохозяйственных культур/ В.А. Паршин, М.М. Оконов, Т.И. Бакинова - Элиста, АПП «Джангар», 1997. – 160 с.
136. Пашковский, И.С. Методы определения инфильтрационного питания по расчетам влагопереноса в зоне аэрации/ И.С. Пашковский - М.: Изд. МГУ, 1973. – С. 5 - 66.
137. Плодоводство /Под ред. Н.А. Потапова - М.: Колос, 2000. – С.54 - 57.
138. Плодовые культуры: Справочник / Сост. Р.П. Кудрявей - М.: Агропром - издат, 1991. - С. 218 - 229.
139. Перехрест, С.М. Орошение земель юга Украины / С.М. Перехрест - Киев: Изд. АН УССР, 1962. – С. 217 - 218.
140. Писаренко, В.А. Режимы орошения сельскохозяйственных культур / В.А. Писаренко, Е.М. Горбатенко, Д.Р. Йокич. – Киев: Урожай, 1988. – 95 с.
141. Полубаринова-Кочина, П.Я. Теория фильтрации жидкостей в пористых средах / П.Я. Полубаринова-Кочина, С.В. Фалькович // Прикладная математика и механика. – М., 1947. – Т. 11. – Вып. 6. – С. 629-674.
142. Перекрестов, Н.В. Экологические аспекты орошения агроландшафтов Нижнего Поволжья / Н.В.Перекрестов, А.Д. Ахмедов //Основы достижения устойчивого развития сельского хозяйства: материалы междунар. науч.-практ. конф. ВГСХА.- Волгоград, 2004. – С 147 - 148.
143. Роде, А.А. Водные свойства почв и грунтов / А.А. Роде. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – С. 182-259.
144. Роде, А.А. Методы изучения водного режима почв / А.А. Роде. – М.: Изд-во. АН СССР, 1960. – 244 с.
145. Роде, А.А. Основы учения о почвенной влаге. Водные свойства почв и передвижение почвенной влаги/ А.А. Роде - Л.: Гидрометеиздат, 1965. - Т. 1. – С. 362 - 621.
146. Роде, А.А. Почвенная влага / А.А. Роде - М.: Изд. АН СССР, 1952. – С. 338 - 430.

147. Рабочев, И.С. Применение модели тепловлагодпереноса в почвогрунтах для расчета суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур/ И.С. Рабочев, Л.М. Рекс, Э.Г. Пягай, А.М. Якиревич //Почвоведение - 1981. -№1. – С. 50 - 59.

148. Рекс, Л. М. Расчет процессов тепловлагодпереноса в почвогрунтах (одномерная задача)/ Л. М. Рекс, И. Е. Рекс, А. М. Якиревич - ГФАП. - П003456. - М., 1978. – С. 113 - 119.

149. Романов, В. И. Влияние фазовых переходов на влагодперенос в мелиоративных почвах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.03/ В. И. Романов - М., 1985. – 18 с.

150. Розин, В.А. Грунтовый лоток для исследований влажности корнеобитаемого слоя почвы на физической модели / В.А. Розин // Физическое и математическое моделирование в мелиорации ВАСХНИЛ. - М., 1973. – С. 271 - 275.

151. Росс, Ю.К. Математическое моделирование фотосинтетической продуктивности растений / Ю.К. Росс //Вестник АН СССР, 12. - 1972. – С. 99 - 104.

152. Рыбакова, С.Т. Исследование взаимосвязи почвенных и грунтовых вод при орошении/ С.Т. Рыбакова, В.И. Сабинин //Прикл. мат. и тех. физ. - 1978. - № 2. – С. 166 - 173

153. Сиротенко, О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем/ О.Д. Сиротенко - Л.: Гидрометиздат, 1981. – 167 с.

154. Соколов, А.Л. Оптимизация управления водным режимом сельскохозяйственных культур с учетом влагодпереноса: дис. ... канд. тех. наук/ А.Л. Соколов - М., 1985. – С. 32 - 141.

155. Судницын, И.И. Движение почвенной влаги и потребление растений/ И.И. Судницын - М.: МГУ, 1979. – 89 с.

