

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный
университет Имени И.Т. Трубилина»**

На правах рукописи



Алматар Анас

**ВОДОСБЕРЕГАЮЩИЕ РЕЖИМЫ ОРОШЕНИЯ СОИ ПОЖНИВНО
НА РИСОВОЙ ПОЧВЕ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

**Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Научный руководитель д.т.н., профессор
Заслуженный деятель науки РФ
Кузнецов Е.В.

Краснодар 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ВОДОСБЕРЕГАЮЩЕГО ОРОШЕНИЯ.....	9
1.1 Краткая история развития капельного и внутрипочвенного орошения.....	9
1.2 Состояние изученности и особенности регулирования водного режима при КО и ВПО.....	11
1.3 Проблемы и особенности орошения в Сирии.....	15
1.4 Перспективы и преимущества капельного и внутрипочвенного орошения сои.....	19
1.5 Особенности возделывания сои в условиях Краснодарского края.....	22
Выводы по главе 1.....	24
ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВЛАГИ В ПОЧВЕ ПРИ КО И ВПО.....	26
2.1 Методика исследования и экспериментальная установка, приборы и оборудование.....	26
2.2 Исследование распределения влаги в модельном почвогрунте при капельном орошении.....	29
2.3 Исследование распределения влаги в модельном почвогрунте при внутрипочвенном орошении.....	32
Выводы по главе 2.....	35
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ ОРОШЕНИЯ.....	37
3.1 Разработка физической модели КО и ВПО.....	38
3.2 Обоснование основных условий исследования влажности в почвогрунтах при водосберегающих поливах.....	43
3.3 Схема опытов и методика исследований.....	46
Выводы по главе 3	50
ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВЛАГИ В РИСОВОЙ ПОЧВЕ ПРИ КО И ВПО СОИ ПОЖНИВНО.....	52
4.1 Исследование гидравлических параметров системы капельного орошения.....	52
4.2 Исследование гидравлических параметров системы внутрипочвенного орошения.....	53

4.3 Исследование движения влаги в почве для различных норм полива.....	57
4.4 Формирование контуров увлажнения в профиле почвогрунта для различных норм полива при КО и ВПО.....	76
Выводы по главе 4.....	82
ГЛАВА 5 РАЗРАБОТКА ВОДОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ ОРОШЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ СОИ ...	84
5.1 Разработка режимов орошения сои при КО и ВПО пожнивно.....	84
5.2 Исследование водопотребления сои при КО и ВПО	92
5.3 Экономическая эффективность исследования.....	93
Выводы по главе 5.....	95
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	96
Рекомендации производству	97
Перспективы дальнейшей разработки темы	97
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	98
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	113
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	115
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	117
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	127
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	137

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований. Сельское хозяйство Сирии изымает более 80% водных ресурсов, включая поверхностные и речные воды, родники и колодцы. В Сирии применяется дождевание, традиционные поверхностные способы полива, а также развивается капельное и внутрпочвенное орошение.

Традиционные способы орошения являются затратными, как с точки зрения использования водных ресурсов, так и с позиций снижения мелиоративного состояния земель. При данных способах полива поливные нормы довольно высоки, что нередко приводит к заболачиванию и засолению почв, а также вызывает бурное развитие сорняков. Значительный объем транспортируемой воды (30-50%) теряется из оросительной сети через инфильтрацию и испарение.

Нерациональное использование воды и земель меняет качество окружающей среды, размеры используемой территории, концентрацию и объемы производства в продовольственном балансе Сирии.

В настоящее время проблемой, требующей более ответственного подхода к использованию воды, является развитие перспективных способов орошения. В условиях высоких температур и дефицита воды в Сирии главной задачей остаётся дальнейшее развитие и улучшение использования земель. История развития земледелия Сирии показывает, что основной задачей остаётся постоянное стремление к получению максимального урожая выращиваемых культур и продуктивного использования земли.

В связи с этим уделяется большое значение выбору экологически безопасных и экономически эффективных технологий и технических средств полива, которые включают капельное (КО) и внутрпочвенное орошение (ВПО). Эти способы позволяют поддерживать в почве благоприятный водно-воздушный режим на фоне экономного расходования оросительной воды. В данной работе для выполнения поставленной цели моделировались условия, приближенные к

природным условиям Сирии. Были проведены эксперименты на рисовой почве в экстремальных климатических условиях Краснодарского края, позволяющие получить стабильную урожайность сои при минимальных затратах поливной воды пожнивно.

Диссертационное исследование проводилось в рамках тематических планов НИОКР ФГБОУ ВО КубГАУ на 2016-2020 гг. по госбюджетной теме (рег. номер АААА-А16-116022410039-5 и на 2021-2025 гг. по госбюджетной теме (рег. номер № 121032300049-7 «Разработка ресурсосберегающих технологий охраны от загрязнений отходами сельскохозяйственных земель предприятий АПК»

Разработанность темы диссертации. С ростом дефицита водных ресурсов в мире вырос интерес к капельному и внутрипочвенному орошению. По данным учёных Ахмедова А. Д., Балакай Г. Т., Бочарникова В. С., Бородычева В. В., Гостищева Д. П., Григорова М. С., Григорова С.М., Дубенок Н. Н., Кузнецова Е. В., Лукомец В. М. Мещерякова М.П., Овчинникова А. С. имеется ряд нерешенных вопросов, затрагивающие такие аспекты, как водосберегающие режимы орошения сельскохозяйственных культур, перемещение влаги в рисовой почве при капельном и внутрипочвенном орошении в экстремальных условиях пожнивно, которые изучены недостаточно.

Цель данного исследования – обоснование водосберегающих режимов капельного и внутрипочвенного орошения на рисовой почве в экстремальных условиях для повышения урожая сои пожнивно применительно к условиям Сирийской Арабской Республики.

Задачи исследований:

- исследовать динамику движения оросительной воды в модельном почвогрунте на лабораторной установке при имитации КО и ВПО;
- исследовать распределение влаги в корнеобитаемом слое почвы рисовой почвы в лизиметрах при КО и ВПО сои пожнивно в экстремальных условиях (июль – сентябрь), приближенных к природно-климатическим условиям Сирии;
- исследовать коэффициент водопотребления сои пожнивно при КО и ВПО на рисовых почвах в экстремальных условиях;

- разработать водосберегающие режимы КО и ВПО сои пожнивно на рисовых почвах в экстремальных условиях;

- исследовать влияние режимов КО и ВПО на урожайность сои пожнивно на рисовых почвах в экстремальных условиях.

Достоверности научных результатов и выводов обеспечивается большим количеством лабораторных и лизиметрических опытов с применением методов математического анализа полученных данных и применением компьютерных программ.

Объект исследования – движение влаги в модельном почвогрунте, режимы капельного и внутрипочвенного орошения.

Предмет исследования – закономерности между влажностью и продолжительности полива, коэффициентом водопотребления и поливными нормами сои пожнивно при КО и ВПО в экстремальных условиях на рисовых почвах.

Научная новизна исследования заключается:

- впервые получены математические зависимости, описывающие перемещение влаги от очага к периферии контура увлажнения при капельном и внутрипочвенном орошении сои в корнеобитаемом слое рисовой почвы пожнивно в экстремальных условиях;

- установлены геометрические размеры контуров увлажнения в слое 0-0,5 м и доказано, что размеры контура увлажнения при ВПО больше размеров контура увлажнения чем при КО на 12,37%, 9,06% и 7,50% при одинаковой поливной норме 103, 174 и 220 м³/га, соответственно, в рисовой почве пожнивно;

- установлено, что максимальный урожай сои пожнивно в экстремальных условиях получается при режиме ВПО и влажности рисовой почве на уровне 80 % НВ.

Теоретическая значимость заключается в: получении математических зависимостей между влажностью и продолжительностью полива в рисовой почве при выращивании сои пожнивно; закономерностях перемещения влаги от величины поливной нормы и продолжительности полива; формирования

контуров увлажнения в рисовой почве пожнивно в экстремальных климатических условиях при капельном и внутрипочвенном орошении.

Практическая значимость заключается в обосновании водосберегающих поливов на рисовой почве в экстремальных условиях, что позволяло получать гарантированную урожайность сои пожнивно; рациональном водопользовании, которое обеспечивается внутрипочвенным орошением сои пожнивно поливной нормой 174 м³/га при влажности рисовой почвы 80 % НВ; разработке водосберегающих режимов капельного и внутрипочвенного орошения и получение коэффициентов водопотребления сои на рисовых почвах в экстремальных условиях пожнивно. Результаты исследований могут быть использованы рисовыми хозяйствами для повышения рентабельности сельскохозяйственного производства, водохозяйственными учреждениями при проектировании водосберегающих технологий на мелиорируемых землях в экстремальных климатических условиях.

Положения, выносимые на защиту:

- водосберегающие режимы при КО и ВПО сои в экстремальных условиях на рисовых почвах пожнивно;
- распределение влаги в рисовой почве при КО и ВПО сои в зависимости от различных поливных норм в условиях, приближенных к природно-климатическим условиям Сирии;
- динамика движения оросительной воды в модельном почвогрунте на лабораторной установке при имитации режимов КО и ВПО;
- коэффициенты водопотребления сои пожнивно при КО и ВПО на рисовых почвах в экстремальных условиях пожнивно.

Реализация результатов научной работы. Данная работа выполнена на кафедре гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения и в Ботаническом саду ФГБОУ ВО Кубанского ГАУ с 2018 по 2022 гг. Результаты исследования использованы при написании методических материалов, учебников, а также на лекциях, практикумах и при привлечении студентов к методической и научной работе (Справка о внедрении в учебный процесс от 26.01.2023).

Апробация исследований. Основные положения и выводы диссертации доложены и обсуждены на I-IV международных научно-практических конференциях: «Экология речных ландшафтов» КубГАУ (Краснодар, 2017-2020 гг.); международной научно-практической конференции «Структурные преобразования экономики территорий: в поиске социального и экономического равновесия» НИЦ Вестник науки, (Уфа, 2022 г.); международной научно-практической конференции «Economic aspects of industrial development in the transition to a digital economy» НИЦ Вестник науки, (Уфа, 2022 г.); международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и техники. Инноватика» НИЦ Вестник науки, (Уфа, 2022 г.); международной научно-практической конференции «Современная наука в условиях модернизационных процессов: проблемы, реалии, перспективы» НИЦ Вестник науки, (Уфа, 2022 г.); IX Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и техники», НИЦ Вестник науки, (Уфа, 2022 г.).

Публикации результатов исследований. По материалам диссертации опубликовано 16 научных работ, в том числе 2 статьи в издании, рекомендованном ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, 1 – в международных базах данных. Общий объем публикаций составляет 8,41 п.л., из них автору принадлежит 4,07 п.л.

Структура и объём диссертационной работы. Диссертационная работа содержит введение, пять глав, заключение, рекомендации производству и перспективы дальнейшего развития, список литературы и приложения. Общий объем составляет 137 страниц компьютерного текста, включает в себя, 38 рисунков, 16 таблиц и 5 приложений. Список литературы состоит из 119 источниками.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ВОДОСБЕРЕГАЮЩЕГО ОРОШЕНИЯ

1.1 Краткая история развития капельного и внутрипочвенного орошения

К водосберегающим режимам орошения относятся капельное и внутрипочвенное орошение. Капельное орошение (КО) определяется как медленная подача воды над поверхностью почвы вблизи корней растений. Вода применяется в виде капель, распыляется над поверхностью земли или подаётся небольшой непрерывной струёй через закрепленный трубопровод возле растений. Основная концепция, лежащая в основе метода капельного орошения, заключается в том, чтобы подавать необходимое растению количество воды в ограниченный объём почвы, а не смачивать всю площадь [48, 62, 63, 117, 119].

В Германии в 1920-х годах изобретатель Ханнес Тилл начал использовать пластиковую трубу определенной конфигурации с длинными проходами для равномерного распределения воды по культурам [17, 77, 78, 119].

В начале 60-х годов прошлого века израильский фермер Блас разработал текущую форму технологии капельного орошения и получил патент [17, 77, 119]. Капельное орошение применялось в Израиле на таких участках, где площадь земель, орошаемых методом капельного орошения, составляла не более восьмисот гектаров. В 1972 году площадь с таким методом полива увеличилась до пяти тысяч гектаров, а в настоящее время она достигает ста тысяч гектаров [18, 20, 77, 78, 119].

Начало использования капельного орошения в США начинается в 1970 году в Калифорнии, где была построена первая капельная система на площади 60 га. В начале 80-х годов прошлого века, площадь земель, орошаемых методом капельного орошения, достигла около 225 тысяч гектаров [77, 78, 119]. На

данный момент США является одной из стран, где часто используется капельное орошение. Площади с таким орошением насчитывают более 650 тысяч гектаров.

В России за последнее десятилетие отмечается рост площадей систем КО, но из-за высокой стоимости имеется тенденция сдерживания развития, хотя доказано, что уже после первого года эксплуатации КО можно отметить высокую рентабельность и окупаемость [47, 77, 78].

Капельное орошение широко распространено в южных регионах России с засушливым климатом. Это такие регионы, как Краснодарский край, Астраханская, Волгоградская и Ростовская области, где площадь капельного орошения достигает 45,0 тыс. га [119].

Большой вклад в развитие орошения в России и странах ближнего зарубежья внесли такие ученые, как А.Н. Костяков, Б.Б. Шумаков, М.С. Григоров, Н.Н. Дубенок, И.П. Айдаров, Е.В. Кузнецов, А.Д. Ахмедов, М.П. Мещеряков, А.Д. Воронин, Е.В. Шеин, Ю.А. Скобельцын, С.В. Астапов, И.Б. Григорова, А.В. Чеботарев, Г.С. Нестерова, И.И. Науменко, М.М. Зобенко, И.С. Зонн, О.Е. Ясониди, Е.А. Вейцман, М.Г. Журба, А.А. Алексащенко, Э.И. Гагарина, и др. [24, 53, 64, 77, 78, 119].

Внутрипочвенное орошение (ВПО) представляет собой современный метод орошения, при котором поливная вода подается непосредственно в корневой слой. Некоторые авторы также называют это искусственным повышением уровня грунтовых вод [17, 18, 24, 35, 43, 77, 78].

В среднем XIX века немецким агрономом Петерсон был предложен комбинированную систему (орошение и дренаж), которые работают независимо друг от друга. В данной системе устанавливаются клапаны, прерывающие сток воды через дренажи; для орошения почвы закрываются клапаны и открываются шлюзы, затем дренажи наполняются водой и происходит увлажнение почвы. В данном случае увлажнение происходит сверху и снизу по капиллярам, а для дренажа открываются клапаны, затем вода стекает по дренажам [43, 77, 78, 114].

В связи с дефицитом воды в Палестине используется ВПО без дренажа для орошения огородных культур и садов. Система работает следующим образом:

гончарные ёмкости или бездонные цилиндрические цементные сосуды ставятся между рядами растений. В стенках сосудов на высоте 0,1 м располагаются отверстия, вода подаётся в ёмкость или цилиндр обычным трубопроводом и поступала через отверстия сосудов в почву активного слоя [43, 77, 78, 114].

ВПО также использовалось в начале XIX века в США. Исследования в течение 15 лет показали значительное повышение урожайности при поливе внутрипочвенным методом следующих посевов: хлопчатника, дыни, кукурузы и помидоров. При сравнении с традиционными методами полива наблюдалась экономия воды, а при смешивании воды с удобрениями выявлено дополнительное повышение урожайности сельскохозяйственных культур [43, 77, 78, 103].

Внутрипочвенные орошение получило развитие в работах ученых: М.С. Григоров, В.Г. Корнев, М.П. Сталин, В.И. Бабченко, М.В. Николаев, А.А. Богушевский, В.Н. Кичигин, В.Г. Лобода, А.Д. Ахмедов, М.П. Мещеряков, и другие [1, 11, 17, 18, 23, 25, 43, 56, 57, 77, 78].

В России и за рубежом метод ВПО не получил широкого распространения в связи с недостаточным объёмом информации, а также в связи с отсутствием данных, подтверждающих экономическую и производственную целесообразность такого метода полива [43, 77, 78].

1.2 Состояние изученности и особенности регулирования водного режима при КО и ВПО

Для получения высоких и устойчивых урожаев культур необходимо поддержание требующегося водного, воздушного, питательного и теплового режимов в почвах [3, 4, 5, 13, 14, 15, 19, 21, 39, 60, 61].

А. Дарси – основоположник теоретического обоснования движения грунтовых вод – изучал движения влаги при неполном насыщении грунта. Он отметил, что изменение массы жидкости, вытекающей в единицу времени из

элементарного объема почвы компенсируется изменением насыщенности внутри этого объема по формуле [23, 39, 40, 77, 78]:

$$\frac{\partial(W)}{\partial t} = \text{div}[K(W)\text{grad}H], \quad (1.1)$$

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

Аллэр ввел поправочный член в уравнение влагопереноса (1.1), которое использовалось для описания переноса влаги в почве по формуле [2, 17, 40]:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D \frac{\partial W}{\partial x} + A \frac{\partial^2 W}{\partial t \partial x} \right], \quad (1.2)$$

где A - коэффициент пропорциональности.

Н.Е. Жуковский и Н.Н. Павловский проводили теоретическое исследование о движении влаги в почвогрунте и получили дифференциальные уравнения фильтрации [23, 77, 78]:

$$Q = -k \cdot \Omega \cdot \frac{dH}{ds}, \quad (1.3)$$

где Q – расход потока, м³/с; k – коэффициент фильтрации; Ω – площадь поперечного сечения, м²; s – координата, направленная вдоль течения.

Ч. П. Сликтер установил, что пористость и просветленность фиктивного грунта не зависит от диаметра частиц, а зависит от плотности их укладки [23, 77, 78].

Дальнейшим развитием теории движения воды в грунтах и взаимодействия твердой части почвы и воды занимались такие выдающиеся ученые, как С.Ф. Аверьянов, С.И. Долгов, А.В. Лыков, А.И. Будаговский, И.И. Судницын, А.Ф. Лебедев, А.А. Роде и зарубежные исследователи Э. Букингем, Н. Эфсен, Дж. Филип, Дж. Рубин.

А. Костяков считает, что необходимо обязательно проводить мелиорацию земель, если количество воды и питательных веществ, содержащихся в почве, не

соответствует тем, которые требуются для выращивания сельскохозяйственных культур [53].

А. Д. Ахмедов и М. Н. Багров обнаружили, что недостаток воды в корнеобитаемом слое почвы, а также переувлажнение почвы негативно влияет на продуктивность и качество растения [18, 26].

В. Р. Вильямс подчеркивал, что важно обеспечивать одновременно растения всеми необходимыми факторами, включая воду, свет, пищу, тепло и аэрацию, так как это приведёт к получению максимальных непрерывно повышающихся урожаев культуры [77, 78].

КО и ВПО – наиболее важные методы, используемые для регулирования водного режима почвы. Данные способы полива значительно регулируют количество воздуха, пищи и тепла, тем самым повышая плодородие почвы и урожайность сельскохозяйственных культур [77, 78, 96].

А. Костяков пришел к выводу, что уменьшение влажности почвы повышает температуру и концентрацию растворов в почве, а использование КО и ВПО приводит к восполнению влаги, снижению испарения и температуры [53, 77, 78].

В. В. Докучаев, В. Р. Вильямс подчеркнули важность влияния орошения на изменение содержания в почве воды, воздуха и пищи, в связи с тем, что орошение играет значительную роль в процессах почвообразования, которые могут негативно или положительно повлиять на урожайность сельскохозяйственных земель.

Данные исследования показывают необходимость изучать водный режим почв, а также управлять водным режимом в комплексе с выращиванием сельскохозяйственных культур, особенно в экстремальных условиях климата [6, 7, 8, 10, 16, 50].

В Израиле в конце XX века результаты показали, что использование капельного орошения для полива солёной водой грушевой культуры дает стабильные урожаи благодаря хорошему распределению влаги, что благоприятно для распределения корней в почве по сравнению с традиционными способами полива [40, 115, 118].

