

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**

Автореферат
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов - 2015

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Волгоградский государственный аграрный университет»

Научный руководитель – Ахмедов Аскар Джангир оглы
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Храбров Михаил Юрьевич
доктор технических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией технологий орошения ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова

Новиков Андрей Евгеньевич
кандидат технических наук, заведующий лабораторией механизации и техники поливов отдела оросительных мелиораций ФГБНУ ВНИИОЗ

Ведущая организация – ГНУ «Поволжский НИИ эколого-мелиоративных технологий» (ГНУ ПНИИЭМТ)

Защита диссертации состоится 15 мая 2015 года в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 220.061.06 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова» по адресу: 410012, г. Саратов, ул. Советская, 60, ауд. 325 им. А.В. Дружкина

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» и на сайте: www.sgau.ru.

Отзыв на автореферат просим высылать по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл. 1, e-mail: dissovet01@sgau.ru

Автореферат разослан «_____» _____ 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета _____ Маштаков Дмитрий Анатольевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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. Бородычева (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 исследований - повышение эффективности использования водных ресурсов и урожайности за счет разработки техники и технологии капельного орошения яблоневого сада в условиях Волгоградской области.

Задачи исследований.

- 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 и методы 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 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 автору принадлежит 1,79 п.л.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отмечается актуальность исследований, определена цель, задачи, научная новизна и практическая значимость работы, а также основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Анализ состояния вопроса исследования» проанализированы перспективные способы полива в Южном Федеральном Округе и обоснована роль орошения в жизни плодовых культур. Результаты многочисленных исследований проведенных в различных условиях Российской Федерации показывают, что применение капельного орошения способствует уменьшению периодичности плодоношения, повышает зимостойкость и оказывает благоприятное влияние на общее развитие плодовых деревьев, способствует хорошей приживаемости их саженцев, позволяет получать стабильные урожаи с хорошим качеством плодов.

Во второй главе «Программа и методика экспериментальных исследований» рассматриваются климатические условия, схема и методика экспериментальных опытов.

Опытный участок, находящийся на территории ООО «Липовские сады» Ольховского района Волгоградской области, расположен в подзоне темно-каштановых почв.

Климатические условия Волгоградской области отличает резко континентальный климат, лето продолжительное, жаркое и сухое, зима холодная и малоснежная. По данным Ольховской метеорологической станции безморозный период длится более 155 дней. В это время температура воздуха составляет +10°C и выше. За весь вегетационный период сумма активных температур достигает 2700°C, а продолжительность солнечного сияния в год составляет 1800 часов.

В годы проведения исследований, пользуясь шкалой гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова (ГТК) вегетационный период яблоневого

сада по годам можно охарактеризовать следующим образом: 2010 г. - сухой (ГТК=0,37); 2011 г. - засушливый (ГТК=0,75); 2012 г. - сухой (ГТК=0,5).

На опытном участке основные водно-физические свойства почвы в слое 0,0...1,0 м характеризуются следующими данными: плотность почвы – 0,135 т/м³, наименьшая влагоемкость – 20,74 % от сухой массы и влажность завядания растения – 8,1 % .

Согласно схеме полевого опыта были приняты 4 варианта: 1 вариант – полив по бороздам при поддержании влажности почвы на уровне 80 % НВ (контроль); 2 вариант – капельное орошение при поддержании влажности почвы не ниже 70 % НВ; 3 вариант – капельное орошение при поддержании влажности почвы не ниже 80 % НВ; 4 вариант – капельное орошение при поддержании влажности почвы не ниже 90 % НВ.

Форма учетной делянки прямоугольная. 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.

На опытном участке при возделывании яблоневого сада применялась агротехника, разработанная для данной зоны. Исследования проводили по четырем сортам яблони: Голден Делишес, Корей, Айдоред и Глостер. Схема посадки деревьев 6×4 м, т.е. сад можно отнести к полуинтенсивному типу. Возраст сада 5 лет.

В целях всестороннего и глубокого изучения поставленных вопросов по общепринятой методике проводились следующие наблюдения и учты: плотность твердых фаз почвы – пикнометрическим способом; плотность почвы – методом режущих колец по Качинскому; наименьшая влагоемкость – методом заливки площадок; влажность – весовым методом; порозность и полная влагоемкость – расчетным методом.

В ходе исследований до и после полива, через 12 часов, 1, 3, 5 суток после полива на глубину до 1 м в интервалах через 0,1 м в трехкратной повторности на специальных площадках для определения влажности почвы образцы отбирались буром.

Каждый вариант опыта включает по 4 ряда деревьев, в ряду 20 деревьев. Их количество на каждом варианте - 80. При размещении вариантов были предусмотрены защитные ряды.

Для изучения корневой системы деревьев был использован метод, предложенный В.А. Колесниковым. Учет удельной урожайности деревьев яблони был проведен по методике Я.С. Нестерова. Дисперсионный анализ и статистическая обработка результатов полевых исследований проводилась по методу Б.А. Доспехова. Экономическая эффективность технологии возделывания яблоневого сада в условиях Волгоградской области при капельном орошении выполнена по методике Россельхозакадемии и МСХ РФ.

В третьей главе «Исследование режима влажности почвы и распределение влаги при капельном орошении» рассмотрены особенности равномер-

ности распределения влаги, динамика контура увлажнения почвы в зависимости от величины поливной нормы при капельном поливе садов.