156. Судницын, И.И. Влияние концентрации корней на доступность почвенной влаги для растений/ И.И. Судницын, Е.В. Шеин // Проблемы почвоведения. - М., 1978. – С. 34 - 41

157. Судницын, И.И. Закономерности передвижения почвенной влаги/ И.И. Судницын - М.: Наука, 1964. – С. 64 - 116.

158. Судницын, И.И. Уточненный метод определения коэффициента влагопроводности почв/ И.И. Судницын, Е.В. Шеин // Биологические науки. - М., 1975. - № 6. – С. 136 - 144.

159. Струнников, Э.А. Об изменчивости биологических коэффициентов при расчете водопотребления сельскохозяйственных культур / Э.А. Струнников // Гидротехника и мелиорация. – 1977. – №12. – С. 52-53.

160. Справочник по орошаемому земледелию/В.И. Остапов, Б.И. Лактионов, В.А. Писаренко и др.; Под ред. В.И. Остапова.- Киев: Урожай, 1984. – С. 135-136.

161. Справочник мелиорация и водное хозяйство. Экономика /Под ред. В.Ф. Маховикова. - М.: Колос, 1984. - Т. 1. – 255 с.

162. Справочник по гидравлическим расчетам /Под ред. П.К. Киселева. - М.: Энергия, 1974. – С. 74 - 75.

163. Слейчер, Р.О. Водный режим растений/ Р.О. Слейчер - М.:Мир, 1970. – 365 с.

164. Санников, В.П. Научно-методические аспекты формирования экономических требований для мелиорации земель/ Санников В.П. - НГМА. - Новочеркасск, 1996.- 24 с.

165. Трубачева, Г.А. Математическое моделирование агрометеорологического режима почв: дис. ... канд. техн. наук: 11.00.09/ Г.А. Трубачева - Л., 1985. – 180 с.

166. Устенко, Г.П. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах как основа формирования высоких урожаев / Г.П. Устенко // Фотосинтез и вопросы продуктивности растений. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – С. 37-70.

167. Филимонов, М.С. Современные методы определения суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур/ М.С. Филимонов // Режимы орошения сельскохозяйственных культур в Нижнем Поволжье. – Волгоград, 1981. – С. 3-11.

168. Филимонов, М.С. Определение сроков полива расчетным методом с использованием зональных биоклиматических коэффициентов / М.С. Филимонов, М.К. Сухинина // Режимы орошения сельскохозяйственных культур в Нижнем Поволжье. – Волгоград, 1981. – С. 12-20.

169. Флюорцэ, И.С. Управление поливным режимом / И.С. Флюорцэ // Садоводство и виноградарство.- 1989.- №6. – С. 11...14.

170. Чернышевская, Л.Е. Исследование передвижения влаги при подпочвенном орошении: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02/ Л.Е. Чернышевская - Киев, 1969. – С. 7 - 17.

171. Шумаков, Б.Б. Интенсификация использования водных ресурсов в орошаемой земледелии / Б.Б. Шумаков // Вестник сельскохозяйственной науки. - 1983. - № 10. – С. 109 - 116.

172. Шашко, Д.И. Агроклиматическое районирование СССР / Д.И. Шашко. – М.: Колос, 1967. – 334 с.

173. Шумаков, Б.Б. Методические рекомендации по определению энергетической эффективности орошения / Б.Б. Шумаков и др. – М.: РАСХН, 1989. – 42 с.

174. Якиревич, А.М. Расчеты влагопереноса в почвогрунтах с учетом распределения корневой системы растений/ А.М. Якиревич // Обоснование допустимых глубин грунтовых вод орошаемых земель. - М., 1987. – С. 126 - 132.

175. Янгарбер, В.А. Математические исследования некоторых задач движения почвенной влаги: автореф. дис. ... канд. физ. - мат. наук/ В.А. Янгарбер - Л.: Агрофизический НИИ, 1967. – С. 2 - 15.

176. Ясониди, О.Е. Проектирование систем капельного орошения / О.Е. Ясониди // Тр. НИМИ. – Новочеркасск, 1984. – 101 с.