Гельмиярова В. Н. [40] путем разработки физической модели получила математическую зависимость, используемую для расчета запасов продуктивной влаги при подтоплении и дальнейшем иссушении почвогрунта с учетом количества влаги на любом расстоянии от точки увлажнения, следующим образом:

$$W = 0.1 \cdot V \cdot h \cdot (W_{\Pi} - W_3), \quad (1.4)$$

где W – запасы доступной почвенной влаги, мм; V – объемная масса почвы, г/см³; h – мощность слоя почвы, см; W_3 – влажность устойчивого завядания; W_{Π} – влажность почвогрунта в период подтопления, %, примет вид;

$$W_{\Pi} = 13,89 - 1,05x_1 - 0,02x_2 + 1,94x_3 - 0,02x_1 \cdot x_2 + 0,11x_1 \cdot x_3 + 0,0042x_2 \cdot x_3 + 0,25x_1^2 + 0,00012x_2^2 - 0,09x_3^2, \quad (1.5)$$

где x_1 – временной интервал с момента подтопления, сут.; x_2 – удаленность от источника увлажнения, см; x_3 – глубина измерения влажности в почвогрунте, см.

Галиуллина Е. Ю. [39] изучала движение влаги в почве и влияние её распределения при КО на урожайность яблок и пришла к выводу, что максимальную урожайность яблок можно получить при поддержании влажности почвы на 80% в условиях Волгоградской области. Галиуллина Е. Ю. получила новую зависимость, позволяющую определять норму полива при методе капельного орошения, и смогла построить эпюру влажности почвы, исходя из объема питания растений. Она пришла к выводу, что при орошении большим количеством воды методом капельного орошения поливная вода просачивается на большую глубину почвы. В данном случае отсутствует согласованность в распределении влаги по профилю почвы, в отличие от орошения небольшими объемами полива [39].

Мещеряков М. П. [77, 78] изучал динамику передвижения влаги в почве Нижнего Поволжья России при КО и ВПО в зависимости от нормы полива, характеристик оросительных трубопроводов и влагоудерживающих материалов. Мещеряков получил уравнение для определения размеры контура увлажнения

внутри почвы при КО и ВПО с различными параметрами орошения. Мещеряков М. П. также получил результат, аналогичный результату, полученному Галиуллиной Е. Ю: для поливной нормы 70 % НВ происходит утечка и значительные потери поливной воды под активным слоем почвы, а для поливной нормы 90% НВ происходит недостаточное увлажнение почвенного профиля, следовательно, для поливной нормы 80% НВ дало наилучший урожай культуры [77, 78].

Анализ литературы показывает, что до сих пор нет четкого исследования и анализа, которые позволили бы рассчитывать и эксплуатировать системы КО и ВПО при выращивании сои на рисовой почве в экстремальных условиях.

1.3 Проблемы и особенности орошения в Сирии

Сирия – страна, расположенная на Ближнем Востоке, граничащая на западе со Средиземным морем, Ливаном и Палестиной, на востоке с Ираком, на севере с Турцией и на юге с Иорданией. Она обладает стратегическим расположением на международных торговых путях. Площадь Сирии составляет около 185 тыс. км²: она включает в себя прибрежную зону на западе, которая состоит из двух горных хребтов, среднюю область, содержащую равнины и плато, и восточную область – пустыни. В Сирии преобладает сухой климат, где количество осадков не превышает 250 мм в год, поэтому Сирия страдает от нехватки воды. Почва в Сирийской Арабской Республике считается плодородной, в связи с этим предпринимаются попытки инвестировать в развитие плодородных земель, а также прослеживается стремление к увеличению площадей сельскохозяйственного назначения [112, 119].

Основные почвы Сирии можно разделить на три типа:

- известковые почвы: широко распространены в пустынных районах Сирии и местах с осадками менее 200 мм. Это высокощелочные почвы, бедные

органическим веществом, но богатые солью, содой, карбонатом и сернистыми соединениями [109];

- глинистые почвы: занимают ограниченную территорию Сирии. Встречаются в юго-западных районах и характеризуются богатым содержанием известковых соединений, а в сухих районах могут содержать пустынные корки [110];

- гипсовые почвы: занимают большую площадь на северо-востоке. Данные почвы содержат высокую концентрацию гипсовых материалов (10-35%) вблизи поверхности и (50-70%) в глубине для неглубоких почв, в то время как этот процент составляет 15% в глубоких почвах, которые очень бедны органическим веществом [109, 110].

Климат Сирии сухой континентальный. Для него характерны большие сезонные перепады температуры: зимой температура может меняться от +10°C ночью до +20°C днём, а летом максимальная температура достигает +45-50°C [111, 113].

Сельское хозяйство в Сирии основывается на регулярном использовании более 80% водных ресурсов, включая воды из поверхностных и речных вод, родников и колодцев с использованием традиционных методов орошения (рисунок 1.1). К таким методам относится полив по бороздам и затопление. Данные методы дают растениям объем воды, превышающий нормы полива. Он может достигать (8000-16000) м³/га. Кроме того, (30-50%) объема транспортируемой воды теряется через инфильтрацию и испарение [113, 119].

Увеличение нормы поливной воды приводит не к увеличению сельскохозяйственного производства, а к ухудшению плодородия почвы, т.к. после подъема уровня грунтовых вод появляется соленость [77, 78, 111, 119].

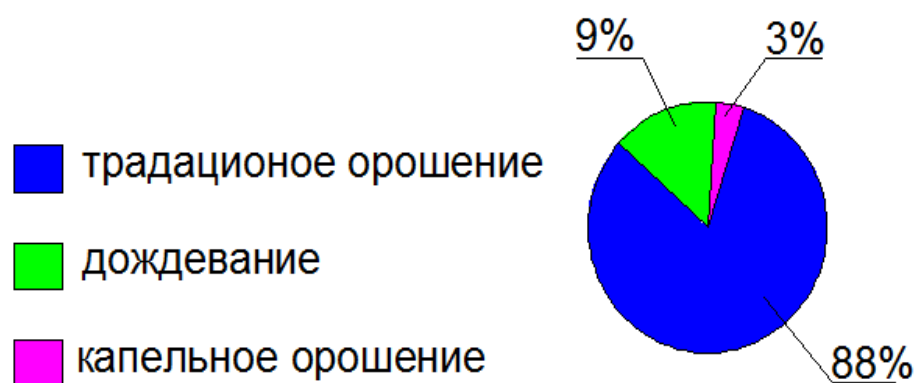


Рисунок 1.1 – Доля орошаемых площадей в Сирии различными методами орошения за 2005 г.

Водные ресурсы в Сирии распределяются следующим образом [112, 113, 119]:

- подземные водные ресурсы: колодцы; родники, объём воды которых составляет около 7 млрд м³;
- ресурсы поверхностных вод (без Евфрата и Тигра) включают около 3,5 млрд м³;
- ресурсы поверхностных вод в бассейне Евфрата составляют 31,4 млрд. м³ в год, включая иракскую долю реки на сирийско-турецкой границе (в последние четыре десятилетия они не превышают 25 млрд м³/год);
- ресурсы поверхностных вод бассейна Тигра включают около 18,3 млрд м³;
- размер общих водных ресурсов Сирии (без учета Евфрата и Тигра); 10,5 млрд м³.

Нарушение водного баланса в Сирии вызвано следующими основными причинами [112, 113]:

- дефицит водных ресурсов;
- низкая эффективность использования оросительных сетей и ухудшение их эффективности;
- увеличение потребности в воде;
- несбалансированное распределение воды между регионами, так как водные ресурсы, поступающие от дождя и снега, различаются по территории Сирийской Арабской Республики, а процент распределения дождя дан на рисунке 1.2.

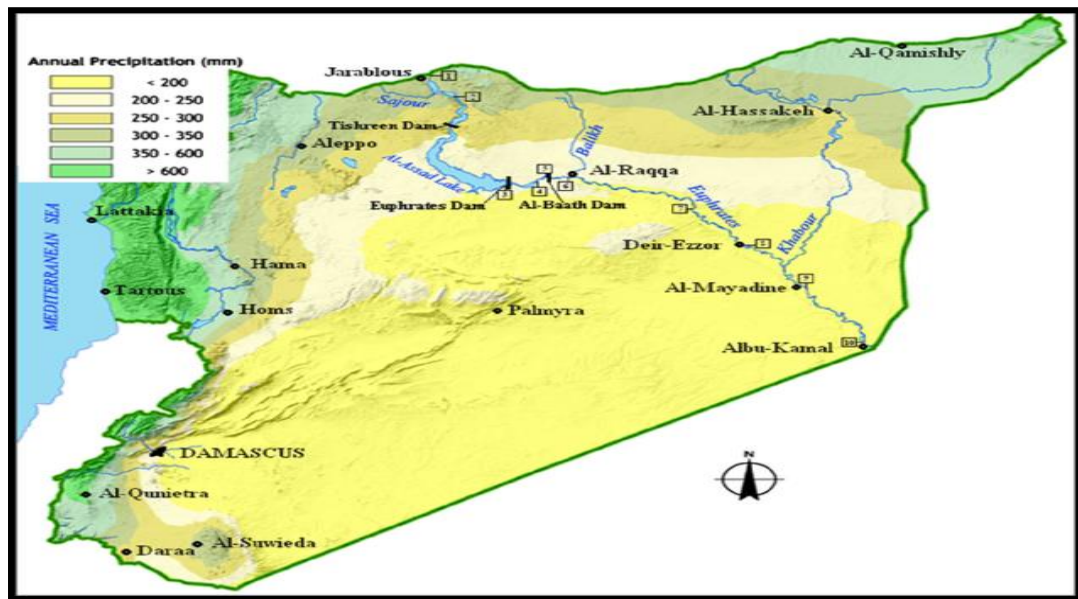


Рисунок 1.2 – Карта распределения осадков в Сирии

Таким образом, рост населения, не сопровождающийся развитием сельского хозяйства, приводит к дисбалансу. В связи с этим возникает потребность восстановить баланс, так как промедление ведёт к увеличению потребности в усилиях и средствах для его восстановления. Это, в свою очередь, ведёт к увеличению разрыва между производством продовольствия и его потреблением. Данное явление становится нагрузкой для национальной экономики. В связи с этим необходимо разрабатывать и совершенствовать методы орошения, искать оптимальные способы, а также предпринимать меры, необходимые для сокращения дефицита производства.

Использованием современного орошения достигается: [111, 112, 119]

- повышение доли воды на душу населения сверх порога водной бедности и переход на стадию обеспеченности;
- увеличение орошаемых площадей;
- обновление водохранилищ;
- обеспечение норм воды, установленных для сельскохозяйственного цикла;
- повышение эффективности орошения до 90% при современных методах орошения по сравнению с 50% при использовании традиционных методов.

Вышесказанное позволяет нам сделать вывод, что в настоящее время методы капельного и внутрипочвенного орошения считаются одними из наиболее

водосберегающих методов по сравнению с традиционными методами орошения, что делает данный вид орошения одним из наиболее перспективных методов не только в Сирии, но и в мире.

1.4 Перспективы и преимущества капельного и внутрпочвенного орошения сои

Географическое положение Сирии и характеристики сельскохозяйственных почв позволяют выращивать сою во всех регионах страны. Но выращивание сои часто не достигает поставленных целей в связи с тем, что культура страдает от нехватки оросительной воды из-за высоких температур. Исследования доказали, что использование орошения в сельском хозяйстве повышает урожайность сои в 3-4 раза по сравнению с неорошаемым земледелием, а также помогает стабилизировать сельскохозяйственное производство [23]. В связи с этим большое значение придается разработке и совершенствованию методов орошения для получения хорошего и стабильного сельскохозяйственного урожая [24, 47, 58, 59, 85, 101]. Метод дождевания орошения является одним из наиболее широко используемых методов в орошении сои, и с развитием методов орошения были внедрены методы капельного орошения и внутрпочвенного орошения.

Кроме того, главными причинами для выбора сои при КО и ВПО являются следующие факторы:

- соя считается одной из важнейших сельскохозяйственных культур не только в Сирии, но и во всем мире. Это связано с использованием данной культуры во многих отраслях промышленности, таких как фармацевтическая и пищевая, а также в производстве кормов [22, 28, 46, 100, 101];

- семена сои обладают высоким содержанием белка, которое доходит до 50% от массы. Это больше, чем, например, у бобовых культур. Также соя имеет более низкую стоимость по сравнению с другими продуктами – источниками белка,

такими как куриные яйца и мясо говядины. Соя содержит незаменимые аминокислоты и микроэлементы [104, 105];

- зерно сои ценится за содержание в нем жира, который составляет до 27 % от массы. Масло, изготавливаемое из семян сои, богато полиненасыщенными кислотами (линолевой и линоленовой), благодаря чему хорошо усваивается [51, 54, 87];

- соя характеризуется высоким содержанием микроэлементов, которые могут быть использованы в фармацевтической промышленности [46, 51, 70, 80, 88];

- соя считается зернобобовой культурой, и поэтому имеет большое сельскохозяйственное значение: она улучшает плодородие почвы и продуктивность сельского хозяйства за счет увеличения процентного содержания азота в почве [46, 51, 82, 104].

Аргентина, Бразилия и США входят в число ведущих стран по производству сои с объемом производства 50,5, 112,5 и 119,5 млн тонн соответственно, в то время как в 2018 году мировое производство сои достигло около 350 млн тонн [93].

В России наблюдается рост урожайности сои. Так, в 2017 году общая площадь, засеянная соей, достигла 2,6 млн га, тогда как в 2005 году она составляла около 0,72 млн га. Сельскохозяйственная урожайность сои в 2017 году достигла около 3,6 млн тонн. Восточные регионы России являются основным регионом выращивания сои.

В последнее десятилетие выращивание сои распространилось в южных регионах России: в Краснодарском крае площадь земель, засеянных соей, достигла 160 тысяч гектаров, а в Ростовской области – около десяти тысяч гектаров [71, 90].

Для получения высоких урожаев необходимо создавать благоприятные водные режимы в почве при использовании различных типов орошения, адаптированных к местным агроклиматическим условиям [40, 72, 77, 78, 102, 111, 119].

В связи с этим, целью наших исследований было создание экстремальных условий (высокие температуры воздуха, минимум осадков, дефицит влаги, рисовые почвы с низким содержанием гумуса) при выращивании сои. Данные условия приближены к природным условиям Сирии.

В качестве опытной культуры была выбрана соя сорта «Арлета», которая выращивается на рисовой почве пожнивно в экстремальных климатических условиях Краснодарского края. Методами создания водных режимов в рисовой почве служили КО и ВПО.

Выбор КО и ВПО был обусловлен тем, что при выращивании сои в районах, страдающих от дефицита воды и высоких температур, лучше искать методы орошения, которые помогут экономить воду, снизить потребление и будут экологически безопасными.

Среди наиболее важных преимуществ метода КО можно выделить:

- снижение потерь воды на испарение за счет уменьшения площади орошаемой площади и ограничение ее только площадью корней растений [34];

- метод КО позволяет использовать его в экстремальных условиях, таких как высокая жара и сильные ветры, его также можно использовать в районах со сложным рельефом [119];

- метод капельного орошения уменьшает рост сорняков в междурядьях [77];

- метод КО основан на поливе в небольших количествах и с короткими интервалами [78];

- может использоваться для почвы характеризующиеся высокой или низкой гигроскопичностью еще при малой мощности.

Среди наиболее важных преимуществ внутрпочвенного орошения по сравнению с капельным и дождевальным орошением:

- ВПО увеличивает сельскохозяйственное производство, поддерживает стабильность производства и увеличивает экономию воды на 10-30% [17, 18, 24];

- ВПО сохраняет состав и структуру верхних слоев почвы за счет ограничения увлажнения слоев, где расположены корни растений;

- ограничение влажности в слоях почвы, где расположены корни растений, уменьшает рост сорняков и предотвращает заражение растений грибковыми заболеваниями;

- система внутрипочвенного орошения позволяет достичь требуемого баланса растения относительно воды, воздуха и пищи внутри почвы [24];

- технологии внутрипочвенного орошения могут быть разработаны и усовершенствованы путем автоматизации системы включения и выключения оросительной сети и других современных технологий [43];

- наличие оросительной сети для этого метода под почвой облегчает работу сельскохозяйственной техники [78];

- данный метод считается одним из лучших методов экономии воды, особенно в сухих и жарких районах [77, 78].

Что касается проблем и недостатков методов капельного и внутрипочвенного орошения, то они включают высокую первоначальную стоимость, обусловленную стоимостью материалов, необходимых для оросительной сети из труб, капельниц и других приспособлений, в дополнение к отсутствию опыта их использования.

1.5 Особенности возделывания сои в условиях Краснодарского края

За последние несколько лет в России наблюдается значительный рост производства сои. Так, в 2017 году увеличилась посевная площадь сои до 2,64 млн. га и производство сои до 3,6 млн т по сравнению с 0,7 млн. га и 0,74 млн. т в 2005 году. В Краснодарском крае площадь засева сои составляет около 160 тыс. га [27, 46].

Значительное увеличение площади земель, засеянных соей, обуславливает необходимость поиска методов орошения, обеспечивающих высокую продуктивность сельского хозяйства в суровых климатических условиях при минимальном расходе поливной воды. Все это обуславливает важность создания современной ирригационной системы, которая повышает эффективность

орошения и продуктивность растений, а также снижает вредное воздействие на окружающую среду и растения. КО и ВПО на сегодняшний день являются наиболее перспективными способами полива сельскохозяйственных культур [77, 78].

Соя считается традиционной культурой, поскольку ее потребление воды, продуктов питания и тепла соответствует потреблению таких культур, как кукурузы, так и подсолнечника, и поэтому сою можно выращивать во всех традиционных зонах производства без ограничений [23, 42, 44, 46, 73, 81].

Выращивание сои в России значительно распространяется. В связи с этим ожидается увеличение засеянных соей площадей в два-три раза в Краснодарском крае, в пять раз в Ставропольском крае и в двадцать раз в Ростовской области. В результате чего общая площадь выращивания данной культуры составит около полумиллиона гектаров, а урожайность сои, как ожидается, достигнет около миллиона тонн в год в ближайшем будущем [46, 51].

Урожайность сои может увеличиться на 30-50 % за счет сортосмены и сорта обновления, а также повышения агротехнического уровня возделывания. Биоклиматический потенциал продуктивности возделываемых сортов сои пока реализуется в данной местности всего на 40-55%. Стоит задача путем совершенствования технологии возделывания достичь 75-90% уровня его использования [30, 49, 55, 73, 76].

Повышение урожайности сои требует уделения особого внимания орошению и обеспечению потребности растения во влаге путем обеспечения посева необходимым количеством воды и поддержания требуемой влажности при помощи использования современных методов орошения. Использование современных методов орошения для полива сои повышает урожайность от полутора до двух раз в обычные годы и от трех до пяти раз в засушливые годы, поэтому, чем суровее климат, тем больше потребность в современном орошении [23, 29, 30, 46, 74, 86].

Выводы по главе 1:

На основании научного литературного обзора по исследуемой теме диссертации можно заключать, что в России, Сирии и других странах большую актуальность приобретает внедрение современных способов орошения, связанных с экстремальными условиями для повышения урожайности сельскохозяйственных культур. К таким способам полива, адаптированным к экстремальным климатическим условиям, можно отнести КО и ВПО.

Агроклиматический потенциал Сирии позволяет возделывать сою во всех природно-климатических зонах при дефиците водных ресурсов. Соя повышает мелиоративное состояние и плодородие почвы.

В Сирии широко используются традиционные методы орошения (полив бороздам, полосам и затоплением), которые приводят к обеспечению растений большим количеством полива, что приводит к засолению почвы, и усиленному росту сорняков.

Почвы Сирии в общем очень бедны органическим веществом и приближены к рисовым почвам России, поэтому исследование о возделывании сои пожнивно в экстремальных климатических условиях на рисовых почвах в Краснодаре при КО и ВПО позволяет дать представление о возможности выращивания сои в условиях Сирии.

Задачи, связанные с сельскохозяйственной продуктивностью урожая сои, необходимо решать путем внедрения современных сельскохозяйственных технико-технологических средств. При этом необходимо учитывать биологию растений, минимизацию потребления водных ресурсов и снижение себестоимости продукции.