Площадь контура увлажнения при поливе яблоневого сада в основном зависит от количества капельниц непосредственно устанавливаемых для полива одного растения. Преобразуя формулу А.Н. Костякова для одиночного растения (контура) расчетная поливная норма примет следующий вид:

$$m = 10 \cdot F \cdot h \cdot \gamma \cdot (\beta_{НВ} - \beta_{ПВ}), \quad (1)$$

где F – площадь питания растения, м²; h – глубина 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.

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

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

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

Преобразуем формулу (1) с учетом $F \cdot h = V_{ш.с}$, получим следующую для расчёта формулу поливной нормы:

$$m = 10 V_{ш.с} \gamma (\beta_{НВ} - \beta_{ПВ}). \quad (3)$$

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.

При оценке равномерности распределения влаги используем формулу академика С.Ф. Аверьянова. Это дает возможность раскрыть коэффициент влагопроводности в зависимости от степени насыщения почвы влагой:

$$K(W) = K_{\phi} \left(\frac{W - W^*}{P_{общ} - W^*} \right)^n, \quad (4)$$

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); $P_{общ}$ – пористость почвы; n – показатель степени, равный 3,5.

Для расширения использования области применения в пределах от максимальной гигроскопичности до полного водонасыщения показатель степени n увеличим до 5.

Сравнивая полученные формулы относительно W^* при влажности почвы $W = W_n$, определим выражение для максимальной молекулярной влагоемкости. Тогда

$$W^* = \frac{P_{\text{общ}}(W_n - W_m)^{10/7} - W_n(P_{\text{общ}} - W_m)^{10/7}}{(W_n - W_m)^{10/7} - (P_{\text{общ}} - W_m)^{10/7}}. \quad (5)$$

Следует отметить, что расчетные значения максимальной молекулярной влагоемкости по полученной формуле (5) соответствуют заданному интервалу (табл. 1), и изменяются в пределах от 68,6 до 72,2% НВ. Это указывает на корректность использования данной зависимости для определения значения ММВ в промежуточных вычислениях.

Таблица 1 - Основные расчетные значения максимальной молекулярной влагоемкости почвы

Мощность горизонта, м	Пористость, % объема почвы	Влагоемкость, %		Максимальная гигроскопичность, %	Максимальная молекулярная влагоемкость, %	
		полная	наименьшая		объема почвы	НВ
A + В _{ПАХ} - 0-0,25	49,0	31,6	22,8	4,53	16,3	72,2
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 необходимо использовать метод составления эпюр влажности почвенного профиля (рис. 1).

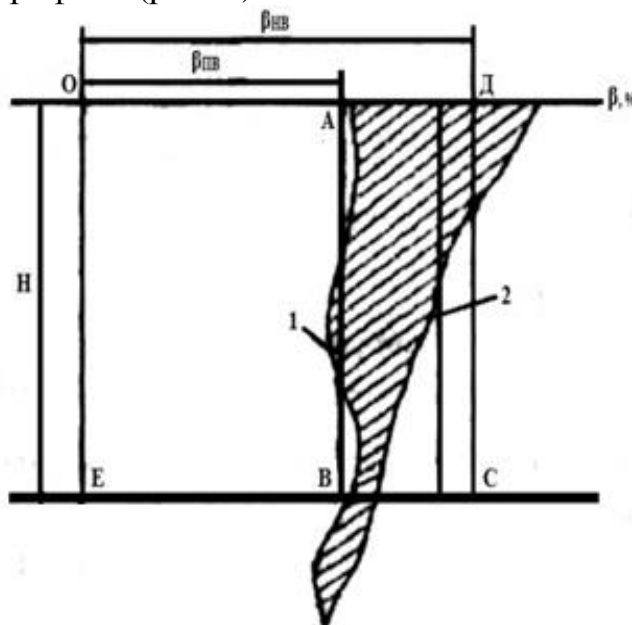


Рисунок 1 – Эпюры влажности почвы по объему питания растений: АВ, характеризующая среднюю предполивную влажность почвы ($\beta_{\text{ПВ}}$); ДС - 100% НВ ($\beta_{\text{НВ}}$) до их пересечения с горизонтальной линией ЕС - границей расчетного слоя почвы.

Анализируя характер распределения влажности почвы по объему питания растений можно отметить, что при равномерном распределении влаги по всему расчетному объему почвы эпюра влажности почвы должна иметь форму прямоугольника и располагаться в плоскости ABCD. Тогда поливная норма m будет эквивалентна площади ABCD, а объем воды, эквивалентен какой-либо части эпюры. Следовательно, учитывая данные утверждения можно записать:

$$W_m = W_{\text{ABCD}} = h(\beta_{\text{НВ}} - \beta_{\text{ПВ}}) \quad (6)$$

$$W = P_{\text{азр}} \cdot W_{\text{ч.з}} / W_m \quad (7)$$

где $P_{aэр.}$ - порозность почвы; $W_{ч.э.}$ - площадь эяюры.

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 была проведена серия опытов в ООО «Липовские сады» Ольховского района Волгоградской области. Исследования проводились при разных поливных нормах с установкой соответственно одной, двух и четырех капельниц около ствола дерева.

По результатам полученных данных установлено, что распространение влаги в почве и её контур увлажнения зависят от подаваемой поливной нормы, т.е. от объема водоподачи (рис. 2, табл. 2).