177. Ясониди, О.Е. Капельное орошение на Северном Кавказе: Ростов-на-Дону / О.Е. Ясониди. – изд. Ростовского университета, 1987. – 76 с.

178. Ясониди, О.Е. Режим капельного орошения яблоневого сада/ О.Е. Ясониди, В.Д. Калинин //Информационный листок Ростовского ЦНТИ. – 585-84 – Новочеркасск, 1984. – 3 с.

179. Antonio, J. El riego localizado en cultivo hortícolas en la Region de Murcia/ Antonio J., Garcia Moya. //Agricola vergel. - ANO XVI. - Num 184. - 1997. Espania.

180. Breazeale, D. Feasibility of Subsurface Drip Irrigation for Alfalfa./ Breazeale D., Beufeld J.// 2000 Journal of the ASFMRA. USA. Or U. Drip irrigation as a powerful tool for environmental protection International Water and Irrigation Review, 1996. - vol.16. - No 1. Israel.

181. Havard, P.L. Linkflow, a Water Flow Computer Model for Water Table Management: Part I. Model Development./ Havard P.L., Prasher S.O., Bonnell R.B., Madani A.// Transactions of the ASAE - American Society of Agricultural Engineers, 1995. - Vol. 38 (2).

182. Hausenberg, I. Soil-water-plant relationships. – Israel, 1995. – P. 5-6.

183. Janert, H. Neue wege der Untergrund bewasserung/ Janert H.// D. Kulturtechniker. - N 1/2. - 1937.

184. Кирилов, К. Влияние на два начина на локализирано напояване върху разположението на кореновата система на яблковата подложка ММ106 / К. Кирилов, К. Дойчев // Растениевъдни науки, год XXXIII, No. 8, София, 1996.

185. Michelakis, N. Plant growth and yield response of the olive tree cv. Kalamon, for different levels of soil water potential and methods of irrigation / N. Michelakis, E. Youyoukalou, G. Clapaki // Advances in Horticultural Science, 9 (1995).

186. Trooien, T.R. Subsurface Drip Irrigation Using Livestock Wastewater: Dripline Flow Rates. Applied Engineering in Agriculture/ Trooien T.R., Lamm

F.R., Stone L.R., Alam M., Rogers D.H., Clark G.A., Schlegel A.J. September 2000. - vol. 16. - No. 5. - USA.

187. Yabe, K. Studies on the Optimum Number of Watering Plants Porous Pipe under the Sub-irrigation Method by Using Negative Pressure Difference / K. Yabe, T. Tanigawa // Bulletin of University of Osaka Prefecture, Ser. B., vol.44, 1992, Osaka, Japan.

188. Or, U. Drip irrigation as a powerful tool for environmental protection / U. Or // International Water Irrigation Review, 1996, vol.16, No 1. Israel.

Среднемесячная температура воздуха, °С

Годы	Месяцы												Среднее за год
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	
Средн. многол.	-10,0	-10,0	-4,0	7,0	15,5	20,0	23,0	20,5	14	6,0	-1,0	-7,0	+6,2
2010	-7,6	-7,1	0,1	8,0	16,0	23,4	23,8	20,5	15,1	6,3	-4,0	-6,3	+7,4
2011	-9,7	-6,3	0,1	7,9	16,3	21,7	21,3	20,6	12,2	8,0	-0,4	-8,3	+6,9
2012	-14,5	-9,3	-7,9	7,1	19,6	20,1	23,7	20,9	12,9	6,5	4,2	-6,1	+6,4