Установлено, что не имеется данных о сравнении между собой режимов капельного и внутрипочвенного орошения сои пожнивно в экстремальных климатических условиях на рисовых почвах.

Нет сведений, какой из водных режимов будет наиболее адаптирован к экстремальным климатическим условиям на рисовых почвах и при этом обеспечит минимум затрат поливной воды в контурах увлажнения почвы КО или ВПО для получения наибольшей урожайности сои.

Не имеется единого мнения о перемещении влаги в почве при КО и ВПО на рисовых почвах пожнивно в экстремальных условиях.

Анализ литературы указывает, что до сих пор не существует единых рекомендаций по эксплуатации и расчету систем капельного и внутрпочвенного орошения при возделывании сои пожнивно на рисовых почвах в экстремальных климатических условиях.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВЛАГИ В ПОЧВЕ ПРИ КО И ВПО

Движение влаги в почве и ее динамические процессы оказывают существенное влияние на физические и химические свойства почвы, что, в свою очередь, сказывается на продуктивности сельского хозяйства. Таким образом, поливная вода существенно влияет на плодородие почвы [11,12, 47, 77, 78, 99].

Движение влаги в почве исследовали многие ученые, в том числе Овчинников А.С., Дерягин Б.П., Долгов С.И., Мещеряков М.П., Роде А.А. Они выявили причины движения воды в почве, а также определили ряд главных принципов для капиллярного, гравитационного, пленочного и парообразного движения влаги в почве [77, 78, 99].

2.1 Методика исследования и экспериментальная установка, приборы и оборудование

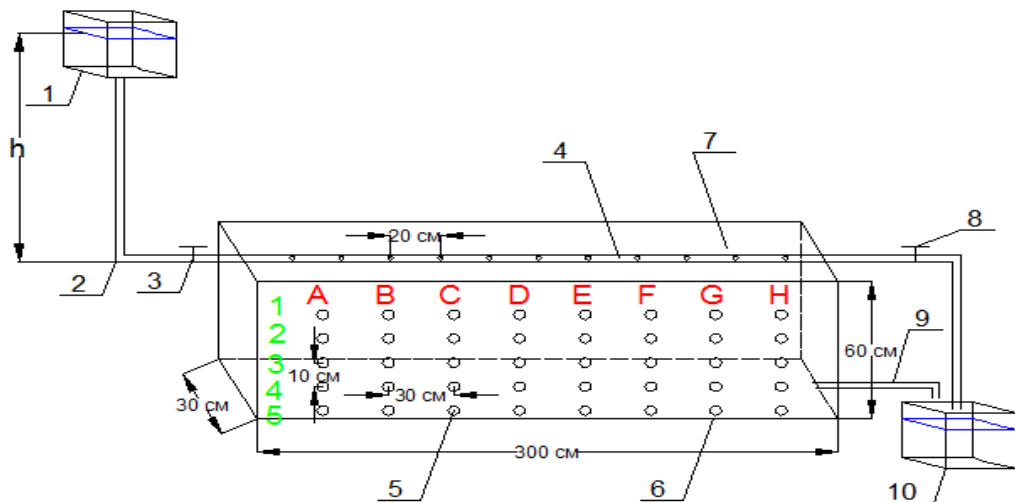
Теоретические и лабораторные исследования выполнялись на кафедре гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет в городе Краснодара с 2018-22 гг.

Движение влаги в почве изучалось путем разработки лабораторной физической модели, состоящей из стеклянного лотка размерами 300×30 см и высотой 60 см. Лоток был заполнен кварцевым промытым песком, диаметром $d_{\text{песок}} \leq 0,25$ мм, который имитировал верхний слой поля в Сирии. Почвогрунт в стеклянном лотке также уплотняли до естественной плотности 1,24 г/см³ и водопроницаемости – 0,3 м/сут.

Вода подавалась в стеклянный лоток с помощью поливочного шланга из полиэтиленового материала, который, в свою очередь, соединялся с напорным

баком, в котором поддерживался постоянный уровень воды. Шланг снабжен капельницами с расходом 4 л/час и расстоянием между ними 20 см, как показано на рисунке 2.1.

При лабораторных измерениях использовался влагомер ВИМС-1У, тарированный сосуд и образцовый секундомер. Графический анализ данных был выполнен с использованием программного обеспечения для построения графиков *MicrosoftExcel 2010*.



1 – бак; 2 – полиэтиленовый шланг; 3 – кран; 4 – трубопровод с капельницами; 5 – отверстие; 6 – стеклянный лоток; 7 – почвогрунт; 8 – кран; 9 – трубопровод для дренажа; 10 – бак.

Рисунок 2.1 – Схема лотка по изучению влажности почвогрунта:

В лабораторных экспериментах моделировали полевые условия. Для этого использовались два вида орошения: первый – капельное, второй – внутрипочвенное орошение на глубине 0,1 метра от поверхности почвы. На рисунке (2.2 А, Б) показано наличие отверстий в стенках стеклянного лотка диаметром 10 мм, через которые измеряется влажность почвы.



а



б

Рисунок 2.2 – Лабораторная модель почвогрунта

Для измерения влажности в почве использовался влагомер ВИМС-1У, щуп которого вставлялся в отверстия стеклянного лотка на глубину 0,15 м, через 0,3 м по горизонтали и 0,1 м по вертикали (Рисунок 2.3). Каждый эксперимент длился пять дней. Почва поливалась через 20, 40 и 60 мин. Влажность почвы измерялась в лабораторных экспериментах сразу после полива и через 0,5, 1, 3, 5 суток. Эксперименты по измерению были повторены три раза, погрешность эксперимента не превысила 3%. Влажность почвы измерялась по глубине лотка до 0,5 м.



Рисунок 2.3 – Измерение влажности почвогрунта на модели

Средняя влажность почвы перед поливом в диапазоне 70-80 % НВ на всех вариантах.

2.2 Исследование распределения влаги в модельном почвогрунте при капельном орошении

Исследовано распределения влаги в сечении С (рисунок 2.1) через 0,1 м по глубине почвогрунта в лотке до 0,5 м сразу после полива и через 0,5, 1, 3 и 5 дней. Время проведения капельного полива исследовалось для 3-х вариантов опытов при 20, 40 и 60 минутах полива, которое дано на рисунках 2.4, 2.5 и 2.6.

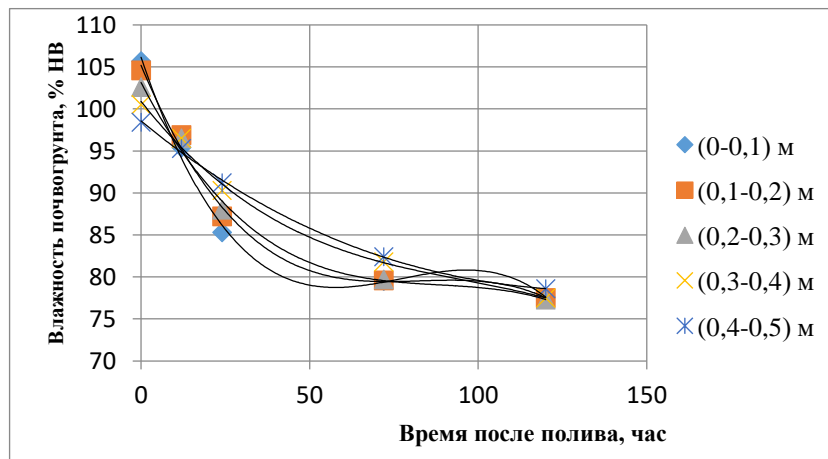


Рисунок 2.4 – Изменение влаги в модельном почвогрунте в сечении С при КО (20 минут полива)

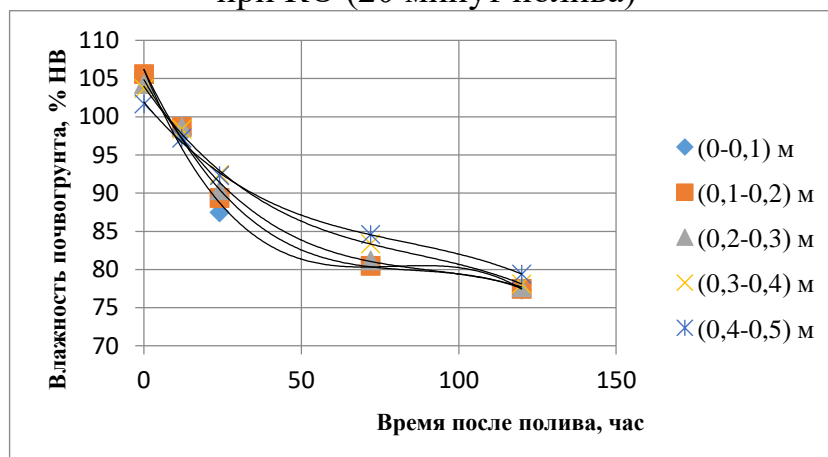


Рисунок 2.5 – Изменение влаги в модельном почвогрунте в сечении С при КО (40 минут полива)

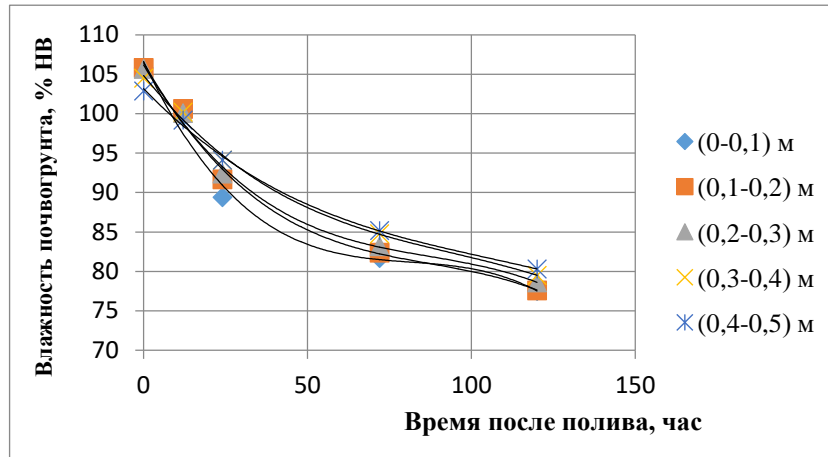


Рисунок 2.6 – Изменение влаги в модельном почвогрунте в сечении С при КО (60 минут полива)

Из графика (рисунок 2.4) установлено, что при 20 минутах полива влага в сечении С на глубинах почвогрунта профиля 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,4 и 0,4-0,5 м находится в диапазоне: 105,7 % НВ...77,6 % НВ; 104,6 % НВ...77,5 % НВ; 102,6 % НВ...77,3 % НВ; 100,5 % НВ...77,5 % НВ и 98,4 % НВ...78,6 % НВ, соответственно.

При 40 минутах полива в сечении С, как показано на рисунке 2.5, влага на глубинах почвогрунта профиля 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,4 и 0,4-0,5 м находится в диапазоне 105,5 % НВ...77,4 % НВ, 105,6 % НВ...77,5 % НВ, 104,3 % НВ...77,7 % НВ, 103,7 % НВ...78,1 % НВ и 101,7 % НВ...79,4 % НВ, соответственно.

Влага на глубинах почвогрунта в сечении С профиля 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,4 и 0,4-0,5 м при 60 минутах полива находится в диапазоне 105,8 % НВ...77,5 % НВ, 105,8 % НВ...77,6 % НВ, 105,7 % НВ...78,6 % НВ, 104,5 % НВ...79,5 % НВ, 102,9 % НВ...80,3 % НВ, соответственно.

Аппроксимирующие зависимости между изменением влажности почвы и временем после полива были получены путем математической обработки экспериментальных результатов в виде:

$$V_{\text{лк}} = x_1 t^3 + x_2 t^2 + x_3 t + x_4, \quad (2.1)$$

где $V_{\text{лк}}$ – влажность почвогрунта при КО, %; НВ; t – время, час; x_1 , x_2 , x_3 и x_4 – эмпирические коэффициенты уравнения (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Аппроксимирующие зависимости между изменением влажности почвы и временем после полива при КО

Время полива, минут	глубина почвогрунта профиля, см	Аппроксимирующие зависимости (R^2 - Коэффициент корреляции)	
20	0-10	$V_{лк} = -7 \times 10^{-5} t^3 + 0,016 t^2 - 1,186 t + 106,1$	$R^2 = 0,995$
	10-20	$V_{лк} = -5 \times 10^{-5} t^3 + 0,008 t^2 - 0,958 t + 105,2$	$R^2 = 0,992$
	20-30	$V_{лк} = -3 \times 10^{-5} t^3 + 0,005 t^2 - 0,774 t + 103,1$	$R^2 = 0,992$
	30-40	$V_{лк} = -2 \times 10^{-5} t^3 + 0,004 t^2 - 0,508 t + 100,9$	$R^2 = 0,994$
	40-50	$V_{лк} = -2 \times 10^{-6} t^3 + 0,001 t^2 - 0,331 t + 98,57$	$R^2 = 0,998$
40	0-10	$V_{лк} = -5 \times 10^{-5} t^3 + 0,012 t^2 - 1,001 t + 106,1$	$R^2 = 0,990$
	10-20	$V_{лк} = -4 \times 10^{-5} t^3 + 0,009 t^2 - 0,866 t + 106,1$	$R^2 = 0,992$
	20-30	$V_{лк} = -3 \times 10^{-5} t^3 + 0,007 t^2 - 0,719 t + 104,8$	$R^2 = 0,993$
	30-40	$V_{лк} = -2 \times 10^{-5} t^3 + 0,005 t^2 - 0,581 t + 103,9$	$R^2 = 0,998$
	40-50	$V_{лк} = -2 \times 10^{-5} t^3 + 0,004 t^2 - 0,490 t + 101,8$	$R^2 = 0,998$
60	0-10	$V_{лк} = -4 \times 10^{-5} t^3 + 0,010 t^2 - 0,879 t + 106,6$	$R^2 = 0,986$
	10-20	$V_{лк} = -3 \times 10^{-5} t^3 + 0,007 t^2 - 0,724 t + 106,4$	$R^2 = 0,990$
	20-30	$V_{лк} = -3 \times 10^{-5} t^3 + 0,007 t^2 - 0,692 t + 106,1$	$R^2 = 0,994$
	30-40	$V_{лк} = -2 \times 10^{-5} t^3 + 0,004 t^2 - 0,517 t + 104,8$	$R^2 = 0,996$
	40-50	$V_{лк} = -1 \times 10^{-5} t^3 + 0,002 t^2 - 0,427 t + 103,1$	$R^2 = 0,997$

Из таблицы (2.1) видно, что при КО можно определять влажность в почве через 0,1 м по глубине почвогрунта в лотке до 0,5 м для 20, 40 и 60 мин. полива в зависимости от нормы и времени после полива.

Из уравнения (2.1) следует, что для времени полива 20 минут и поддержания влажности почвогрунта 88 % НВ межполивной период не должен превышать одного дня; для времени полива 40 минут и поддержания влажности почвогрунта 78 % НВ межполивной период не должен превышать трех дней; межполивной период не должен превышать шести дней для времени полива 60 минут и поддержания влажности почвогрунта 69 % НВ.

Аналогичные результаты получены для распределения влаги в сечении С при втором и третьем опытах и представленные на графиках (А.1 - А.6) приводятся в приложении А.

Выводы по подразделу 2.2:

- исследовано движение влаги в почвогрунте, который имитирует почву в Сирии при КО в зависимости от нормы полива;
- получено, что при КО и межполивном периоде 1 дня, времени полива 20 минут влажность почвогрунта находится 88 % НВ;
- установлено, что при КО для межполивного периода 3 дня и времени полива 40 минут, влажность почвогрунта находится 78 % НВ;
- для времени полива 60 минут и межполивного периода 6 дня получено, что при КО влажность почвогрунта находится 69 % НВ.

2.3 Исследование распределения влаги в модельном почвогрунте при внутрипочвенном орошении

Исследовано распределения влаги в сечении С (рисунок 2.1) через 0,1 м по глубине почвогрунта в лотке до 0,5 м сразу после полива и через 0,5, 1, 3 и 5 дней. Время проведения внутрипочвенного полива исследовалось для 3-х вариантов опытов при 20, 40 и 60 минутах полива, которое дано на рисунках 2.7, 2.8 и 2.9.

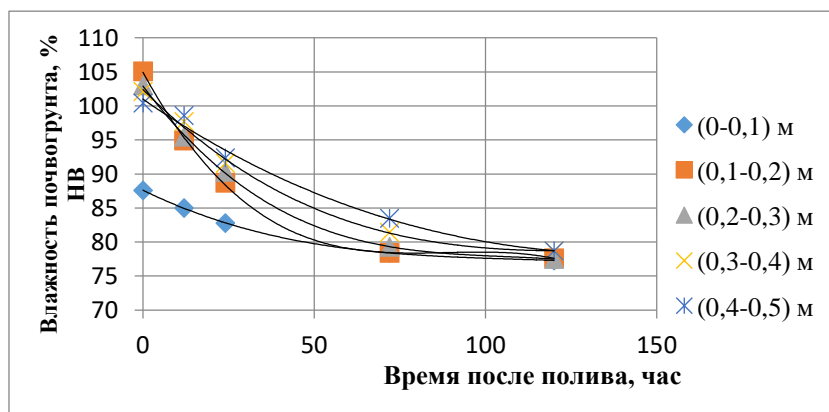


Рисунок 2.7 – Изменение влаги в модельном почвогрунте в сечении С при ВПО (20 минут полива)

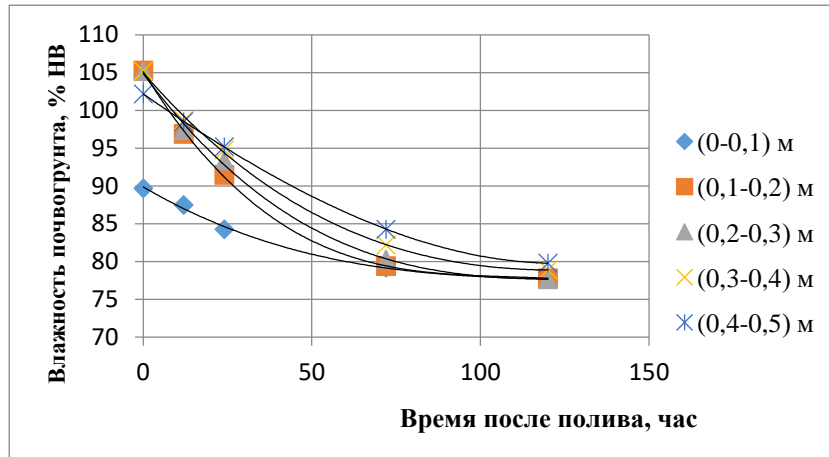


Рисунок 2.8 – Изменение влаги в модельном почвогрунте в сечении С при ВПО (40 минут полива)

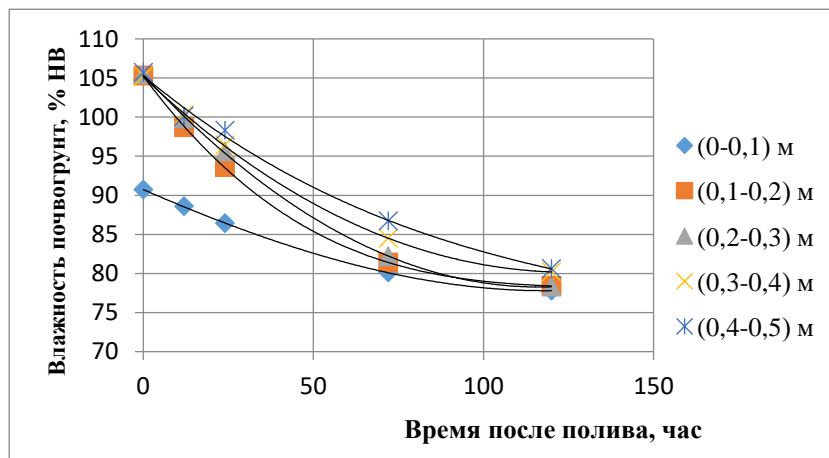


Рисунок 2.9 – Изменение влаги в модельном почвогрунте в сечении С при ВПО (60 минут полива)

На графике (рисунок 2.7) показано, что при 20 минутах полива влага в сечении С на глубинах почвогрунта профиля 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,4 и 0,4-0,5 м находится в диапазоне 87,6 % НВ...77,3 % НВ, 105,1 % НВ...77,6 % НВ, 103 % НВ...77,5 % НВ, 102,1 % НВ...78,7 % НВ и 100,4 % НВ...78,7 % НВ, соответственно.