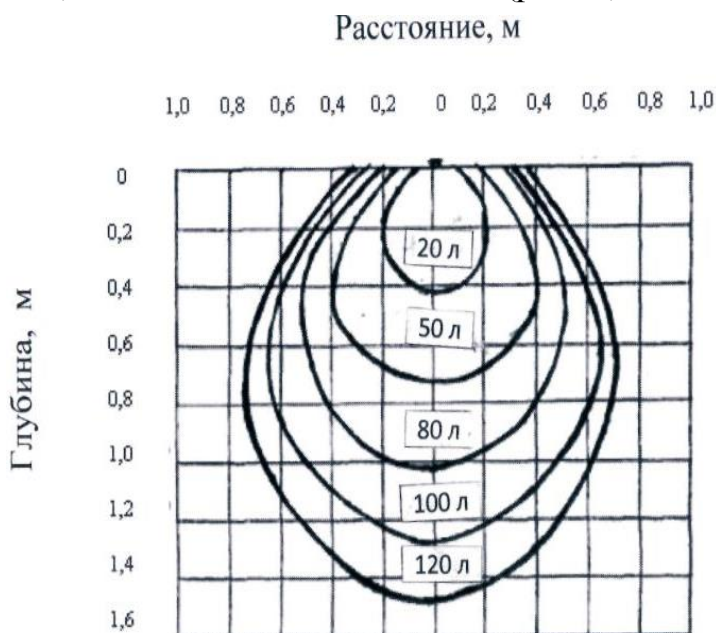


Рисунок 2 – Контур увлажнения почвы при подаче объема воды, равного 20, 50, 80, 100 и 120 л.

Установлено, что с установкой одной капельницы около ствола дерева необходимо подавать растениям за один полив в объеме не более 50 - 80 л воды. При увеличении поливной нормы более 80 л/дерево, возрастают потери воды на фильтрацию, т.е. происходит

глубинный сброс.

Таблица 2 - 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 рядка деревьев $l_{ср}$, 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} , M^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 зоне распространения корневой системы растений устанавливая две и четыре капельницы 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.

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

Таблица 3 – Процесс формирования и динамика изменения основных параметров контура увлажнения почвы

Поливная норма, м ³ /га	Параметры контура увлажнения					
	Время после полива, сут.	Высота H , м	Ширина L , м	Площадь S , м ²	$K_{\text{ЭФ}}$	$K_{\text{ЭФ}}^{\text{CP}}$
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	

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

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 (рис. 3).

На основании полученных результатов исследований можно отметить, что малые поливные нормы ($170 \text{ м}^3/\text{га}$) создают более равномерное увлажнение по всему профилю почвы.

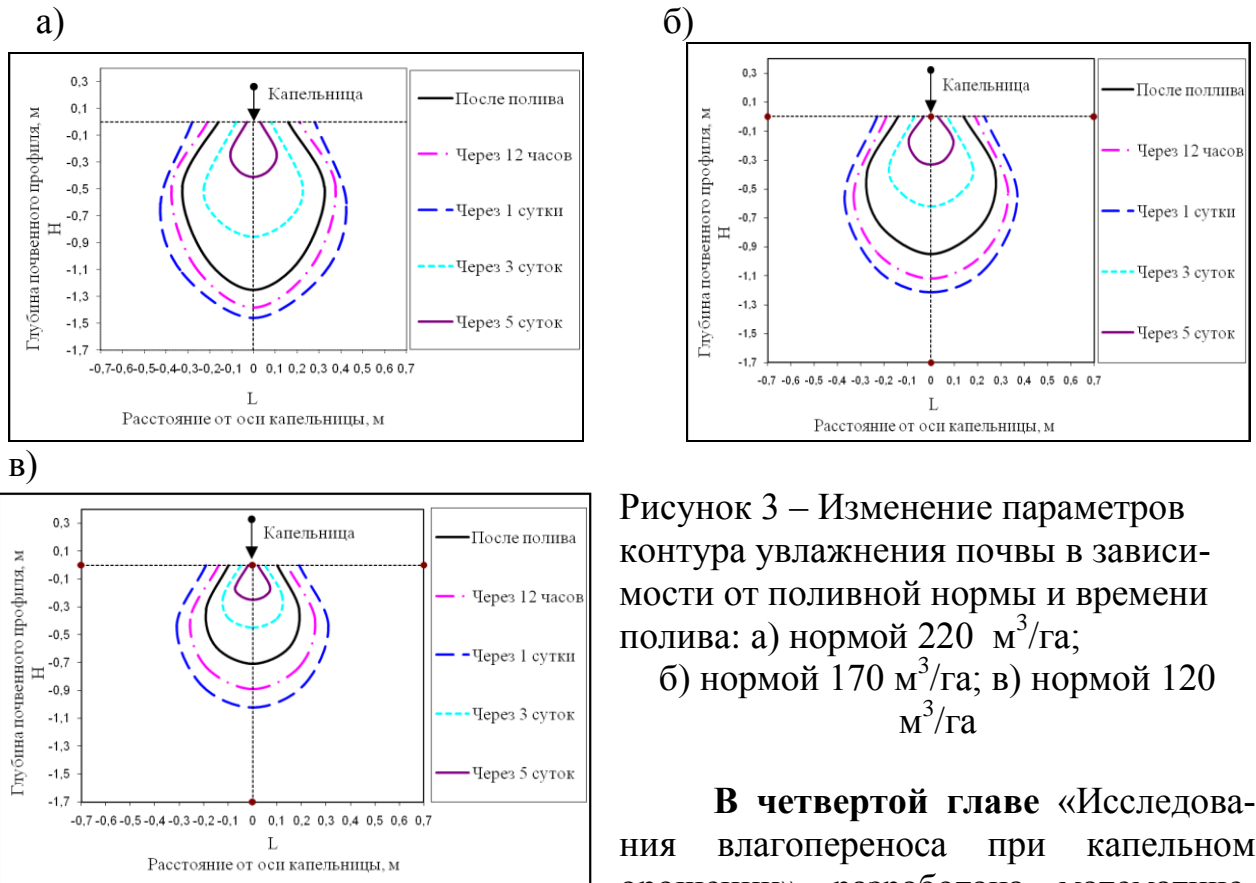


Рисунок 3 – Изменение параметров контура увлажнения почвы в зависимости от поливной нормы и времени полива: а) нормой $220 \text{ м}^3/\text{га}$; б) нормой $170 \text{ м}^3/\text{га}$; в) нормой $120 \text{ м}^3/\text{га}$