Среднемесячная сумма осадков вегетационного периода, мм

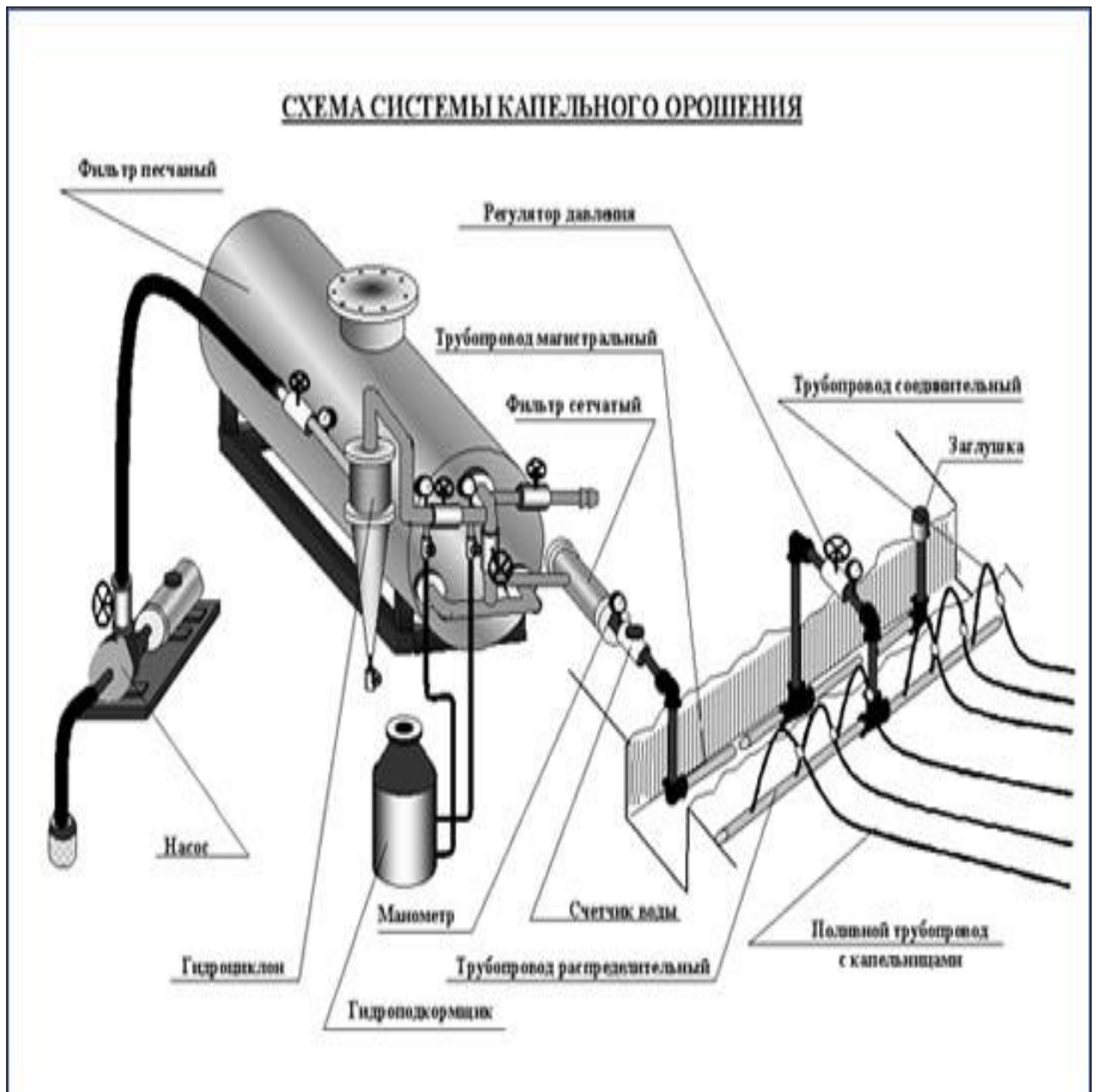
Годы	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Сумма за вегетации
Средн. многол.	30,00	39,0	53,0	48,0	43,0	30,0	243,0
2010	46,8	13,8	10,3	31,4	17,0	1,1	120,4
2011	15,2	34,6	92,2	57,1	4,5	24,8	228,4
2012	15,3	2,7	50,5	46,0	10,9	35,7	161,1

Среднемесячная относительная влажность воздуха за вегетационный период, %

Годы	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Среднее за вегетации
Средн. многол.	57	62	58	59	62	57	59
2010	68	57	53	56	57	54	58
2011	67	60	64	65	52	66	62
2012	72	51	62	51	47	70	59

Оценка погодных условий в период проведения исследований по гидротермическому коэффициенту Г.Т. Селянинова