При 40 минутах полива в сечении С, как показано на рисунке 2.8, влага на глубинах почвогрунта профиля 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,4 и 0,4-0,5 м находится в диапазоне 89,7 % НВ...77,7 % НВ, 105,3 % НВ...77,8 % НВ, 105,2 % НВ...77,7 % НВ, 105,2 % НВ...78,9 % НВ и 102,2 % НВ...79,8 % НВ, соответственно.

Влага на глубинах почвогрунта профиля 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,4 и 0,4-0,5 м, в сечении С при 60 минутах полива представлено на рисунке 2.9, находится

в диапазоне 90,7 % НВ...77,8 % НВ, 105,3 % НВ...78,4 % НВ, 105,5 % НВ...78,3 % НВ, 105,2 % НВ...80,2 % НВ и 105,7 % НВ...80,6 % НВ, соответственно.

Аппроксимирующие зависимости между изменением влажности почвы и временем после полива были получены путем математической обработки экспериментальных результатов в виде:

$$V_{\text{лв}} = x_1 t^3 + x_2 t^2 + x_3 t + x_4, \quad (2.2)$$

где $V_{\text{лв}}$ – влажность почвогрунта при ВПО, % НВ; t – время, час; x_1, x_2, x_3 и x_4 – эмпирические коэффициенты уравнения.

Таблица 2.2 – Аппроксимирующие зависимости между изменением влажности почвы и временем после полива при ВПО

Время полива, минут	глубина почвогрунта профиля, см	Аппроксимирующие зависимости (R^2 - Коэффициент корреляции)	
20	0-10	$V_{\text{лв}} = -6 \times 10^{-6} t^3 + 0,003 t^2 - 0,246 t + 87,61$	$R^2 = 0,999$
	10-20	$V_{\text{лв}} = -4 \times 10^{-5} t^3 + 0,010 t^2 - 0,918 t + 104,9$	$R^2 = 0,999$
	20-30	$V_{\text{лв}} = -2 \times 10^{-5} t^3 + 0,007 t^2 - 0,668 t + 102,9$	$R^2 = 0,999$
	30-40	$V_{\text{лв}} = -8 \times 10^{-6} t^3 + 0,004 t^2 - 0,506 t + 102,4$	$R^2 = 0,997$
	40-50	$V_{\text{лв}} = -2 \times 10^{-6} t^3 + 0,003 t^2 - 0,348 t + 100,9$	$R^2 = 0,988$
40	0-10	$V_{\text{лв}} = -5 \times 10^{-6} t^3 + 0,002 t^2 - 0,261 t + 89,88$	$R^2 = 0,996$
	10-20	$V_{\text{лв}} = -2 \times 10^{-5} t^3 + 0,007 t^2 - 0,728 t + 105,1$	$R^2 = 0,996$
	20-30	$V_{\text{лв}} = -1 \times 10^{-5} t^3 + 0,005 t^2 - 0,603 t + 104,8$	$R^2 = 0,997$
	30-40	$V_{\text{лв}} = -6 \times 10^{-6} t^3 + 0,003 t^2 - 0,513 t + 104,9$	$R^2 = 0,998$
	40-50	$V_{\text{лв}} = -4 \times 10^{-6} t^3 - 0,308 t + 102,1$	$R^2 = 0,999$
60	0-10	$V_{\text{лв}} = -2 \times 10^{-6} t^3 - 0,189 t + 90,73$	$R^2 = 0,999$
	10-20	$V_{\text{лв}} = -1 \times 10^{-5} t^3 + 0,004 t^2 - 0,587 t + 105,2$	$R^2 = 0,999$
	20-30	$V_{\text{лв}} = 2 \times 10^{-7} t^3 + 0,002 t^2 - 0,463 t + 105,3$	$R^2 = 0,999$
	30-40	$V_{\text{лв}} = -8 \times 10^{-7} t^3 + 0,001 t^2 - 0,411 t + 105,1$	$R^2 = 0,999$
	40-50	$V_{\text{лв}} = -3 \times 10^{-6} t^3 + 0,001 t^2 - 0,362 t + 105,2$	$R^2 = 0,995$

Из таблицы (2.2) видно, что при ВПО можно определять влажность в почве через 0,1 м по глубине почвогрунта в лотке до 0,5 м для 20, 40 и 60 мин. полива в зависимости от нормы и времени после полива.

Из уравнения (2.2) следует, что для времени полива 20 минут и поддержания влажности почвогрунта 90 % НВ межполивной период не должен превышать одного дня; для времени полива 40 минут и поддержания влажности почвогрунта 81 % НВ межполивной период не должен превышать трех дней; межполивной период не должен превышать шести дней для времени полива 60 минут и поддержания влажности почвогрунта 72 % НВ.

Аналогичные результаты получены для распределения влаги в сечении С при втором и третьем опытах и представленные на графиках (Б.1 - Б.6) приводятся в приложении Б.

Выводы по подразделу 2.3:

- установлено, что при ВПО и межполивном периоде 1 дня, времени полива 20 минут влажность почвогрунта находится 90 % НВ;
- установлено, что при ВПО и межполивном периоде 3 дня, времени полива 40 минут влажность почвогрунта находится 81 % НВ;
- при ВПО и для времени полива 60 минут и межполивного периода 6 дня влажность почвогрунта находится 72 % НВ.

Выводы по главе 2:

- разработана физическая модель (почвогрунта) в лаборатории кафедры гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения ФГБУ ВО Кубанского ГАУ, которая позволяет изучить движение влаги в модельном почвогрунте, создавая условия, приближенные к реальным ситуациям при капельном и внутрипочвенном орошении;

- исследовано движение влажности в модельном почвогрунте, который создавал имитацию движения влаги в верхнем слое почвы 0-0,5 м поля в Сирии при 20, 40 и 60 минутах полива и времени после полива при капельном и внутрипочвенном орошении;

- получены новые закономерности (2.1) и (2.2) увлажнения модельного почвогрунта при капельном и внутрипочвенном орошении, которые можно использовать (с определёнными допущениями: плотности, структуры, водно-физических свойств) для определения влажности по профилю почвы А+В (диапазоне 0-0,5 м) в зависимости от поливной нормы (m) и времени;

- получено, что для межполивного периода 1 дня и времени полива 20 минут влажность почвогрунта при капельном и внутрипочвенном орошении была 88 % НВ и 90 % НВ, соответственно, для межполивного периода 3 дня и времени полива 40 минут влажность почвогрунта находится 78 % НВ и 81 % НВ, соответственно, а для времени полива 60 минут и межполивного периода 6 дня влажность почвогрунта находится 69 % НВ и 72 % НВ, соответственно;

- незначительная разница в показателях влажности почвогрунта обусловлена наличием испарения воды с поверхности почвы при капельном орошении.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ ОРОШЕНИЯ

Задачи исследования:

- разработать физическую модель рисового почвогрунта в лизиметре;
- изучить движения влаги в рисовой почве при капельном и внутрипочвенном орошении в экстремальных условиях при выращивании сои пожнивно.

Исследования выполнялись с начала июля по конец сентября в экстремальных условиях: высокая температура и отсутствие осадков. В лизиметрах использовалась почва, привезённая с рисовой системы.

Исследования, проведенные в Ботаническом саду ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ, позволили изучить движение влаги в рисовой почве при капельном и внутрипочвенном орошении в экстремальных условиях при отсутствии осадков и дневных температурах воздуха, которая достигала 36°C.

Соя сорта «Арлета» во всех вариантах высаживали в начале июля, а сбор урожая проводили в первой декаде октября.

В связи с этим были определены зависимости распределения и динамики влаги в почвогрунте при КО и ВПО, а также изучено влияние высоких температур и норм полива на размер контура увлажнения в рисовой почве. Определялась динамика влаги в профиле в поперечном направлении и от оси орошаемого трубопровода при КО и ВПО.

Изучались затраты воды от НВ при КО и ВПО сои пожнивно на рисовых почвах в экстремальных условиях. Определялась урожайность сои при различных вариантах режимов КО и ВПО. Варианты сравнивались между собой по урожайности, коэффициенту водопотребления, росту и развитию растений.

Во всех вариантах проводилось удобрение почвы перед севом сои. Были приняты одинаковые нормы минеральных удобрения из расчёта $N_{110}P_{60}K_{120}$. Исследования подтверждались оценкой экономической эффективности [31, 74].

Результаты научных исследований в данной работе (цель и задачи исследования, лабораторные и полевые эксперименты, математический анализ результатов, выводы и рекомендации) выполнены исследователем лично.

Данная работа направлена на решение конкретной задачи исследования орошения сои на рисовой почве в пожнивных посевах в экстремальных условиях. Результаты исследования имеют большое научное и практическое значение не только в России и Сирии, но и во всем мире.

3.1 Разработка физической модели КО и ВПО

Экспериментальные исследования проводились при выращивании сои сорта «Арлета» на рисовой почве в экстремальных условиях (высокие температуры и отсутствие дождей) и были направлены на изучение движения влаги в почве в этих условиях, а также влияния влаги на урожайность.

В полевых экспериментах вспахивали почву на глубину 6-8 см (рисунок 3.1), а затем высаживали сою на глубину 3-5 см в два ряда с расстоянием 50 см между ними. Было заложено два варианта с двумя повторениями по общей схеме (рисунок 3.2).



Рисунок 3.1 – Подготовка почвы

Поливной трубопровод прокладывался на поверхности. В первом опыте капельницы подключались на поверхности почвы. Во втором опыте капельницы устанавливались внутри почвы на глубину 10 см, при этом опыты выполнялись параллельно в одно и то же время.

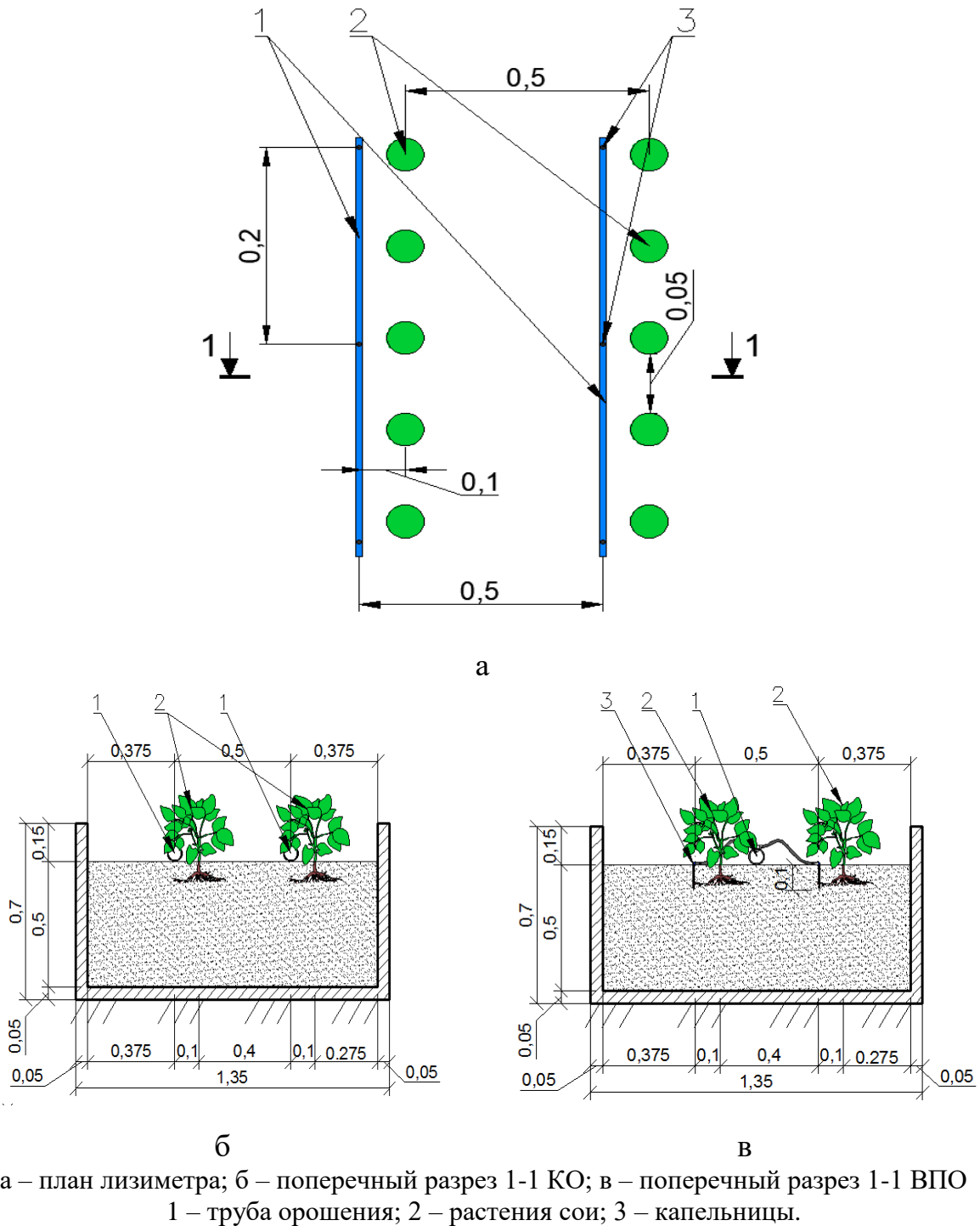
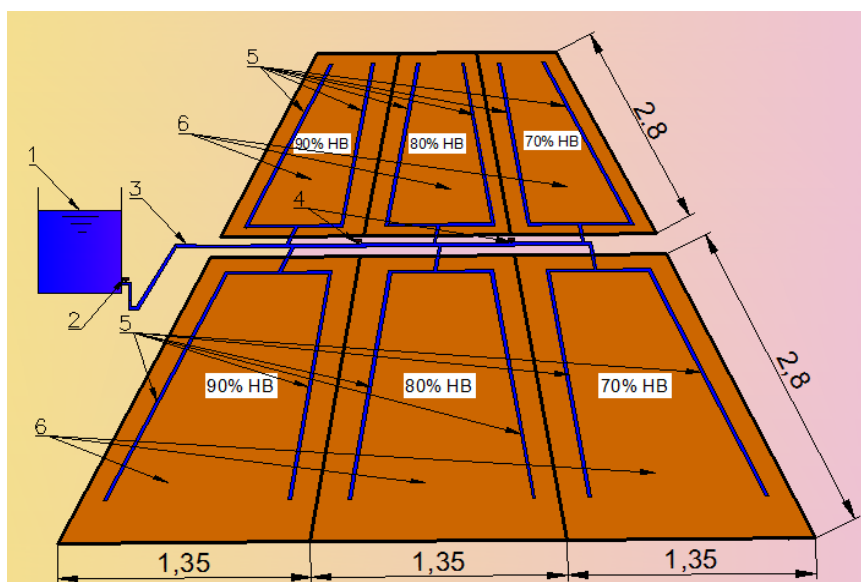


Рисунок 3.2 – Схема посадки сои в лизиметре при КО и ВПО

Влажность почвы при КО и ВПО была в диапазоне 70 % НВ, 80 % НВ и 90 % НВ на посевах сои сорта «Арлета». Норма высева семян сои составила из расчёта 450 тыс. шт./га.

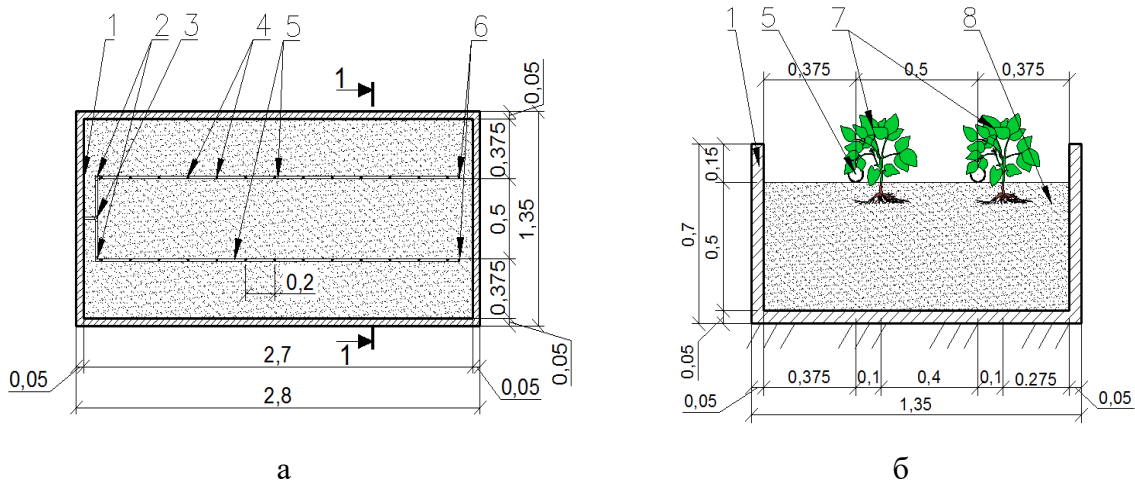
На рисунке 3.3 изображена сеть капельного орошения, при котором вода подается в оросительную сеть КО с помощью бака (1) с постоянным напором; бак подключен к крану (2) для регулирования количества воды, подаваемой в магистральный трубопровод $d_m=16$ мм (3), который подает воду в распределительный трубопровод (4) $d_p=16$ мм, по которому подается поливная вода к трубопроводам капельного орошения диаметром 16 мм (5), расположенным на поверхности почвы (6).



1 – бак; 2 – кран; 3 – магистральный трубопровод; 4 – распределительный трубопровод; 5 – капельный поливной трубопровод 16 мм; 6 – рисовая почва.

Рисунок 3.3 – Лизиметры с капельным орошением

В каждом лизиметре при КО (рисунок 3.4) две поливные трубы (длиной $L=2,4$ м, диаметром $d=16$ мм) были размещены на поверхности рисовой почвы с расстоянием 0,5 м между ними, и 0,1 м от растения сои; расстояние между капельницами составляло 20 см, а расход капельниц составлял 4 литра в час.



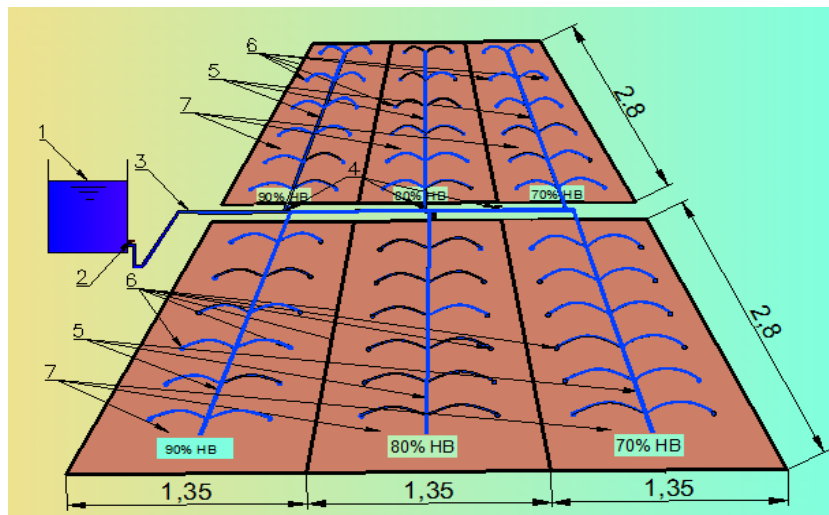
а

б

а – план сети капельного орошения в лизиметре; б – разрез 1-1
 1 – бетонная стенка лизиметра; 2 – отвод 90° Ø16 мм; 3 – тройник Ø16 мм; 4 – капельницы; 5 – ПЭ трубопровод Ø16 мм; 6 – ПЭ заглушка Ø16 мм; 7 – соя сорта «Арлета»; 8 – почва.