В четвертой главе «Исследования влагопереноса при капельном орошении» разработана математическая модель прогнозирования влагопереноса в корнеобитаемом слое почвы и расчеты влагопереноса при капельном орошении.

Создание оптимальных условий для роста и 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 представить по формуле П.Я. Полубариновой-Кочиной:

$$e \frac{\partial \phi}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_B \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) - g \frac{\partial K_B}{\partial z} + Q(z, t), \quad (8)$$

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.

Здесь необходимо учитывать, что объемная влажность e и коэффициент влагопроводности K_B в полевых условиях устанавливаются опытным путем.

При решении данного уравнения (8) поглощения влаги корневой системы Q , корнеобитаемый слой почвы можно делить на две зоны:

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

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

$$Q = \frac{E_0 K_B m_{кор}}{hc} \int_0^{hc} K_B m_{кор} dz \quad (9)$$

где E_0 - транспирация растений; $m_{кор}$ - масса корней в единице объема почвы определяется в относительных цифрах.

Нами предлагается математическая модель, которая дает возможность при помощи ПК прогнозировать, и при необходимости, корректировать влагообмен, который происходит в корнеобитаемом слое почвы.

При определении 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. При этом параметр, характеризующий почву β и коэффициент диффузии D_0 можно определить по следующим формулам:

$$\beta = \frac{1}{W_1 - W_0} \ln \left[\frac{3(W_1 - W^*)^{3,5}}{W_1^2 (W_0 - W^*)^{3,5} \left(\frac{1}{W_0^2} + 2 \frac{W_0}{W_1^3} \right)} \right], \quad (10)$$

$$D_0 = \frac{K_\phi \psi^* W^*}{1 - (W^*/W_1)^3} \left(\frac{W_0 - W^*}{W_1 - W^*} \right)^{3,5} \left(\frac{1}{W_0^2} + \frac{W_0}{W_1^3} \right) \quad (11)$$

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.

Для определения значения полной влагоемкости при передвижении влаги в определенном направлении (горизонтально и вертикально вниз) параметр, характеризующий почву β и коэффициент диффузии D_0 , при различной влажности почвы изменяются по-разному (табл. 4).

На основании полученных данных строятся графики зависимостей параметра, характеризующего почву β и коэффициента диффузии D_0 от влажности W (рис. 4).

Таблица 4 – Значение коэффициента диффузии D_0 и параметра, характеризующего почву β в зависимости от предполивной влажности почвы

Направление вагопереноса	Начальная влажность, % НВ					
	70 % НВ		80 % НВ		90 % НВ	
	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

Анализируя полученные кривые можно отметить, что для различных почвенных условий полученные зависимости имеют аналогичный вид. При этом возрастание или убывание обусловлено в конкретной степени водно-физическими свойствами почвогрунтов. Однако, в зависимости от влажности почвы изменение величины коэффициента диффузии D_0 , аналогично изменению коэффициента влагопроводности, носит возрастающий характер. Это связано с тем, что между двумя данными параметрами существует прямая зависимость.

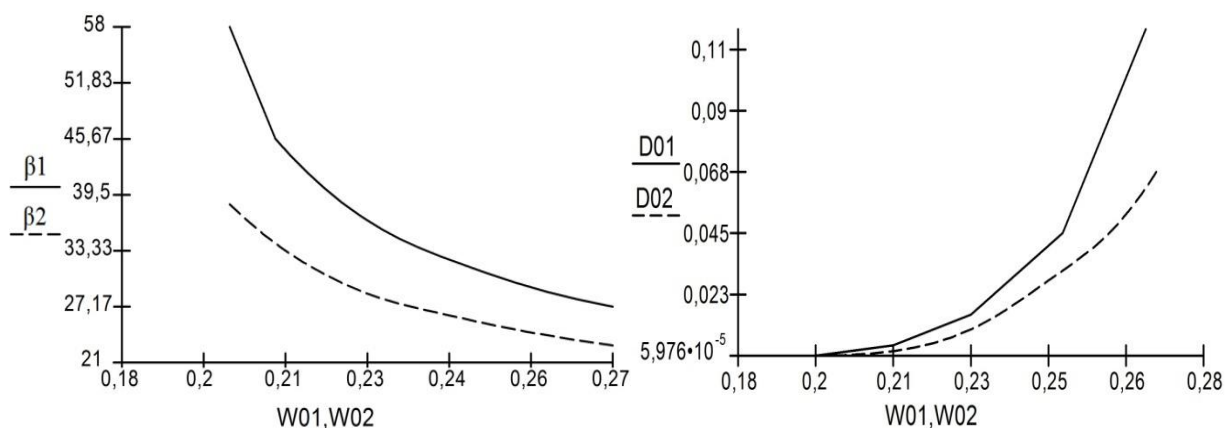


Рисунок 4 – Графики зависимостей параметра, характеризующего почву и коэффициента диффузии от влажности почвы

В отличие от коэффициента диффузии D_0 , по мере увеличения влажности почвы значение параметра, характеризующего почву β начинает снижаться. Это объясняется тем, что с повышением влажности сила всасывания воды почвой падает.