Годы	Месяцы	Сумма осадков, мм	Сумма температур, °С	ГТК	Оценка погоды
2010	апрель	46,8	240,0	1,95	влажная
	май	13,8	496,0	0,28	сухая
	июнь	10,3	702,0	0,15	сухая
	июль	31,4	737,8	0,43	сухая
	август	17,0	635,5	0,27	сухая
	сентябрь	1,1	453,0	0,02	сухая
	за вегетацию	120,4	3264	0,37	сухая
2011	апрель	15,2	237,0	0,64	засушливая
	май	34,6	505,3	0,68	засушливая
	июнь	92,2	651,0	1,42	влажная
	июль	57,1	660,3	0,86	засушливая
	август	4,5	638,6	0,07	сухая
	сентябрь	24,8	366,0	0,68	засушливая
	за вегетацию	128,4	3058	0,75	засушливая
2012	апрель	15,3	213,0	0,72	засушливая
	май	2,7	607,6	0,04	сухая
	июнь	50,5	603,0	0,84	засушливая
	июль	46,0	734,7	0,63	засушливая
	август	10,9	647,9	0,17	сухая
	сентябрь	35,7	387,0	0,92	засушливая
	за вегетацию	161,1	3193	0,50	сухая



Пример расчета максимальной молекулярной влагоемкости и
давления почвенной влаги в системе MATCAD 2000/PRO

$$m := 36.4 \quad W_1 := 33.8 \quad W_2 := 4.63 \quad h_k := 3$$

$$W := \frac{m \cdot (W_1 - W_2)^{\frac{10}{7}} - W_1 \cdot (m - W_2)^{\frac{10}{7}}}{(W_1 - W_2)^{\frac{10}{7}} - (m - W_2)^{\frac{10}{7}}}$$

$$\psi := -h_k \cdot \sqrt[3]{\frac{10}{7 \cdot 2.7} \ln \left(\frac{W - W_2}{m - W_2} \right)}$$

$$W = 13.758$$

$$\psi = 2.612$$

m – пористость, %; W_1 – полная влагоемкость, %; W_2 – максимальная гигроскопичность, %; h_k – высота капиллярного поднятия, м; W – максимальная молекулярная влагоемкость, %; ψ – давление почвенной влаги, м. вод. ст.

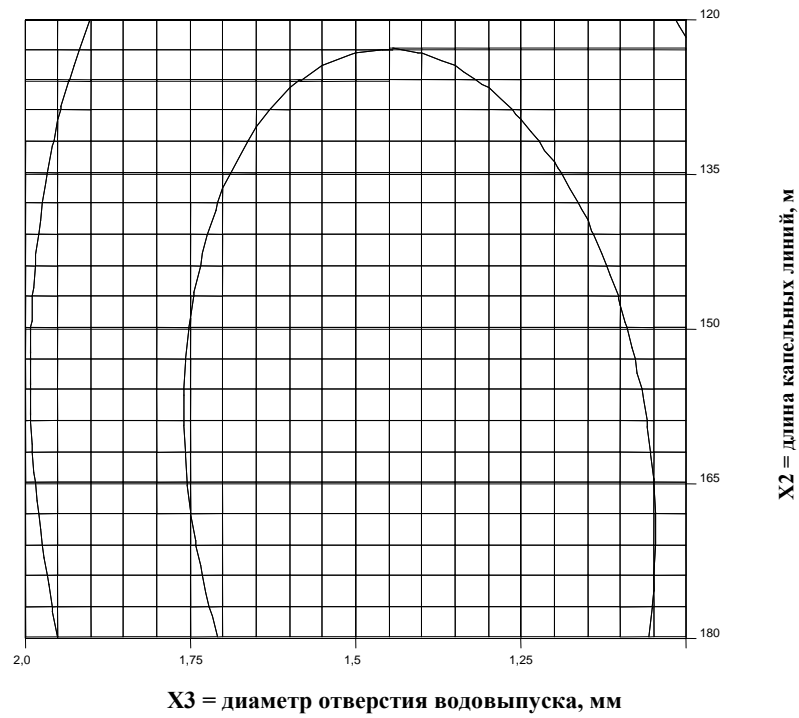


Рисунок 4.4 – Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее среднее квадратическое отклонение расхода воды в начале капельных линий при оптимальном значении X_1