Рисунок 3.4 – Схема сети капельного орошения в лизиметре

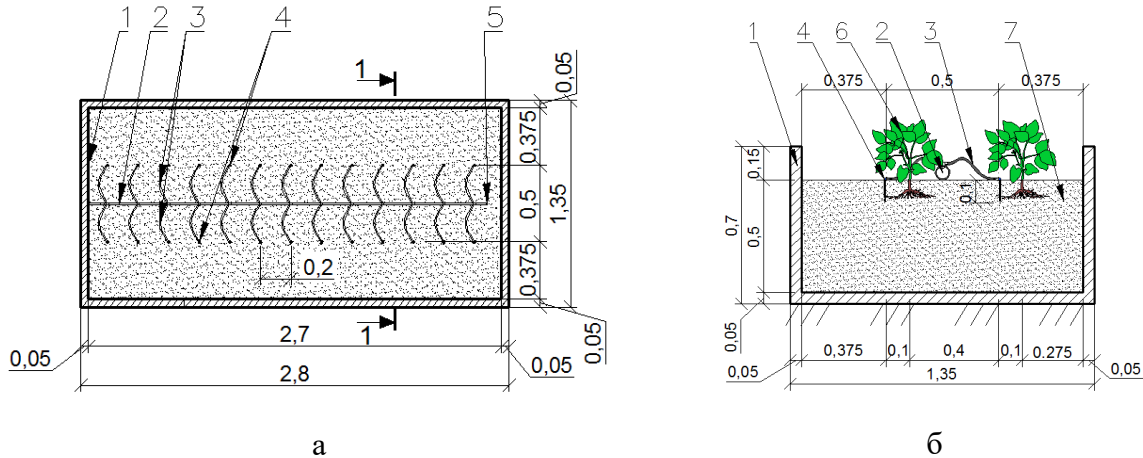
На рисунке 3.5 показана сеть внутрипочвенного орошения, при котором вода подается в оросительную сеть ВПО с помощью бака (1) с постоянным напором; бак подключен к крану (2) для регулирования количества воды, подаваемой в магистральный трубопровод $d_m=16$ мм (3), который подает воду в распределительный трубопровод (4) $d_p=16$ мм, по которому, в свою очередь, подается поливная вода к трубопроводам, размещенным на рисовых почвах (7) и соединяющимся с Г-образными капельницами (6) трубкой диаметром 5 мм.



1 – бак; 2 – кран; 3 – магистральный трубопровод; 4 – распределительный трубопровод; 5 – капельный поливной трубопровод 16 мм; 6 – рисовая почва

Рисунок 3.5 – Лизиметры с внутрипочвенным орошением

Также в каждом лизиметре при ВПО был размещен трубопровод диаметром 16 мм на поверхности рисовой почвы (рисунок 3.5), который соединяется с Г-образными капельницами трубкой диаметром 5 мм. Г-образные капельницы размещены на глубине 0,1 м от поверхности земли и на расстоянии 0,2 м между ними. Расход воды в капельницах составил 4 л/час.



а – план сети капельного орошения в лизиметре; б – разрез 1-1
 1 – бетонная стенка лизиметра; 2 – трубопровод $\varnothing 16$ мм; 3 – трубка $\varnothing 5$ мм;
 4 – капельницы Г-образные (на глубине 0,1 м); 5 – ПЭ заглушка $\varnothing 16$ мм;
 б – соя сорта «Арлета»; 7 – почва

Рисунок 3.6 – Схема сети внутрипочвенного орошения в лизиметре

В лизиметре моделировались полевые условия, подавалась вода при КО и ВПО из бака с постоянным давлением 3 м.



Рисунок 3.7 – Лизиметр с капельным орошением



Рисунок 3.8 – Лизиметр с внутривпочвенным орошением

3.2 Обоснование основных условий исследования влажности в почвогрунтах при водосберегающих поливах

Большинство территории Сирии расположено в условиях сухого жаркого климата [109, 110]. Для выполнения поставленной цели проводилось исследование в г. Краснодаре в летнее время в лизиметрах на рисовых почвах в пожнивных посевах севооборота в экстремальных условиях.

Краснодарский край считается одним из богатейших и крупнейших регионов Российской Федерации. Этот статус край приобрел благодаря своему важному географическому положению: он расположен в западной части Большого Кавказа, граничит на юго-западе с Черным морем, а на северо-западе с Азовским морем и Керченским проливом [38].

Согласно статистическим данным среднегодовые температуры зимой в Краснодарском крае опускается до -3°C (в горных равнинах до -6°C , около моря $+7^{\circ}\text{C}$). Средняя температура летом $+24^{\circ}\text{C}$ (в горных равнинах $+21^{\circ}\text{C}$, около моря $+26^{\circ}\text{C}$). Годовое количество выпавших осадков в среднем от 500 мм. Для местности в среднем характерно жаркое и сухое лето; где самая высокая температура воздуха отмечалась в Краснодаре 20 июля 2021 года и составляла 45°C . Данные факторы сказываются на уменьшении урожайности растений,

особенно сои, которая считается влаголюбивым растением. Таким образом, для получения высокого и стабильного урожая сои крайне важно удовлетворить потребности растения в пище и воде, а также повысить способность почвы удерживать воду в экстремальных условиях [38, 98].

Зима в Краснодарском крае считается мягкой по сравнению с остальным климатом Российской Федерации. Большую часть месяцев в году преобладает теплая погода, а несколько дней в году температура опускается ниже нуля. Количество часов солнечной яркости в год колеблется от 2400 часов, что увеличивает количество теплых дней до 160-180 в год [38].

Исследование, представленное в данной работе, проводилось в Ботаническом саду ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ при возделывании сои на рисовых почвах пожнивно в экстремальных условиях в лизиметрах размером 1,25×2,7×0,7 м. Опыты выполнялись в 2021-2022 гг.

Г. Т. Селянинов предложил использовать гидротермический коэффициент (ГТК) как косвенный показатель увлажненности территории, который представляет собой частное от деления суммы осадков на сумму температур воздуха выше 10°C, уменьшенную в 10 раз, имеет вид [51]:

$$\text{ГТК} = \frac{\Sigma R}{0.1 \Sigma T \geq 10^{\circ}\text{C}} \quad (3.1)$$

где ΣR - сумма осадков за месяцы при температуре больше 10°C; ΣT - сумма среднесуточных значений температуры воздуха больше 10°C.

В таблице 3.1 представлены метеорологические данные за периоды исследований.

В 2021 году (таблица 3.1) дана среднесуточная температура воздуха, в июле, августе и сентябре увеличивается от нормы на 1,3°C, 0,9°C и 1,2°C, соответственно, и сумма атмосферных осадков составляют 40,9%, 181% и 107,8% от нормы в июле, августе и сентябре, соответственно. Средний гидротермический коэффициент за периоды исследований в 2021 году составляет 0,7, таким образом, характеризует район с засушливым климатом.

Таблица 3.1 – Метеорологические данные за 2021 г. и 2022 г., метеостанция г. Краснодар

Месяц	2021 г.					2022 г.					Среднегодовое		
	Сумма осадков за месяцы, мм	Среднесуточная температура воздуха, °С	$\Sigma t >$ 10 °С, °С	Относительная влажность воздуха, %	Гидротермический коэффициент	Сумма осадков за месяцы, мм	Среднесуточная температура воздуха, °С	$\Sigma t >$ 10 °С, °С	Относительная влажность воздуха, %	гидротермический коэффициент	Сумма осадков за месяцы, мм	Среднесуточная температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %
Январь	102	1,3	12,1	85	84,30	166	1,9	12,1	84	137,19	65	0,8	81
Февраль	108	0,5	32,6	74	33,13	48	5,0	22,0	79	21,82	53	1,9	76
март	53	4,5	10,1	75	52,48	51	2,9	28,1	73	18,15	65	6,5	72
Апрель	86	11,1	240,1	80	3,58	24	13,4	330,5	67	0,73	49	12,4	66
Май	64	18,0	556,7	73	1,15	52	15,2	451,6	69	1,15	65	17,9	66
Июнь	108	21,7	651,6	78	1,66	158	22,9	640,4	67	2,47	80	22,2	68
Июль	27	26,2	811,7	56	0,33	63	23,7	735,4	66	0,86	66	24,9	63
Август	74	25,6	794	71	0,93	90	26,3	814,1	59	1,11	41	24,7	62
Сентябрь	55	20,4	655,4	68	0,84	40	19,1	573,2	66	0,70	51	19,2	68
Октябрь	33	14,4	383	76	0,86	43	13,4	386,6	76	1,11	61	12,9	75
Ноябрь	35	8,4	289	82	1,21	21	8,1	133,7	82	1,57	66	6,9	81

Среднесуточная температура воздуха в 2022 году, в июле, августе и сентябре отклонение от нормы $-1,2^{\circ}\text{C}$, $+1,6^{\circ}\text{C}$ и $-0,1^{\circ}\text{C}$, соответственно, и сумма атмосферных осадков составляют 95,5%, 219,5% и 78,4% от нормы в июле, августе и сентябре, соответственно. Средний гидротермический коэффициент за периоды исследований в 2022 году составляет 0,89, и, таким образом, характеризует район недостаточного увлажнения.

Высокие температуры, которые летом могут достигать 45°C , в дополнение к отсутствию осадков, приводят к снижению влажности почвы, что, в свою очередь, негативно сказывается на сельскохозяйственном производстве [36].

Морфологические особенности почвенных горизонтов, и механические свойства почвы должны быть определены для проведения исследований и выполнения водосберегающих поливов.

Для достоверности опытов была доставлена почва лугово-черноземная с рисового поля из пахотного горизонта. В таблице 3.2 представлено содержания аммония, подвижного фосфора и обменного калия в пахотном горизонте опытной почвы.

Среднее содержание гумуса было 3,92%, средняя плотность почвы в слое 0-20 см была $1,2 \text{ т/м}^3$, а для слоя почвы 20-50 см составляла $1,34 \text{ т/м}^3$. По механическому составу она относится к тяжелосуглинистым почвам. *РН* в слое 0-20 см составляет 6,5~7,0 а для слоя 20-50 см составляет 7~7,5.

Таблица 3.2 – Основные характеристики опытной почвы

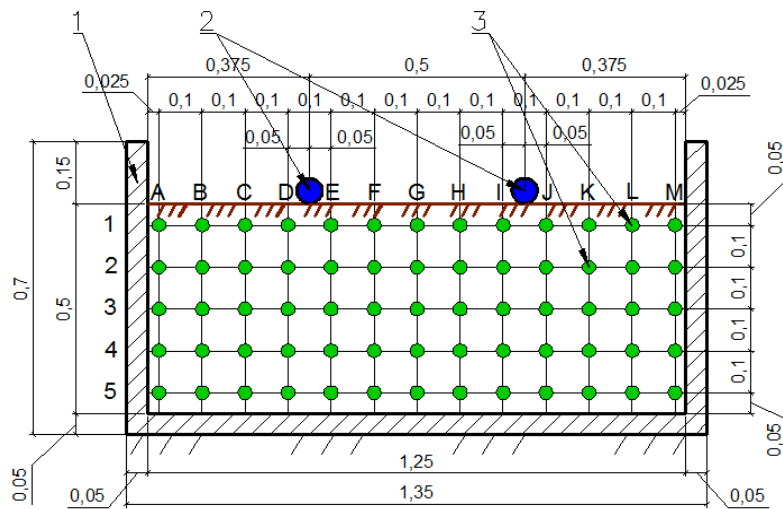
глубина почвогрунта, см	pH	Оксид фосфора, мг/100 г	Азот, мг/100 г	Оксид калия, мг/100 г	Плотность почвы, т/м^3
0–20	6,5–7	4,07	0,81	34,7	1,20
20–50	7–7,5	4,23	0,72	28,4	1,34

3.3 Схема опытов и методика исследований

Для достижения цели исследования и всесторонней обработки результатов лабораторных и полевых экспериментов, а также повышения их достоверности

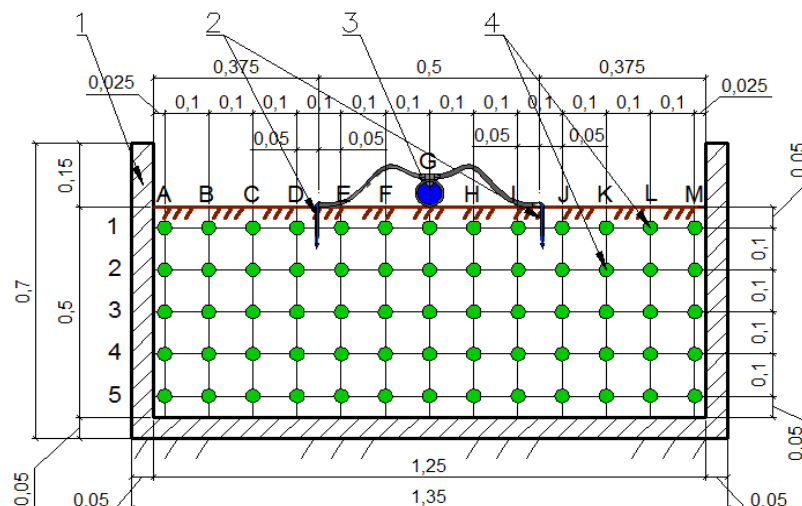
были применены следующие общепринятые методы с использованием соответствующих наблюдений.

Прибор ВИМС-1У использовался для измерения влажности почвы, определения перемещения и распределения влаги во время и после полива, а также размеры контуров увлажнения. Влажность измерялась по ширине лизиметра в вертикальном и горизонтальном направлении каждый 0,1 м. Данные представлены на рисунках 3.9 и 3.10.



1— стенка лизиметра; 2 – труба 16 мм; 3 – точки отбора проб почвенных

Рисунок 3.9 – Схема мест измерения влажности почвогрунта при КО



1— стенка лизиметра; 2 – капельницы Г-образные; 3 – труба 16 мм;
4 – точки отбора проб почвенных

Рисунок 3.10 – Схема мест измерения влажности почвогрунта при ВПО

Средний расход ($Q_{увл.м}$ л/ч), отдаваемый с одного погонного метра увлажнителя, при КО и ВПО определяется умножением количества капельниц на 1 погонный метр увлажнителя ($N_{к.м}$, шт.) на расход одной капельницы (q_k , л/ч), что показано в следующем уравнении [41, 45, 77, 78]:

$$Q_{увл.м} = N_{к.м} \cdot q_k, \quad (3.2)$$

Количество капельниц ($N_{к.м}$, шт.) на 1 погонный метр увлажнителя рассчитывается из деления длины одного метра оросительного трубопровода ($l_{увл.м}$, м) на расстояние между капельницами на трубопроводе (b_k , м) по формуле (3.3):

$$N_{к.м} = l_{увл.м} / b_k, \quad (3.3)$$

Поливные нормы для капельного орошения ($m_{кап}$, м³/га) соотносят долю площади (A , м²), подлежащей увлажнению, глубину активного почвенного слоя ($h_{акт}$, м), значению почвенной плотности (ρ_p) и средней влажности почвы, соответствующей минимальной влагоемкости ($W_{НВ}$, %), как в следующем уравнении [41, 77, 78]:

$$m_{кап} = 100Ah_{акт}\rho_p(W_{НВ} - \lambda W_{НВ}), \quad (3.4)$$

где λ – коэффициент предполивной влажности почвы.

Доля площади определялась по формуле (3.5):

$$A = n_{общ}\omega_{увл} / S_{общ} \quad (3.5)$$

где $\omega_{увл}$ – увлажняемая площадь одной капельницей; $n_{общ}$ – общее количество капельниц на площади орошаемого участка $S_{общ}$.

Поливные нормы для внутрипочвенного орошения ($m_{вн}$, м³/га) соотносят мощность активного почвенного слоя ($H_{акт}$, м), объемную массу почвы, (ρ_p , т/м³), коэффициент, учитывающий характер распределения в почве поливной жидкости, поступающей из увлажнителей (δ_p), наименьшую влагоемкость

активного почвенного слоя (β_{HB} , %) и влажность активного слоя почвы на начало полива (β_T , %), как в следующем уравнении [43, 77, 78]:

$$m_{вн} = 100H_{акт}\rho_{п}\delta_{п}(\beta_{HB} - \beta_T), \quad (3.6)$$

М.С. Григоров и А.А. Богушевской в своих исследованиях говорят о том, что коэффициент распределения поливной (δ) составляет 0,7 [43, 77, 78].

Площадь участка ($A_{кап}$, га), обслуживаемого одной гребенкой, рассчитывается умножением расстояния между увлажнителями в гребенке ($b_{увл}$, м) на количество капельниц увлажнителей в одной гребенке ($n_{кап}$, шт.) и длину увлажнителя ($l_{увл}$, м), по формуле (3.7):

$$A_{кап} = b_{увл} \cdot n_{кап} \cdot l_{увл}, \quad (3.7)$$

Влажность почвы измерялась с помощью прибора ВИМС-1У, который необходим для определения перемещения и распределения влажности, а также определения размеров контуров увлажнения до и после полива через 12 часов, 1, 3 и через 5 суток в трехкратной повторности.

Для измерения влажности в почве при КО и ВПО отрывались шурфы на глубине лизиметра 0,5 от поверхности почвы. По стенке шурфа измерялась влажность и определились контуры увлажнения [40, 41, 77, 78].

А.Н. Костяков [53, 77, 78] использовал метод водного баланса для определения суммарного водопотребления ($E_{вод}$, м³/га), который рассчитывается из суммы нормы орошения (M_n , м³/га), количества осадков за исследуемый период ($P_{и}$, мм), умноженные на коэффициент доли осадков, используемых растением ($\mu_{и}$), количества воды, используемое растением из корнеобитаемого слоя почвы (ΔW , м³/га) и подпитывании корнеобитаемого слоя почвы грунтовыми водами ($W_{ГВ}$, м³/га) по формуле (3.8):

$$E_{вод} = M_n + 10(100) \cdot \mu_{и} \cdot P_{и} \mp \Delta W + W_{ГВ}, \quad (3.8)$$

Коэффициент водопотребления сои (K_B , м³/га) рассчитывается делением суммарного водопотребления сои ($E_{вод}$, м³/га) на урожай сои (Y , кг) по формуле (3.9):

$$K_B = \frac{E_{вод}}{Y}, \quad (3.9)$$

Среднесуточное водопотребление (e , м³/га) по фазам роста и развития сои на опытных КО и ВПО рассчитывается делением суммарного водопотребления сои за отдельный период вегетации сои ($E_{вод}$, м³/га) на количество дней в периоде вегетации (n , сут.) по формуле [56, 77, 78]:

$$e = \frac{E_{вод}}{n}, \quad (3.10)$$

Визуальное наблюдение использовалось для определения этапов роста и развития сои на опытных КО и ВПО (даты цветения, плодоношения и начала плодоношения) в течение вегетационного периода, где началом любой фазы считается то время, когда 10% растений вступают в эту фазу. Фаза считается завершенной, когда более 75% от общего числа растений вступают в эту фазу [52, 75, 77, 78].

Компьютерные программы *Excel* и *Autocad* использовались для обработки данных и результатов полевых экспериментов, путем выполнения статистической обработки, всестороннего анализа данных и построения необходимых диаграмм.

Выводы по главе 3:

- разработана физическая модель капельного и внутрипочвенного орошения в Ботаническом саду ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ, которая позволяет изучить движения влаги в лизиметре размером 1,25×2,7×0,7 м на глубине профиля 0-0,5 м в рисовой почве при экстремальных условиях;

- сою сорта «Арлета» во всех вариантах высаживали в начале июля, а сбор урожая проводили в первой декаде октября;

- для вычисления суммарного водопотребления был принят балансовый метод А.Н. Костякова, который позволял установить коэффициент водопотребления сои при капельном и внутрипочвенном орошении для различной влажности почвы в расчетном слое.

- поливные нормы при капельном и внутрипочвенном орошении находились согласно рекомендациям М.С. Григорова и А.А. Богушевского;

- опыты выполнялись в летнее время (июль – сентябрь) 2021-2022 гг.; средний гидротермический коэффициент за 2021 год составлял 0,7, а за 2022 год – 0,89, и, следовательно, данный период выращивания сои можно охарактеризовать как засушливый и недостаточно увлажненный.

ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВЛАГИ В РИСОВОЙ ПОЧВЕ ПРИ КО И ВПО СОИ ПОЖНИВНО

4.1 Исследование гидравлических параметров системы капельного орошения

Сельскохозяйственное орошение один из основных факторов, способствующий ускорению дефицита водных ресурсов, поскольку является основным потребителем пресной воды. Таким образом водосбережение, направленное на снижение водных, экологических, экономических и других ресурсных затрат, рассматривается как основное решение проблемы. Наиболее эффективным способом водосбережения в ряде развитых стран включая Россию и Сирию считается капельное и внутрпочвенное орошение [65, 66, 67, 77, 78].

При проведении исследования нами были выделены основные аспекты повышенного внимания: модернизация элементов технологии капельного орошения; разработка усовершенствованных агромелиоративных приёмов; подробное изучения пищевого, водно-воздушного и других режимов орошения [9, 68, 77, 78, 79, 105, 106]. Вопрос водосберегательного орошения как экономия поливной воды мало исследован, общее мнение об оптимизации водораспределения и модернизации систем орошения для оптимального водосбережения не сформировано [69, 77, 84, 95]. Таким образом приоритетным направлением исследования является распределение поливной воды в корнеобитаемом рисовом слое почвы в экстремальных условиях.

Были поставлены экспериментальные исследования на линии типа «Агротерм» российского производства – оросительной трубе диаметром 16 мм, толщина стенки 1 мм, расходом капельницы 4,0 л/ч.

Гидравлические расчеты проводились в соответствии с установленной методикой О. Е. Ясониди [34, 77, 83, 89]. Результаты расчета поливного трубопровода представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Гидравлический расчет параметров капельного поливного трубопровода

Режим орошения	Диаметр поливной трубы, мм	Длина поливной трубы, м	количество капельниц, шт/м.п.	напор, м	расход капельницы, л/ч	расход трубы, м ³ /с	средняя скорость потока, м/с	число Рейнольдса	коэффициент Дарси
КО	16	2.2	5	3	4	1.22.10 ⁻⁵	0.06	973.11	0.042

Таблица 4.1 показывает, что средняя скорость потока в трубопроводах капельного орошения составляет 0,06 м/с, а среднее число Рейнольдса составило 973,11, поэтому режим движения воды в трубопроводах ламинарном.

Потери напора по длине капельного увлажнителя определяется по формуле:

$$h = \lambda \frac{l v^2}{d 2g} \dots \dots \dots (4.1)$$

где h – потери напора по длине, м; λ – коэффициент Дарси (коэффициент гидравлического трения), величина безразмерная; l – длина, м; d – внутренний диаметр трубопровода, м; V – средняя скорость потока, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с².

Из формулы (4.1) потери напора по длине капельного увлажнителя установлены $h = 0,001$ м.

4.2 Исследование гидравлических параметров систем внутрпочвенного орошения

Внутрпочвенный полив используется для широкого спектра сельскохозяйственных культур, и занимает одну из лидирующих позиций среди способов полива. Так, ВПО характеризуется минимизацией количества испаряющейся и просачивающейся воды глубоко в почву, а также равномерным

распределением поливной воды в необходимых количествах по всей длине оросительной трубы. Болезни различных культур, например, клубники, могут быть ликвидированы при использовании ВПО, так как данный способ сохраняет поверхность почвы, а также листву относительно сухими многолетнее использование ВПО способно снизить годовую стоимость системы, так что она будет выгодна для использования с менее ценными культурами, такими как хлопок и кукуруза. Точное размещение воды и удобрений – одна из главных особенностей ВПО. Данные характеристики являются важными факторами при выращивании деревьев и винограда [77, 78, 113].

Несмотря на вышеперечисленные преимущества ВПО, неравномерное распределение воды по длине оросительной трубы считается одной из важнейших проблем внутрпочвенного орошения. Для того, чтобы справиться с этой проблемой, необходимо правильно спроектировать внутрпочвенную оросительную сеть, учитывая длину оросительных труб и расстояние между ними, а также расход капельниц и расстояние между ними, необходимо также учитывать и другие гидравлические расчеты [77, 78, 113].

Стоит отметить, что при проектировании сети внутрпочвенного орошения необходимо учитывать характер климата и характеристики сельскохозяйственных почв обрабатываемой территории. Это поможет точно определить необходимый объем воды для орошения [77, 78].

В задачу экспериментальных исследований входило изучение процесса распределения влаги в рисовой почве в экстремальных условиях при КО и ВПО с различными нормами полива для получения стабильных, высоких урожаев и качественных сои в условиях Краснодарской края. [77, 78, 94].

В связи с этим для улучшения работы внутрпочвенной оросительной сети, рационального использования водных ресурсов при орошении и получения высокой производительности сельского хозяйства требуются лабораторные и полевые исследования процессов орошения с различными нормами полива в дополнение к использованию математического моделирования для изучения движения воды в почве.

Требуемый расход поливного канала ($q_{\text{канал}}$) рассчитывается умножением расхода увлажнительной трубы ($q_{\text{увл}}$) на ее количество (n), по формуле (4.2):

$$q_{\text{канал}} = q_{\text{увл}} \cdot n + Z_{\text{канал}}, \quad (4.2)$$

где $q_{\text{канал}}$ – требуемый расход поливного канала, м³/час; $q_{\text{увл}}$ – расход увлажнительной трубы, м³/час; n – количество увлажнителей которые работают вместе, шт.; $Z_{\text{канал}}$ – гидравлические потери в канале.

Расход оросительной гребенки ($Q_{\text{гр}}$) можно рассчитать, умножив количество увлажнителей на гребенке (n) на расход одного увлажнителя ($q_{\text{увл}}$):

$$Q_{\text{гр}} = q_{\text{увл}} \cdot n, \quad (4.3)$$

где $Q_{\text{гр}}$ – расход оросительной гребенки, м³/ч; $q_{\text{увл}}$ – расход одного увлажнителя, м³/ч; $n = L_{\text{гр}}/b_{\text{увл}}$ – количество увлажнителей на гребенке, шт; $L_{\text{гр}}$ – длина оросительной гребенки, м; $b_{\text{увл}}$ – расстояние между увлажнителями на гребенке, м.

Общих потерь в гребенке определяется по формуле:

$$h_o = \frac{Q_{\text{гр}}^2 \cdot L_{\text{гр}}}{3 \cdot K^2}, \quad (4.4)$$

где K – модуль расхода, л/с.

Пьезометрический уклон ($i_{\text{ор.трб}}$) оросительного трубопровода (гребенки) определяется по формуле:

$$i_{\text{ор.трб}} = \frac{h_o}{L_{\text{гр}}}, \quad (4.5)$$

Расход одного оросительного увлажнителя при ВПО рассчитывается по формуле:

$$q_{\text{увл}} = \frac{m \cdot b_{\text{увл}} \cdot L_{\text{увл}}}{86.4 \cdot t}, \quad (4.6)$$

где $q_{\text{увл}}$ – расход одного оросительного увлажнителя, л/с; $L_{\text{увл}}$ – длина оросительного увлажнителя, м; $b_{\text{увл}}$ – расстояние между увлажнителями, м; m –

поливная норма, м; t – время, необходимое для того, чтобы поливная вода дошла до конца увлажнителя, сек.

Гидравлический расчет внутрипочвенной оросительной сети в целом и оросительного увлажнителя в частности рассчитывается исходя из впитывающей способности почвы, по мнению исследователей [18, 25, 77, 78]. Как доказал М.С. Григоров [43, 77], впитывание почвы зависит от напора по формуле (4.7):

$$q_{\text{вп}} = \varepsilon_{\text{увл}} \cdot H_{\text{увл}}, \quad (4.7)$$

где $q_{\text{вп}}$ – впитывание почвы на 1 метр длины оросительного увлажнителя, м²/с; $H_{\text{увл}}$ – напор в оросительном увлажнителе, м; $\varepsilon_{\text{увл}}$ – коэффициент зависимости от водно-физических свойств почвы и степени отверстий в оросительном увлажнителе, рассчитывается по следующему соотношению:

$$\varepsilon_{\text{увл}} = \frac{m \cdot n \cdot b_{\text{увл}}}{86,4 \cdot t \cdot H_{\text{расчетный}}} \cdot 10^{-7}, \quad (4.8)$$

где $H_{\text{расчетный}}$ – расчетный напор над осью перфорированных увлажнителей, м.

Николадзе Г.И. [43] получил формулу (4.9) для расчета гидростатического давления (H_a , м) в любом сечении оросительного увлажнителя:

$$H_a = H_{\text{нач}} + 1,5 \frac{v_{\text{нач}}^2}{2g} - \frac{1,5}{2g} \cdot (13,08 \cdot H_{\text{нач}} + v_{\text{нач}}^2)^{0,5} \cdot \sin \left[1,22 \cdot \mu \cdot S_o \cdot \frac{n_o}{\delta} \cdot (L_{\text{увл}} - X_a) \right] \quad (4.9)$$

где $v_{\text{нач}}$ – скорость в начале оросительного увлажнителя, м/с; S_o – площадь отверстия, м²; δ – площадь поперечного сечения увлажнителя, м²; n_o – количество отверстий на длине увлажнителя, шт; μ – коэффициент расхода отверстия.

Удельный расход (Q_y , л/с) на гектар рассчитывается умножением расхода оросительного увлажнителя ($q_{\text{увл}}$, л/с) на их количество (n_1 , шт) по формуле (4.10):

$$Q_y = q_{\text{увл}} \cdot n_1, \quad (4.10)$$

Количество внутрипочвенных увлажнителей на гектар (n_1 , шт.) рассчитывается путем деления площади гектара на длину увлажнителя ($L_{\text{увл}}$, м), умноженного на расстояние между увлажнителями ($b_{\text{увл}}$, м), по формуле:

$$n_1 = \frac{10000}{L_{увл} \cdot b_{увл}}, \quad (4.11)$$

Гидравлические расчеты внутрипочвенной оросительной сети проводились в соответствии с вышеупомянутыми формулами. Результаты расчета внутрипочвенного трубопровода представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Гидравлический расчет параметров внутрипочвенного поливного трубопровода

Режим орошения	Диаметр поливной трубы, мм	Длина поливной трубы, м	количество капельниц, шт/м.п.	напор, м	расход капельницы, л/ч	расход трубы, м ³ /с	средняя скорость потока, м/с	число Рейнольдса
ВПО	16	2,2	10	3	4	$2,44 \cdot 10^{-5}$	0,121	1936
	5	7,7				$1,11 \cdot 10^{-6}$	0,057	285

Из таблицы 4.2 видно, что средняя скорость потока в трубопроводах внутрипочвенного орошения диаметрами 16 и 5 мм составляет 0,121 и 0,057 м/с, соответственно, а среднее число Рейнольдса составило 1936 и 285, соответственно, поэтому режим движения воды в трубопроводах ламинарный.

4.3 Исследование движения влаги в почве для различных норм полива

Исследования проводились на лизиметрах в Ботаническом саду ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ, как показано на схемах капельной и внутрипочвенной сети на рисунках 3.3 и 3.5.

Поливная норма – один из важных показателей – влияет на динамику влажности в профиле почвы по длине оросительных увлажнителей при КО и ВПО для постоянного пьезометрического напора.

Для изучения процесса распределения влаги в профиле почвы проводились полевые исследования на КО и ВПО в экстремальных условиях при отсутствии осадков и наличии высоких дневных температур воздуха на рисовых почвах в пожнивных посевах севооборота. Исследования проводились с применением перфорированных увлажнителей диаметром 16 мм при КО и Г-образными

капельницами при ВПО. Согласно описанной методике в 3 главе измерялась влажность почвы (Рисунок 3.9 и 3.10). Все исследования выполнялись в трехкратной повторности.

В приложении В представлены схемы динамики распределения влажности в почвенном профиле при КО второго и третьего опыта.

На рисунках 4.1 – 4.5 показано движение влаги в слоях почвы по ширине лизиметра в сечениях А, В, С, D, Е, F, и G, где влажность в слоях почвы измерялась с глубины от 0 до 0,5 м от поверхности почвы сразу после полива, и через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива.

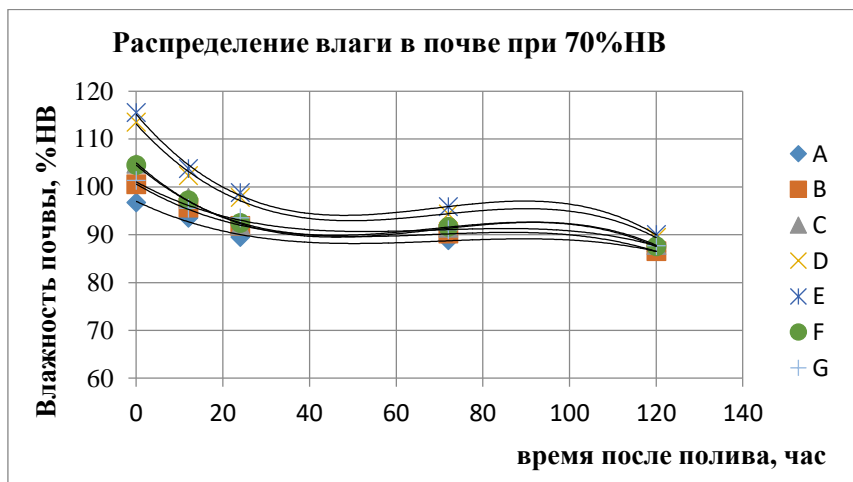
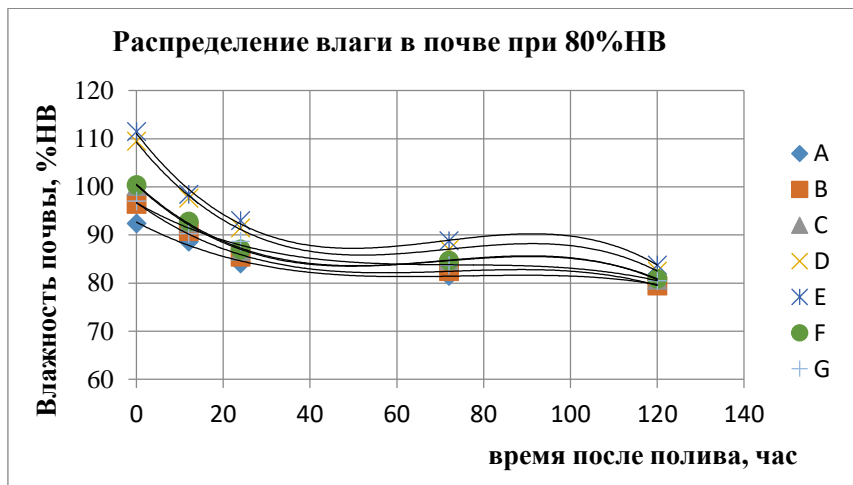
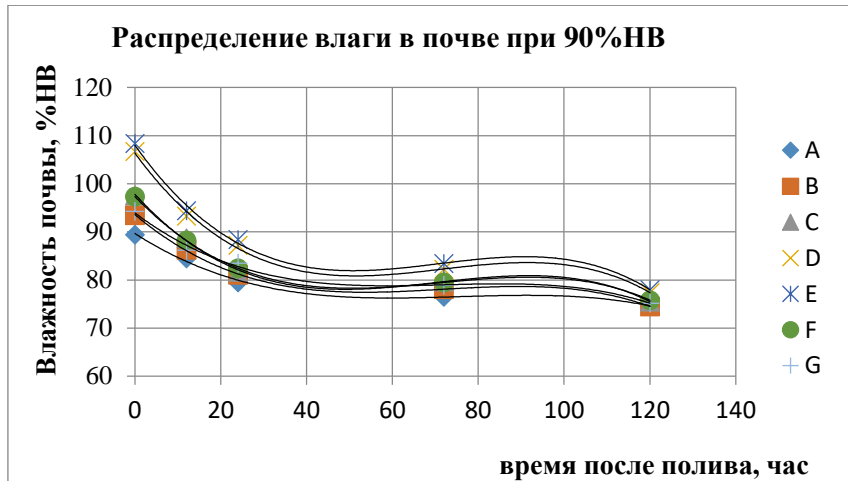
Динамика распределения влажности при КО в створах *H, I, J, K, L*, и *M* не выделялась нами отдельно, так как она очень похожа на динамику распределения влажности *F, E, D, C, D*, и *A*.

Влажность в почвенном профиле при КО для поливной нормы 90 % НВ, 80 % НВ и 70 % НВ, измерялась сразу после окончания полива, через 12 часов, а также через 1, 3, 5 суток в середине перфорированного увлажнителя (Рисунок 3.8). Каждое измерение проводилось в трёхкратной повторности, погрешность опыта не превышала 3%.

Влажность уменьшается через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива для поливной нормы 90 % НВ на глубине профиля 0-0,1 м на 9,55%, 15,05%, 18,76% и 22,46%, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива (Рисунок 4.1, а).

Для поливной нормы 80 % НВ (Рисунок 4.1, б), влажность на глубине профиля 0-0,1 уменьшается через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива на 7,96%, 12,88%, 16,2% и 19,79%, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.

На рисунке (4.1, в) видно, что влажность для поливной нормы 70 % НВ, через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива, на глубине профиля 0-0,1 м, уменьшается по сравнению с влажностью после окончания полива на 6,95%, 11,01%, 12,72% и 16,48%, соответственно.

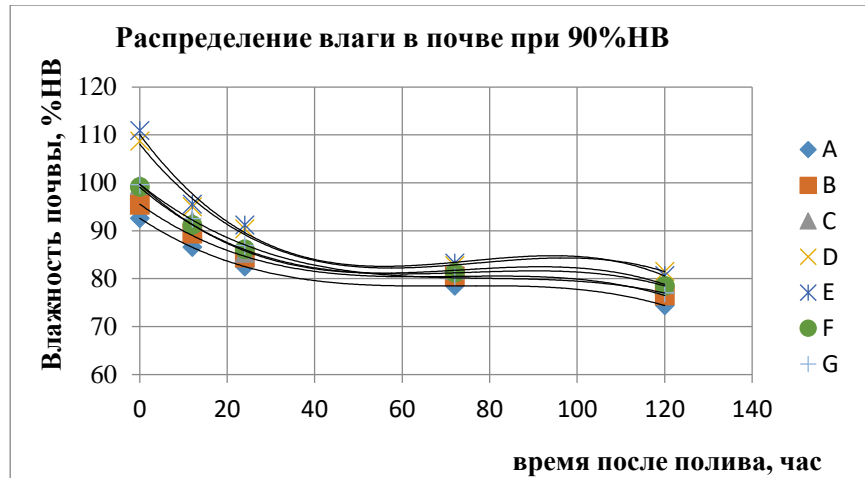


а – поливная норма 90 % НВ; б – поливная норма 80 % НВ;
в – поливная норма 70 % НВ

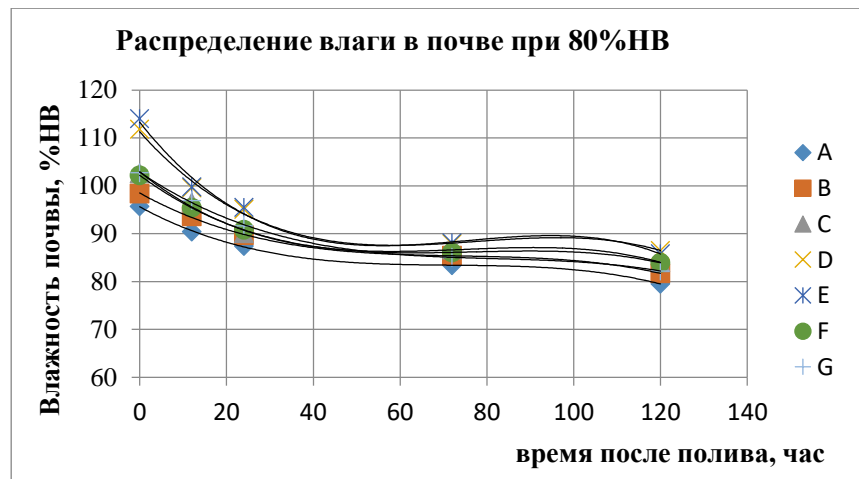
Рисунок 4.1 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0-0,1 м при КО

На рисунке (4.2, а) видно, что влажность через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива для поливной нормы 90 % НВ, на глубине профиля 0,1-0,2 м

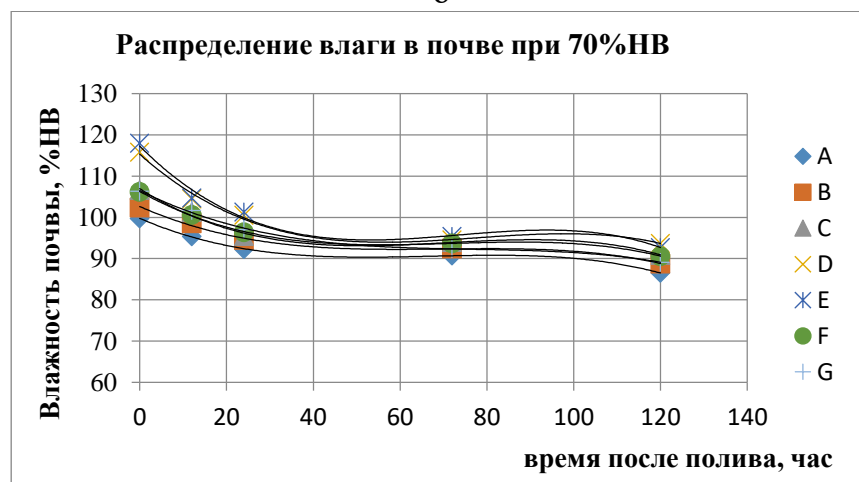
уменьшается на 9,02%, 14,01%, 19,51% и 22,46%, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.