При капельном поливе качество водораспределения в основном зависит от параметров систем. Поэтому для обоснования основных параметров в качестве факторов были выбраны: напор в системе H (X_1), длина капельных линий L (X_2), диаметр отверстия водовыпуска d (X_3).

Задача оптимизации решалась методами теории планирования эксперимента. Критерием работы всей оросительной системы, как показывают ис-

следования, являлось равномерность распределения влаги по всей длине капельных линий, т.е. в начале, середине и в конце капельных линий.

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

в начале:

$$Y_1 = 5,523 + 0,436 x_1 - 2,511 \cdot 10^{-2} x_2 + 4,779 \cdot 10^{-6} x_3 + 0,186 x_1 x_2 + 0,311 x_1 x_3 + 1,261 x_2 x_3 + 1,174 x_1^2 + 0,324 x_2^2 + 0,199 x_3^2; \quad (12)$$

в середине:

$$Y_1 = 4,761 + 0,486 x_1 - 0,136 x_2 + 3,110 \cdot 10^{-6} x_3 - 0,161 x_1 x_2 + 0,086 x_1 x_3 + 0,886 x_2 x_3 + 0,586 x_1^2 + 0,086 x_2^2 + 0,461 x_3^2; \quad (13)$$

в конце:

$$Y_1 = 5,048 + 0,436 x_1 + 0,186 x_2 + 0,261 x_3 + 0,386 x_1 x_2 + 0,411 x_1 x_3 + 1,111 x_2 x_3 + 1,249 x_1^2 + 0,399 x_2^2 + 0,124 x_3^2. \quad (14)$$

После дифференцирования формул (12), (13), (14) система уравнения позволяет по критериям оценки определить оптимальные значения факторов. При этом компромиссный оптимум находится в точке с координатами:

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

Подставив найденные численные значения факторов компромиссного оптимума в уравнения регрессии, получим значения критериев оптимизации:

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

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

В пятой главе «Режим орошения и водопотребление яблоневого сада при капельном орошении» даны режим орошения, водопотребления, урожайность и энерго-экономическая оценка возделывания яблоневого сада при капельном орошении в условиях Волгоградской области.

Таблица 5 – 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

В опытах влажность почвы составила не ниже 80 % НВ. По годам исследований количество поливов составило: в 2010 - 8 и 26, в 2011 - 6 и 21, в 2012 - 7...23 по бороздам и капельному орошению соответственно. Увеличение количества поливов при капельном орошении в основном объясняется техникой полива и применяемыми нормами полива (табл. 5).

Сравнивая оросительные нормы при капельном и бороздковом поливе, следует отметить, что применение капельного полива позволяет экономить оросительную воду в среднем на 30...35 %. Это в условиях растущего дефицита пресных вод, к которым относится и Волгоградская область, является первостепенным.

Одним из основных элементов характеризующим режим орошения сельскохозяйственных культур является суммарное водопотребление. Сравнивая капельное орошение с бороздковым (80 % НВ), можно отметить, что водопотребление при бороздковом поливе составило 7642 м³/га, а при капельном - 6154 м³/га, что на 1488 м³/га меньше. Отсюда следует, что при капельном орошении экономия воды составляет около 30 % на гектар.

Для наглядного представления о суммарном водопотреблении необходимо проанализировать его структуру. На структуру водопотребления наибольшее влияние оказывают применяемые способы полива, режим орошения и сумма осадков вегетационного периода (рис. 5).