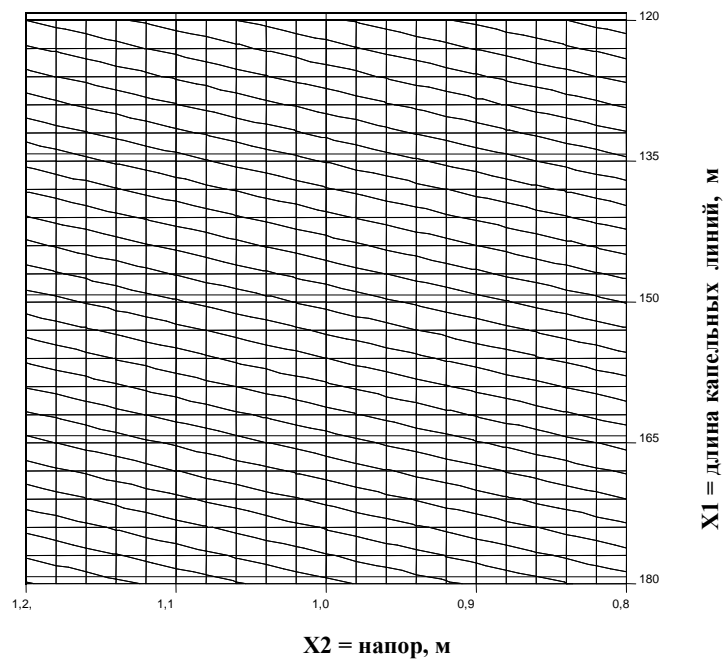


Рисунок 4.5 – Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее среднее квадратическое отклонение расхода воды в начале капельных линий при оптимальном значении X_3

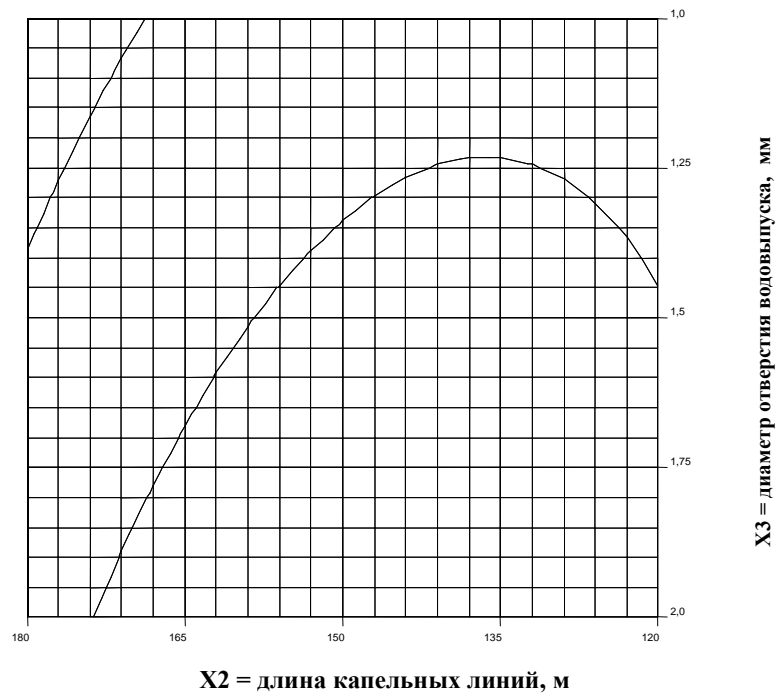


Рисунок 4.6 – Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее среднее квадратическое отклонение расхода воды в середине капельных линий при оптимальном значении X_1