а



б



в

а – поливная норма 90 % НВ; б – поливная норма 80 % НВ;
в – поливная норма 70 % НВ

Рисунок 4.2 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0,1-0,2 м при КО

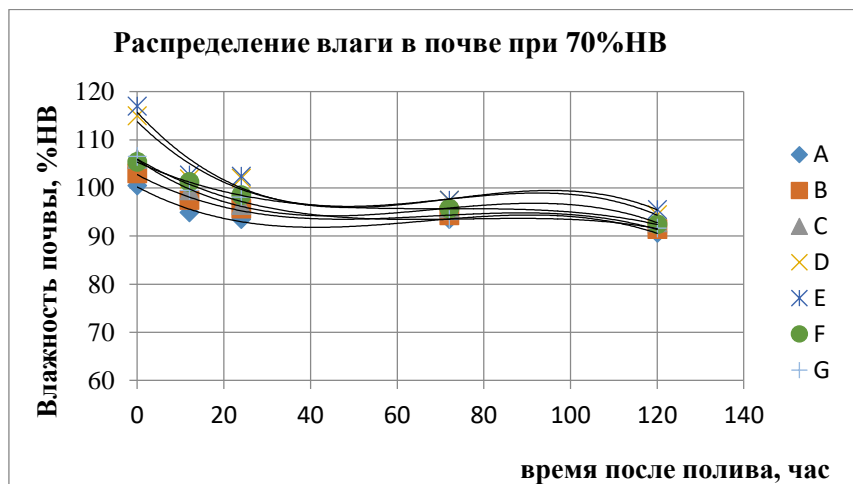
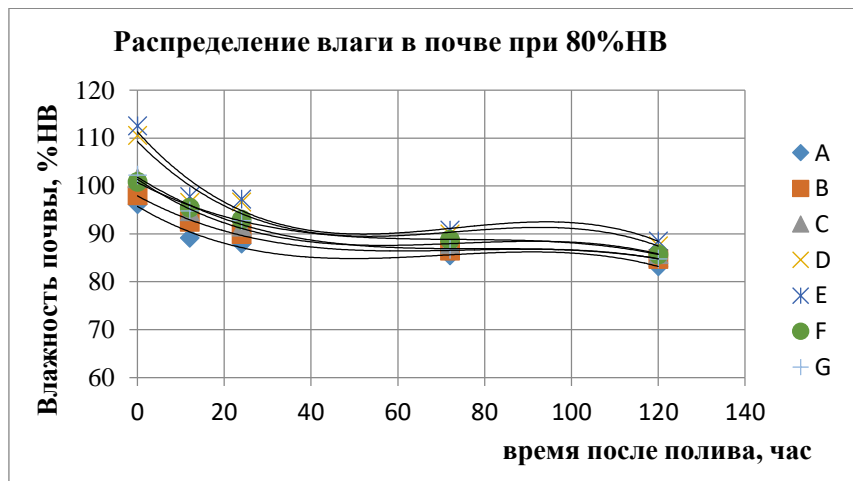
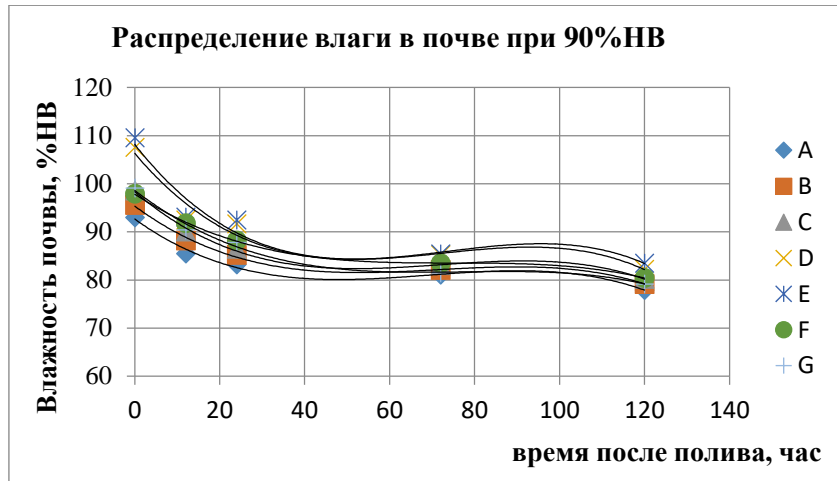
Как видно из рисунка (4.2, б), что влажность уменьшается для поливной нормы 80 % НВ через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива, на глубине профиля 0,1-0,2 м на 7,59%, 11,99%, 17,14% и 19,77%, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.

На рисунке (4.2, в) показано, что влажность на глубине профиля 0,1-0,2 м для поливной нормы 70 % НВ через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива уменьшается на 6,38%, 10,27%, 13,5% и 16,25%, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.

Влажность уменьшается на глубине профиля 0,2-0,3 м по сравнению с влажностью после окончания полива (Рисунок 4.3, а) для поливной нормы 90 % через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива, на 9,95%, 12,3%, 17,04% и 19,79%, соответственно.

На рисунке (4.3, б) видно, что влажность на глубине профиля 0,2-0,3 м для поливной нормы 80 % НВ уменьшается на 8,47%, 10,11%, 14,68% и 16,89% через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.

На рисунке (4.3, в) показано, что влажность для поливной нормы 70 % НВ на глубине профиля 0,2-0,3 м, через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива уменьшается на 7,46%, 8,87%, 11,4% и 13,9%, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.

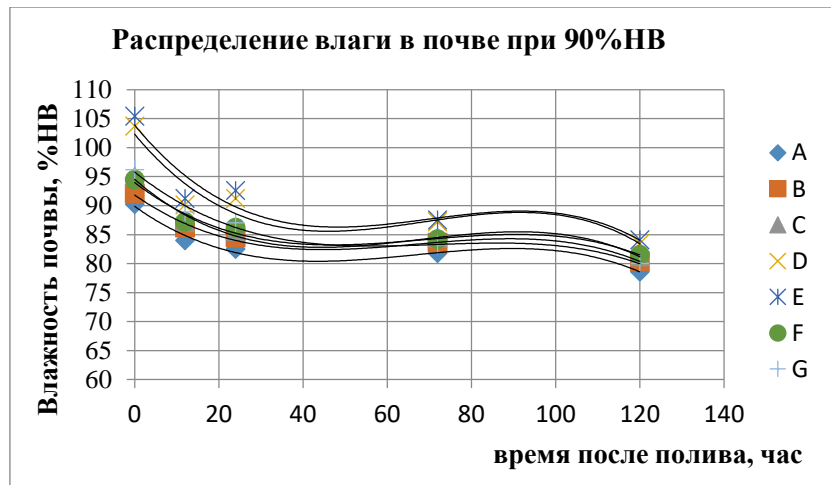


а – поливная норма 90 % НВ; б – поливная норма 80 % НВ;
в – поливная норма 70 % НВ

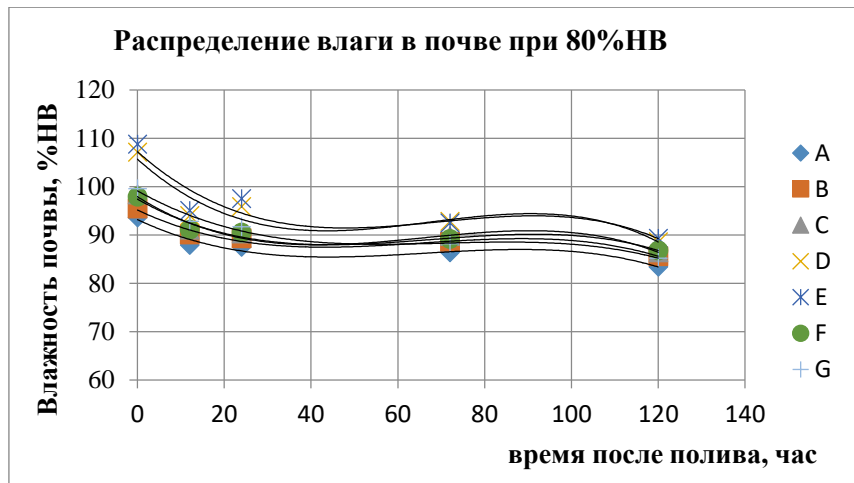
Рисунок 4.3 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0,2-0,3 м при КО

Как видно на рисунке (4.4, а), что для поливной нормы 90 % НВ влажность на глубине профиля 0,3-0,4 м, уменьшается через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после

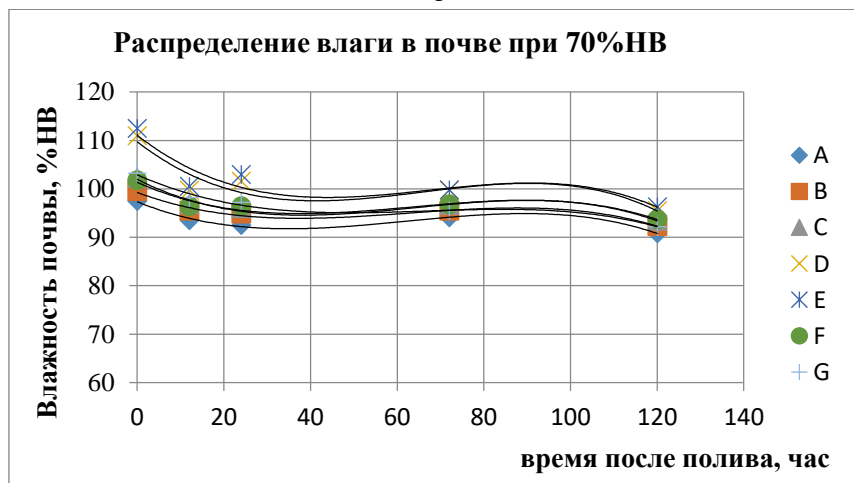
полива на 9,2%, 9,97%, 12,58% и 15,92%, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.



а



б



в

а – поливная норма 90 % НВ; б– поливная норма 80 % НВ;
в– поливная норма 70 % НВ

Рисунок 4.4 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0,3-0,4 м при КО

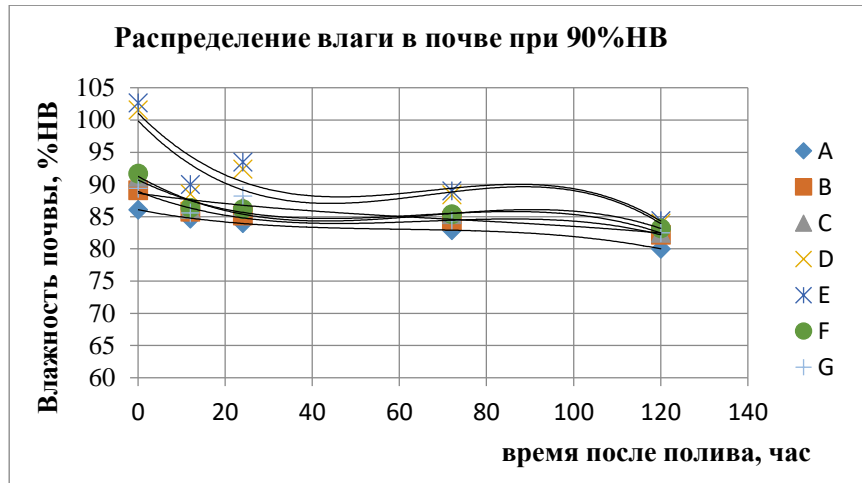
Влажность на глубине профиля 0,3-0,4 м (Рисунок 4.4, б) для поливной нормы 80 % НВ через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива, уменьшается на 8,39%, 8,65%, 10,47% и 13,64%, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.

Из рисунка (4.4, в) видно, что для поливной нормы 70 % НВ влажность на глубине профиля 0,3-0,4 м, через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива, уменьшается на 6,49%, 6,61%, 6,83% и 10,11%, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.

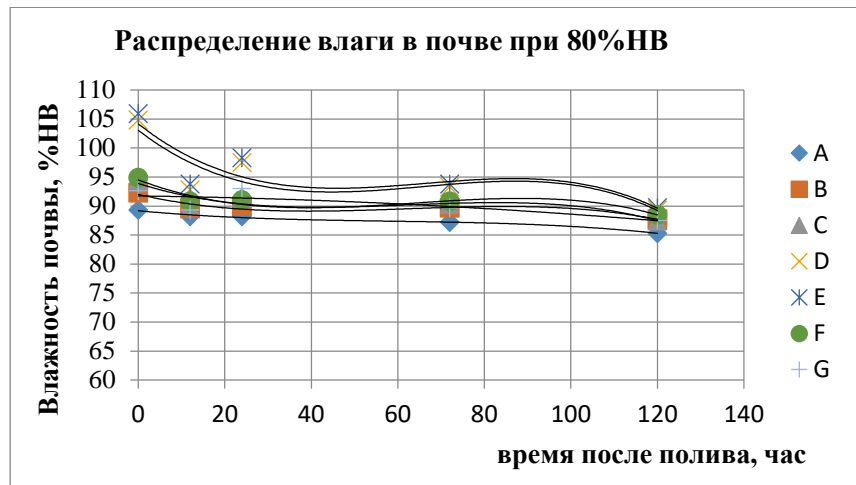
Для поливной нормы 90 % НВ и на глубине профиля 0,4-0,5 м (Рисунок 4.5, а), влажность уменьшается на 6,84%, 5,48%, 7,96%, 11,2% через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.

На глубине профиля 0,4-0,5 м (Рисунке 4.5, б), влажность для поливной нормы 80 % НВ, уменьшается через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива на 5,9%, 3,68%, 5,86%, 8,72%, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.

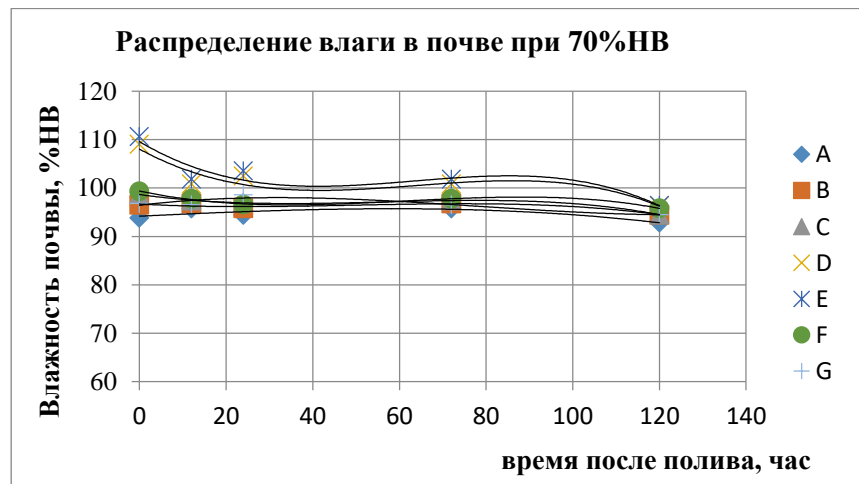
Для поливной нормы 70 % НВ (рисунка 4.5, в), влажность на глубине профиля 0,4-0,5 м, уменьшается через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива на 4,38%, 2,31%, 2,54%, 5,66%, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.



а



б



в

а – поливная норма 90 % НВ; б – поливная норма 80 % НВ;

в – поливная норма 70 % НВ

Рисунок 4.5 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0,4-0,5 м при КО

В результате математической обработки результатов опытов при КО получены аппроксимирующие зависимости между изменением влаги почвогрунта и времени после полива, в виде:

$$B_{\text{пк}} = x_1 t^3 + x_2 t^2 + x_3 t + x_4, \quad (4.12)$$

где $B_{\text{пк}}$ – влажность почвы при КО, %НВ; t – время, час; x_1, x_2, x_3 и x_4 – значения эмпирических коэффициенты уравнения.

Таблица 4.3 – Значения эмпирических коэффициентов уравнения (4.12) при проведении КО.

Норма полива, %НВ	глубина модельного профиля, см	Аппроксимирующие зависимости (R^2 - Коэффициент корреляции)	
103 (90%НВ)	0-10	$B_{\text{пк}} = -9 \times 10^{-5} t^3 + 0,019 t^2 - 1,22 t + 106,35$	$R^2 = 0,997$
	10-20	$B_{\text{пк}} = -7 \times 10^{-5} t^3 + 0,016 t^2 - 1,12 t + 108,05$	$R^2 = 0,990$
	20-30	$B_{\text{пк}} = -7 \times 10^{-5} t^3 + 0,016 t^2 - 1,044 t + 106,32$	$R^2 = 0,950$
	30-40	$B_{\text{пк}} = -7 \times 10^{-5} t^3 + 0,014 t^2 - 0,873 t + 102,32$	$R^2 = 0,904$
	40-50	$B_{\text{пк}} = -6 \times 10^{-5} t^3 + 0,012 t^2 - 0,695 t + 99,87$	$R^2 = 0,801$
174 (80%НВ)	0-10	$B_{\text{пк}} = -8 \times 10^{-5} t^3 + 0,017 t^2 - 1,117 t + 109,31$	$R^2 = 0,999$
	10-20	$B_{\text{пк}} = -6 \times 10^{-5} t^3 + 0,014 t^2 - 1,015 t + 111,27$	$R^2 = 0,992$
	20-30	$B_{\text{пк}} = -6 \times 10^{-5} t^3 + 0,014 t^2 - 0,916 t + 109,28$	$R^2 = 0,937$
	30-40	$B_{\text{пк}} = -7 \times 10^{-5} t^3 + 0,014 t^2 - 0,809 t + 105,67$	$R^2 = 0,875$
	40-50	$B_{\text{пк}} = -5 \times 10^{-5} t^3 + 0,01 t^2 - 0,572 t + 103,04$	$R^2 = 0,744$
220 (70%НВ)	0-10	$B_{\text{пк}} = -7 \times 10^{-5} t^3 + 0,016 t^2 - 1,0 t + 113,14$	$R^2 = 0,996$
	10-20	$B_{\text{пк}} = -6 \times 10^{-5} t^3 + 0,013 t^2 - 0,938 t + 115,3$	$R^2 = 0,875$
	20-30	$B_{\text{пк}} = -7 \times 10^{-5} t^3 + 0,014 t^2 - 0,88 t + 113,79$	$R^2 = 0,931$
	30-40	$B_{\text{пк}} = -6 \times 10^{-5} t^3 + 0,012 t^2 - 0,696 t + 109,74$	$R^2 = 0,861$
	40-50	$B_{\text{пк}} = -5 \times 10^{-5} t^3 + 0,01 t^2 - 0,546 t + 107,38$	$R^2 = 0,686$

Определение влажности почвогрунта при капельном орошении на глубинах профиля 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,4 и 0,4-0,5 м для нормы полива 70 % НВ, 80 % НВ и 90 % НВ в зависимости от нормы и времени после полива выполняется на основании уравнения (4.12).