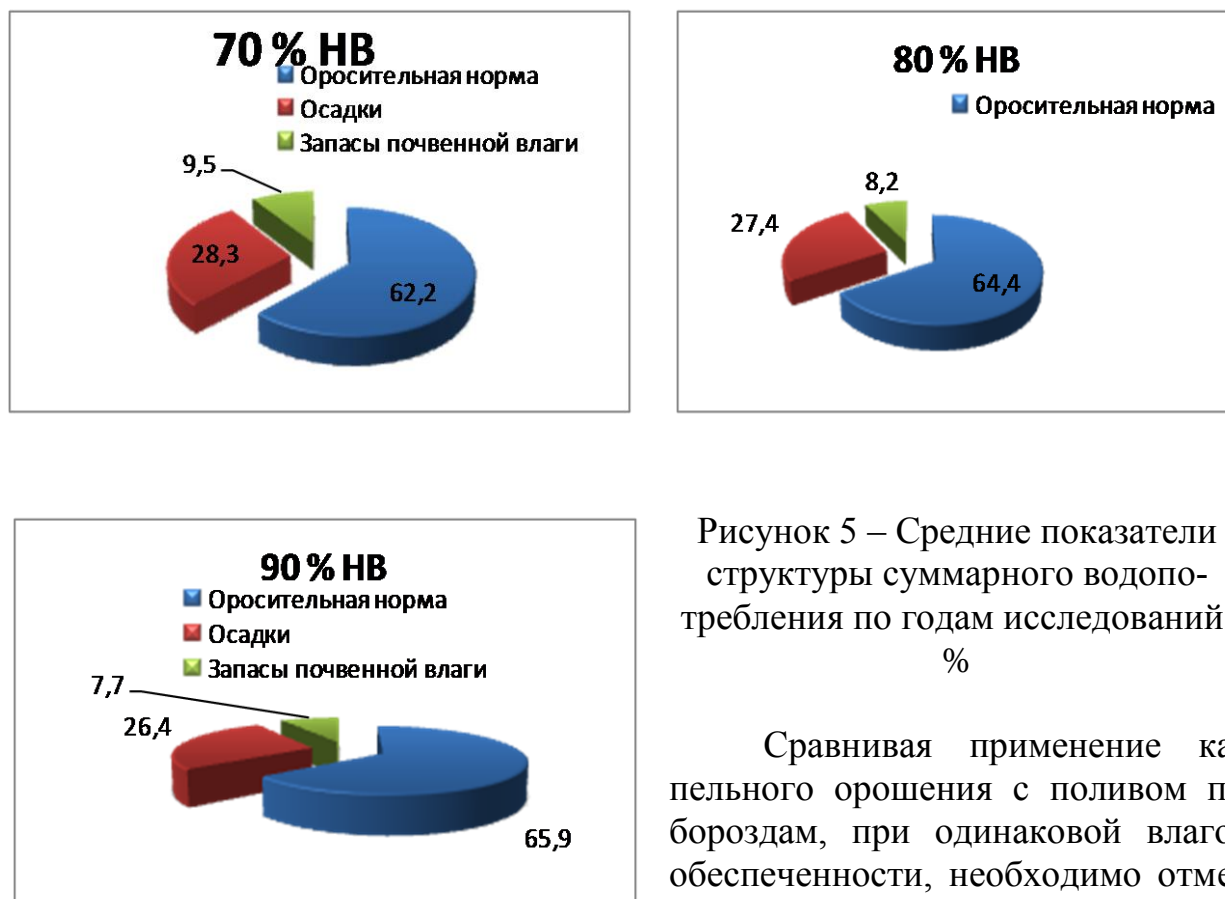


Рисунок 5 – Средние показатели структуры суммарного водопотребления по годам исследований, %

Сравнивая применение капельного орошения с поливом по бороздам, при одинаковой влагообеспеченности, необходимо отметить, что капельное орошение спо-

способствует снижению коэффициента водопотребления по сравнению с бороздковым поливом на 25,8...31,5 %.

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

По результатам исследований получены графические зависимости (рис. 6 - 7) урожайности яблоневого сада (У) от суммарного водопотребления, оросительной нормы, коэффициента водопотребления и затрат оросительной воды. Уравнения регрессии полученных зависимостей имеют вид:

$$Y = 0,007x - 17,53; R^2=0,903; \quad Y = - 0,073x + 44,35; R^2=0,884; \quad (15)$$

$$Y = - 0,005x + 49,18; R^2=0,936; \quad Y = - 0,114x + 44,01; R^2=0,901. \quad (16)$$

Из формул (15), (16) видно, что корреляционная связь является достаточно сильной.

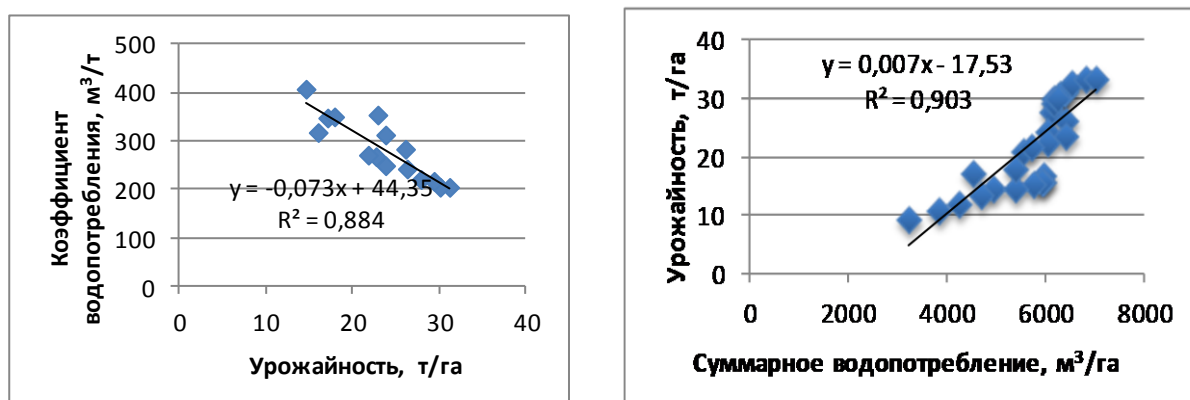


Рисунок 6 – График зависимости урожайности яблоневого сада от суммарного водопотребления и коэффициента водопотребления

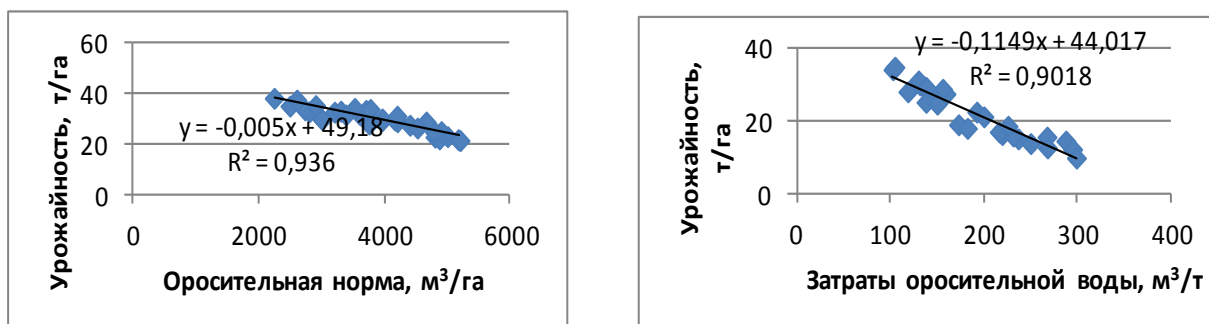


Рисунок 7 – График зависимости урожайности яблоневого сада от оросительной нормы и затрат оросительной воды

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 минимальных затратах оросительной воды на создание единицы продукции с поливной нормой 170 м³/га в данных почвенно-климатических условиях Волгоградской области.