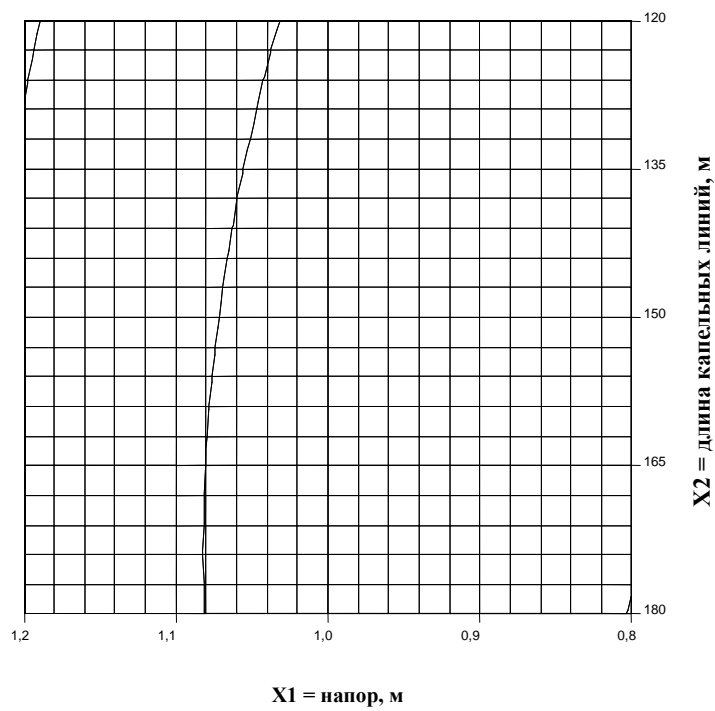


Рисунок 4.7 – Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее среднее квадратическое отклонение расхода воды в середине капельных линий при оптимальном значении X_3

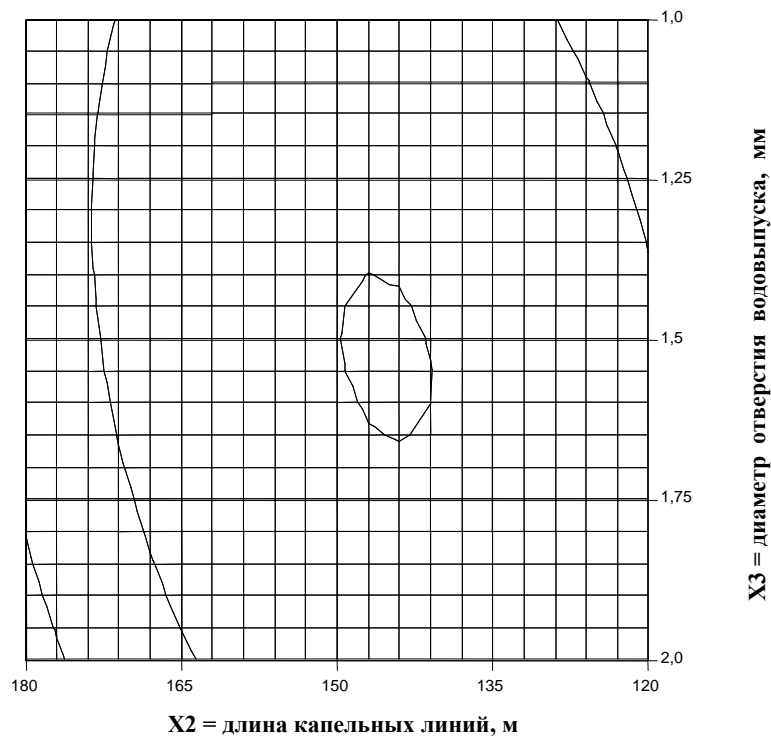


Рисунок 4.8 – Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее среднее квадратическое отклонение расхода воды в конце капельных линий при оптимальном значении X_1