Поливы любых сельскохозяйственных культур, в том числе и яблоневого сада не дают полного эффекта, если не соблюдать поливной режим. Соблюдая высокий уровень агротехники в течение трех лет, нами (2010-2012 гг.) выявлен наиболее эффективный способ полива яблоневого сада для условий Волгоградской области.

Сравнивая режимы капельного орошения между собой можно отметить, что деревья сорта «Голден Делишес» в 2011 г. показали наибольшую урожайность - 83,1 кг, с 1 дерева. При бороздковом поливе в этот же год деревья сорта «Голден Делишес» дали максимальную урожайность – 56,2 кг с 1 дерева. Использование капельного орошения в сравнении с бороздковым поливом позволяет увеличить урожайность в среднем на 8,3 - 28,6 кг с 1 дерева.

Повышение влажности почвы при капельном орошении до 90 % НВ и снижение предполивной влажности до 70 % НВ в среднем снижает урожайность яблонь соответственно 10...13 и 18...23 % (рис. 8).

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

В настоящее время в связи со слабым изучением корневой системы яблони, при капельном и бороздковом поливе, после 3-х лет опыта нами для исследований были выбраны деревья сорта Голден Делишес и Глостер.

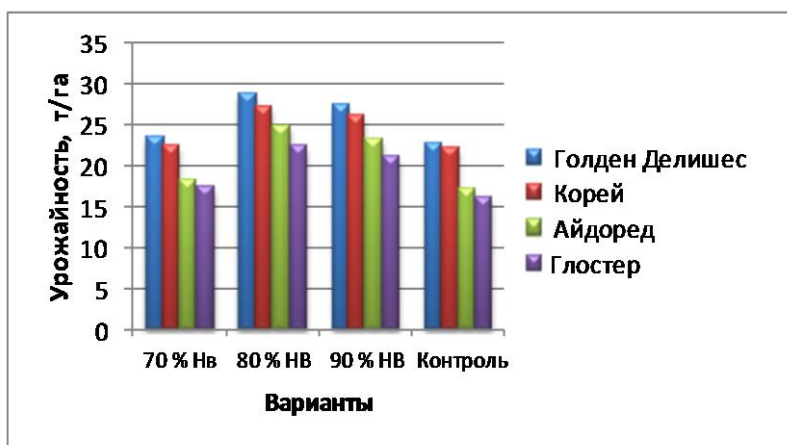


Рисунок 8 – Фактическая урожайность яблони в зависимости от варианта опыта в среднем за 2012г.

Полученные данные показывают, что при капельном орошении у деревьев развивается более мощная корневая система, чем при бороздковом поливе. Сравнивая сорта яблони, можно отметить, что корни у сорта «Голден Делишес» развиваются лучше, чем «Глостер» на 4,7 % (рис. 9).

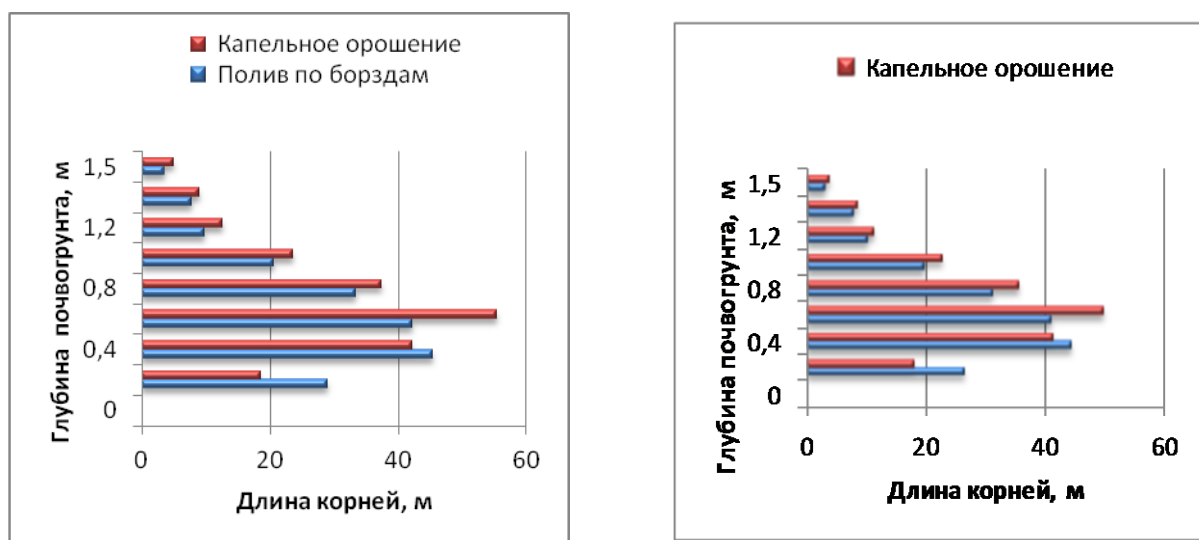


Рисунок 9 – Распределение корневой системы яблони при различных способах полива в среднем за 2010 – 2012 гг.