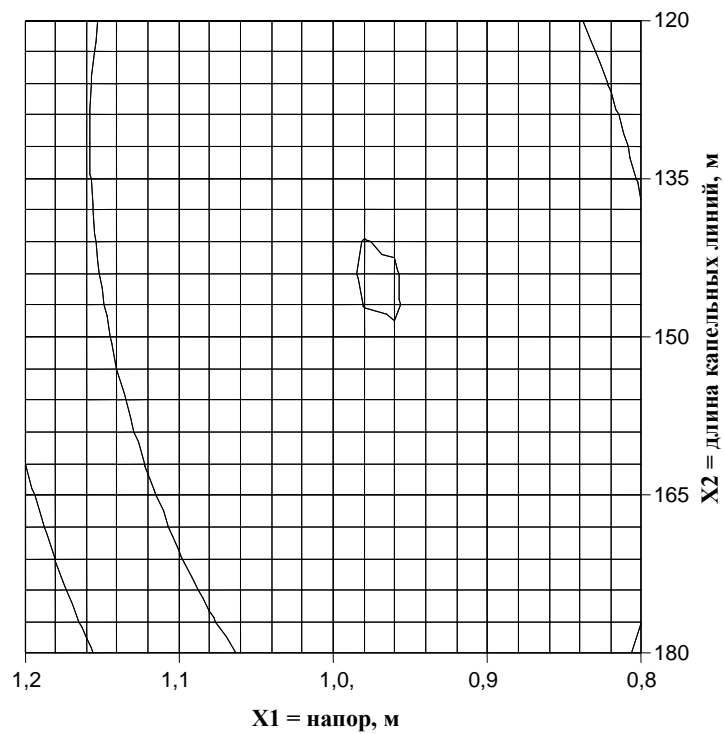


Рисунок 4.9 – Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее среднее квадратическое отклонение расхода воды в конце капельных линий при оптимальном значении X_3

Приложение 10

Результаты дисперсионного анализа за 2010 г.

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _ф	F ₀₅
Общая	194,8068	35	-	-	-
Повторений	9,9510	2	-	-	-
Фактор (А)	18759,8443	2	9379,9218	2961,1592	3,37
Фактор (В)	-6214,8918	3	-2071,6301	-6539951	2,28
Взаимодействия (АВ)	12429,7843	6	-2071,6301	-653,9958	2,48
Остаток (ошибки)	69,6876	22	3,170	-	-

Ошибка опыта	1,02
Ошибка разности средних	1,4525
t (05)	2,0693
НСР (05) общая	3,0074
Ошибка разности средних по фактору А	0,7259
НСР (05) А	1,5034
Ошибка разности средних по фактору В	0,8383
НСР (05) В	1,7360
Ошибка разности средних по взаимодействию АВ	0,7259
НСР (05) АВ	1,5034

Приложение 11

Результаты дисперсионного анализа за 2011 г.

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _ф	F ₀₅
Общая	259,2593	35	--	-	-
Повторений	29,9710	2	8244,6393	-	-
Фактор (А)	16489,2793	2	-1809,6593	6730,7339	3,37
Фактор (В)	5428,9793	3	-1809,6593	-1477,3641	2,98
Взаимодействия (АВ)	10857,9593	6	1,2242	-1477,3641	2,48
Остаток (ошибки)	26,9483	22	-	-	-
Ошибка опыта				0,62	
Ошибка разности средних t (05)				0,9030	
НСР (05) общая				2,0693	
Ошибка разности средних по фактору А				1,8699	
НСР (05) А				0,4511	
Ошибка разности средних по фактору В				0,9346	
НСР (05) В				0,5210	
Ошибка разности средних по взаимодействию АВ				1,0793	
НСР (05) АВ				0,4511	
				0,9346	

Приложение 12

Результаты дисперсионного анализа за 2012 г.

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _ф	F ₀₅
Общая	623,3093	35	-	-	-
Повторений	2,2210	2	-	-	-
Фактор (А)	16308,1793	2	-8154,0893	3023,1712	3,37
Фактор (В)	-5248,8093	3	-1749,6026	-648-6740	2,98
Взаимодействия (АВ)	10497,6193	6	-1749,6026	-648,6740	2,48
Остаток (ошибки)	59,3376	22	2,6965	-	-
Ошибка опыта				0,93	
Ошибка разности средних				0,9030	
t (05)				2,0693	
НСР (05) общая				2,7751	
Ошибка разности средних по фактору А				0,6698	
НСР (05) А				1,3872	
Ошибка разности средних по фактору В				0,7735	
НСР (05) В				1,6019	
Ошибка разности средних по взаимодействию АВ				0,6698	
НСР (05) АВ				1,3872	