Наибольшая экономическая эффективность получена при режиме орошения на уровне 80 % НВ, что обеспечило рост средней урожайности до 35,0 т/га, что привело к увеличению дохода от полученной продукции до 787,5 тыс. р./га. При этом прибыль составила 196,35 тыс. р./га, рентабельность 33,2 %, а коэффициент энергетической эффективности составил 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 м³/га) нормами поливная вода просачивается на большую глубину, чем при малых. Малые поливные нормы (170 м³/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 водоподачи. Доказано, что при подаче воды 50 л/дерево увлажняемая зона корнеобитаемого слоя почвы с помощью одной капельницы составляет всего 4,9 % объема почвогрунта, отведенного растению. При увеличении подачи воды на дерево до 120 л, увеличивается обеспечиваемое увлажнение до 29,2 % отведенного 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 $x_1 = -0,230$ ($H = 1,05$ м); длина капельных линий $x_2 = -0,057$ ($L = 148,62$ м); диаметр капельницы $x_3 = -0,013$ ($d = 1,55$ мм).

4. При возделывании яблоневого сада в условиях Волгоградской области установлено, что оптимальным вариантом является вариант с предполивной влажностью почвы на уровне 80 % НВ. Это обеспечивается проведением 21 – 26 поливов нормой $170 \text{ м}^3/\text{га}$.

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 поливом по бороздам. 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.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. В процессе строительства и реконструкции оросительных систем в условиях сухостепной зоны Волгоградской области при выращивании яблоневых садов экономически целесообразным является применение капельного орошения, что обусловлено более высокой продуктивностью растений.

2. При разработке проектных решений орошаемых участков для хозяйств с различной формой собственности рекомендуется применять длины капельных линий 130 - 150 м, диаметр капельниц 1,5 - 2 мм. Для поддержания влажности почвы на уровне 80 % НВ необходимо проводить 21 – 26 поливов нормой $170 \text{ м}^3/\text{га}$.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Заключаются в усовершенствовании конструкции систем капельного орошения, позволяющих снизить материальные и энергетические затраты по сравнению с существующими конструкциями систем капельного орошения не снижая качество полива.

СПИСОК ОСНОВНЫХ НАУЧНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в изданиях ВАК РФ:

1. 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.

2. 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.

3. Ахмедов, А.Д. Контуры увлажнения почвы при капельном орошении /А.Д. Ахмедов, А.А. Темерев, **Е.Ю. Галиуллина** // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2011. - №3 (23). – С. 183-188.

4. Ахмедов, А.Д. Особенность оценки равномерности водораспределения в низконапорных системах капельного орошения /А.Д. Ахмедов, **Е.Ю. Галиуллина** // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. - №3 (270). – С. 174-179.

Статьи, опубликованные в прочих изданиях:

5. 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.

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

7. Ахмедов, А.Д. Повышение эффективности и работоспособности систем капельного орошения /А.Д. Ахмедов, А.А. Темерев, **Е.Ю. Галиуллина**// Инновационные технологии повышения эффективности мелиоративных систем и безопасности гидротехнических сооружений: материалы междунар. науч.-практ. конф. ПНИИЭМТ Россельхозакадемия, 2010. - С. 33-36.

8. Ахмедов, А.Д. Вопрос о надёжности систем капельного орошения /А.Д. Ахмедов, А.А. Темерев, **Е.Ю. Галиуллина**// Наука в современных условиях от идеи до внедрения. Материалы междунар. науч.- практ. конф. ФГОУ ВПО Ульяновская ГСХА, Димитровград, 2010. - С. 118-121.

9. Ахмедов, А.Д. Динамика формирования контура увлажнения при внутрипочвенном и капельном орошении при возделывании яблоневого сада /А.Д. Ахмедов, **Е.Ю. Галиуллина**, А.А. Темерев// Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоратив-

ных технологий: сб. научн. трудов. Вып. 4. Рязанский государственный агро-технический университет. - Рязань, 2010. - С. 55-59.

10. Ахмедов, А.Д. Расчёт основных параметров влагопереноса при капельном орошении /А.Д. Ахмедов, **Е.Ю. Галиуллина**, А.А. Темерев// Социально-экологические проблемы сельского и водного хозяйства. Ч. I. «Комплексное обустройство ландшафта»: материалы междунар. науч.–практ. конф. – М: ФГОУ ВПО МГУП, 2010. – С. 22-32.

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

12. 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 и электрооборудования: материалы 4 и 5 междунар. науч.-практ. конф. Волгоград: ФГОУ ВПО Волгоградская ГСХА. - Волгоград, 2011. - С. 91-93.

13. 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.

14. Ахмедов, А.Д. Оценка эффективности внутрпочвенного и капельного полива сельскохозяйственных культур /А.Д. Ахмедов, **Е.Ю. Галиуллина** // Инновационные технологии и экологическая безопасность в мелиорации сб. науч. докладов 5-й междунар. конф. молодых учёных и специалистов. ФГБНУ ВНИИ «Радуга». Коломна. 2012. – С. 38-40.

15. Ахмедов, А.Д. Повышение экономической эффективности яблоневого сада в условиях Волгоградской области /А.Д. Ахмедов, **Е.Ю. Галиуллина** // Интеграция науки и производства - стратегия устойчивого развития АПК России в ВТО. Материалы междунар. науч. – практ. конф., посвященной 70 – летию Победы в Сталинградской битве – Т. 3. – Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2013. – С. 176-180.