Из уравнения (4.12) следует, что для поддержания влажности почвогрунта 90 % НВ межполивной период не должен превышать одного дня; для поддержания влажности почвогрунта 80 % НВ межполивной период не должен превышать шести дней; межполивной период не должен превышать семи дней для поддержания влажности почвогрунта 70 % НВ.

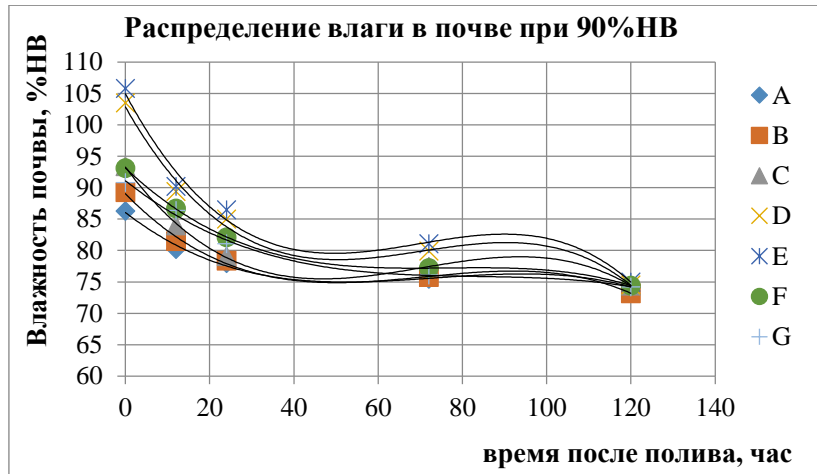
Динамика распределения влажности при внутрпочвенном орошении в профиле по ширине лизиметра в створах *A, B, C, D, E, F* показана на рисунках 4.6 – 4.10. Влажность в слоях почвы измерялась на глубине от 0 до 0,5 м от поверхности почвы в середине створа перфорированного увлажнителя сразу после полива, и через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива. Каждый эксперимент не превышает погрешности 3%, т.к. измерение проводились в трёхкратной повторности.

Динамика распределения влажности при ВПО в сечениях *H, I, J, K, L*, и *M* не определилась, потому что она очень похожа на динамику распределения влажности в сечениях *F, E, D, C, D*, и *A*.

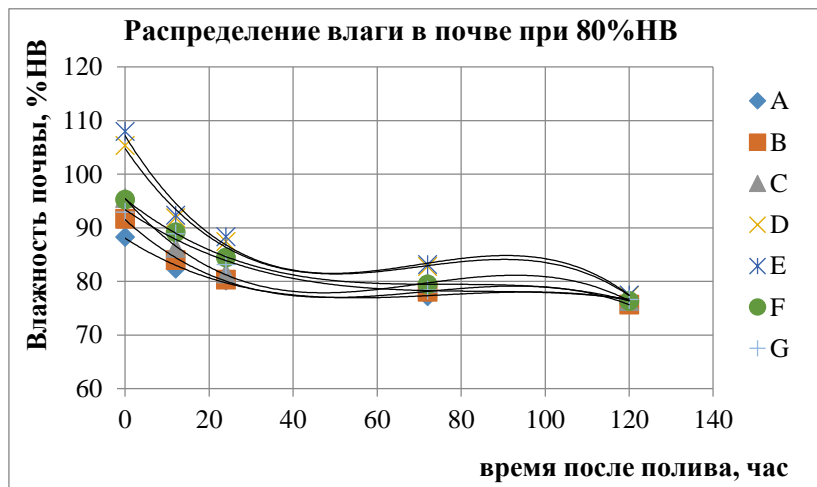
Влажность почвы при ВПО для поливной нормы 90 % НВ, 80 % НВ и 70 % НВ измерялась сразу после окончания полива, через 0,5, 1, 3, и 5 суток в середине перфорированного увлажнителя (Рисунок - 3.8). Каждое измерение проводились в трёхкратной повторности, погрешность опыта не превышала 3 %.

В приложении Г представлены схемы динамики распределения влажности в почвенном профиле при ВПО для второго и третьего опыта

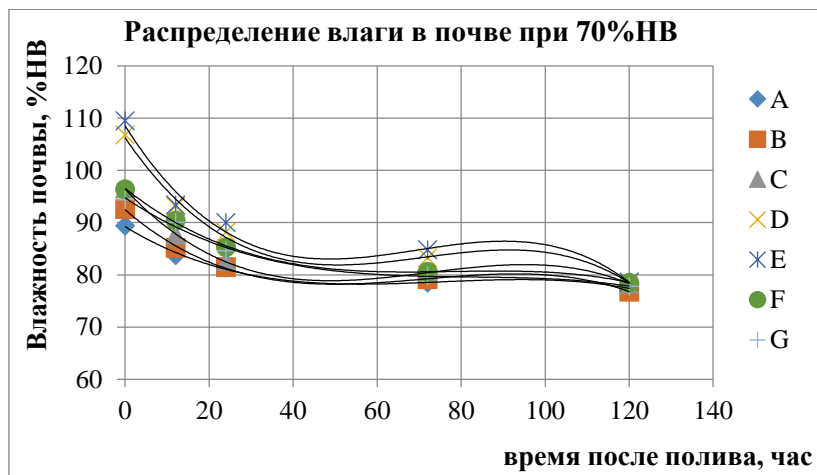
На рисунке (4.6, а) видно, что для поливной нормы 90 % НВ влажность на глубине профиля 0-0,1 м, уменьшается на 9,63%, 13,89%, 18,0% и 21,49% через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.



а



б



в

а – поливная норма 90 % НВ; б – поливная норма 80 % НВ;

в – поливная норма 70 % НВ

Рисунок 4.6 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0-0,1 м при ВПО

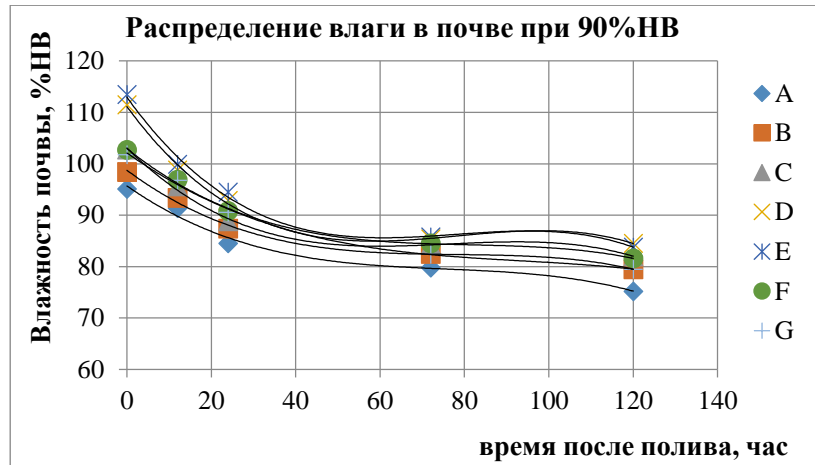
Влажность на глубине профиля 0-0,1 м (Рисунок 4.6, б) для поливной нормы 80% через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива, уменьшается на 9,18%, 13,52%, 17,47% и 20,77%, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.

Из рисунка (4.6, в) показано, что влажность для поливной нормы 70 % НВ на глубине профиля 0-0,1 м, через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива уменьшается по сравнению с влажностью после окончания полива на 9,03%, 13,42%, 17,36% и 20,38%, соответственно.

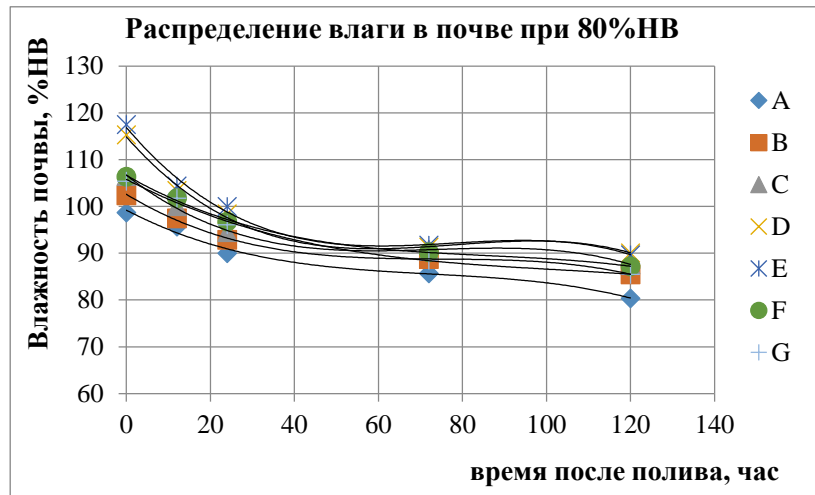
Как видно на рисунке (4.7, а), что влажность через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива, для поливной нормы 90 % НВ на глубине профиля 0,1-0,2 уменьшается на 7,3%, 13,27%, 19,44%, 22,0%, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.

Для поливной нормы 80 % НВ и на глубине профиля 0,1-0,2 м (рисунок 4.7, б), влажность уменьшается на 6,31%, 11,1%, 16,64%, 19,43% через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.

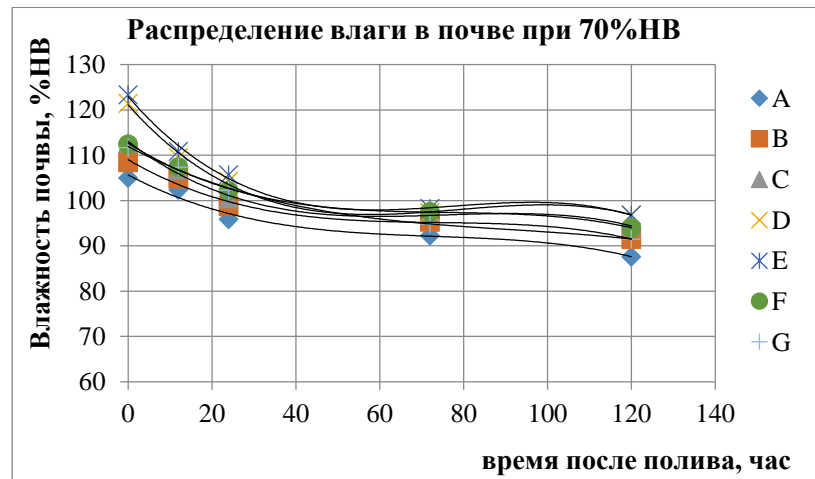
На глубине профиля 0,1-0,2 м (рисунок 4.7, в) и для поливной нормы 70 % НВ, влажность, через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива, уменьшается на 5,77%, 10,75%, 15,43% и 17,92%, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.



а



б



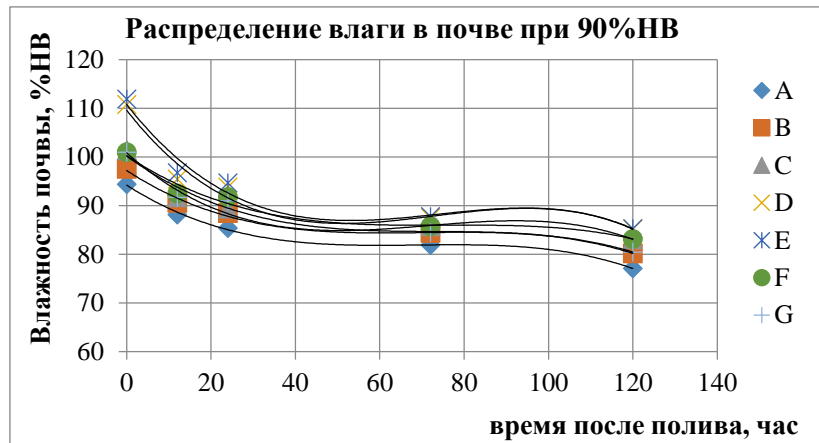
в

а – поливная норма 90 % НВ; б – поливная норма 80 % НВ;

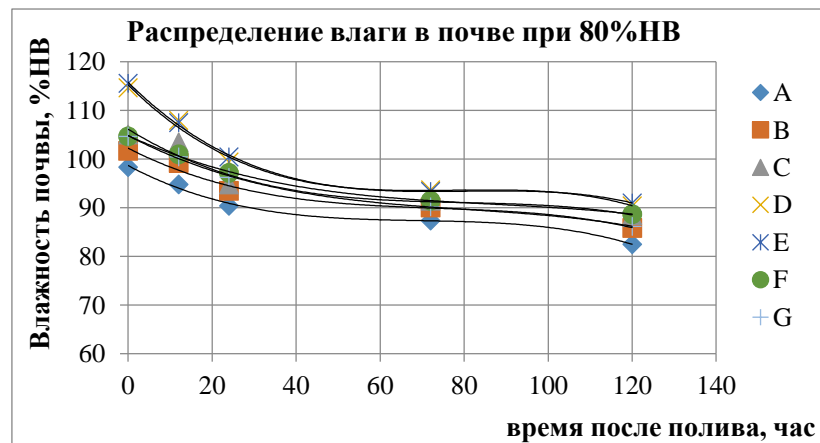
в – поливная норма 70 % НВ

Рисунок 4.7 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0,1-0,2 м при ВПО

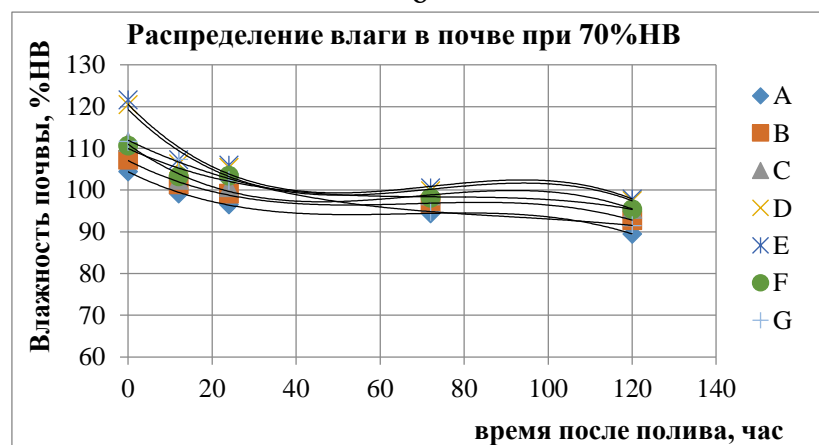
Влажность на глубине профиля 0,2-0,3 м (Рисунок 4.8, а) для поливной нормы 90% уменьшается через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива на 9,9%, 11,63%, 16,77% и 19,98%, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.



а



б



в

а – поливная норма 90 % НВ; б – поливная норма 80 % НВ;
в – поливная норма 70 % НВ

Рисунок 4.8 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0,2-0,3 м при ВПО

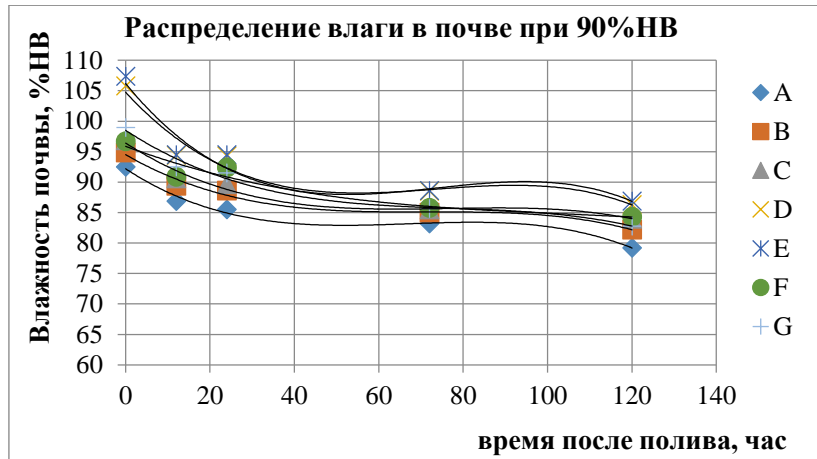
На рисунке (4.8, б) видно, что влажность на глубине профиля 0,2-0,3 м для поливной нормы 80 % НВ через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива уменьшается на 4,08%, 9,77%, 14,38% и 17,68%, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.

Как видно из рисунка (4.8, в), что на глубине профиля 0,2-0,3 м и для поливной нормы 70 % НВ влажность уменьшается на 8,16%, 9,27%, 12,93% и 15,89% через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.

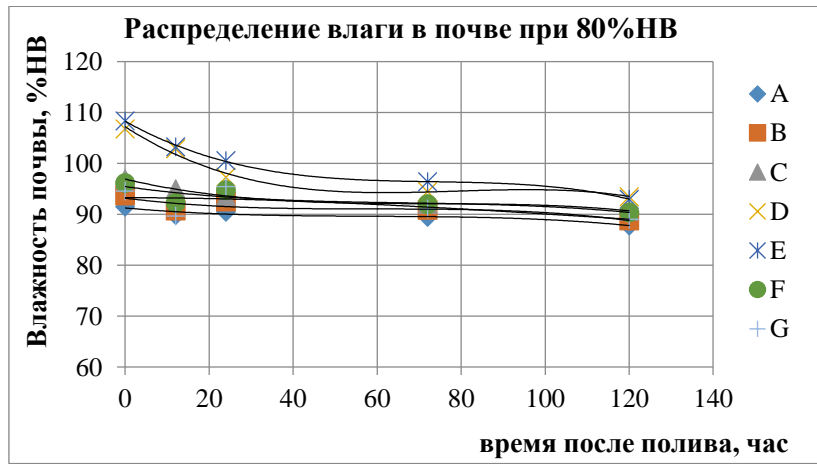
Для поливной нормы 90 % НВ (рисунок 4.9, а), влажность через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива, на глубине профиля 0,3-0,4 м уменьшается на 7,79%, 8,18%, 13,11% и 15,51%, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.

Влажность уменьшается для поливной нормы 80 % НВ (Рисунок 4.9, б) через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива, на глубине профиля 0,3-0,4 м на 6,67%, 11,99%, 10,42% и 12,56%, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.

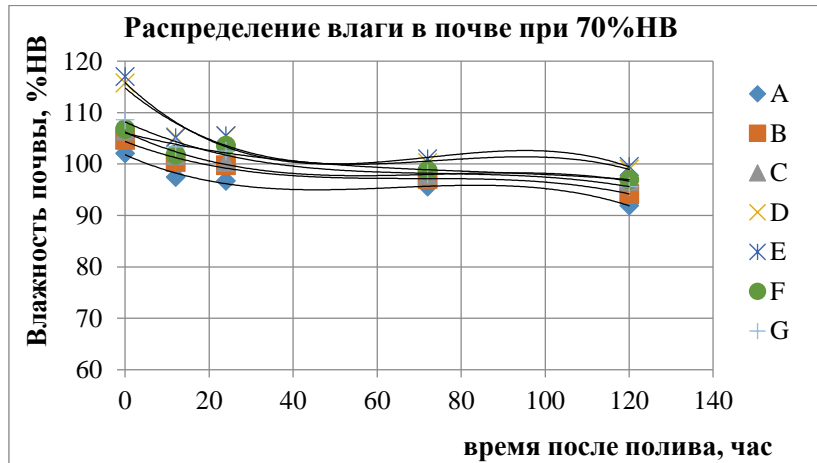
На рисунке (4.9, в) показано, что для поливной нормы 70 % НВ и на глубине профиля 0-0,1 м, через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива, влажность уменьшается по сравнению с влажностью после окончания полива на 6,09%, 6,24%, 9,56% и 11,5%, соответственно.



а



б



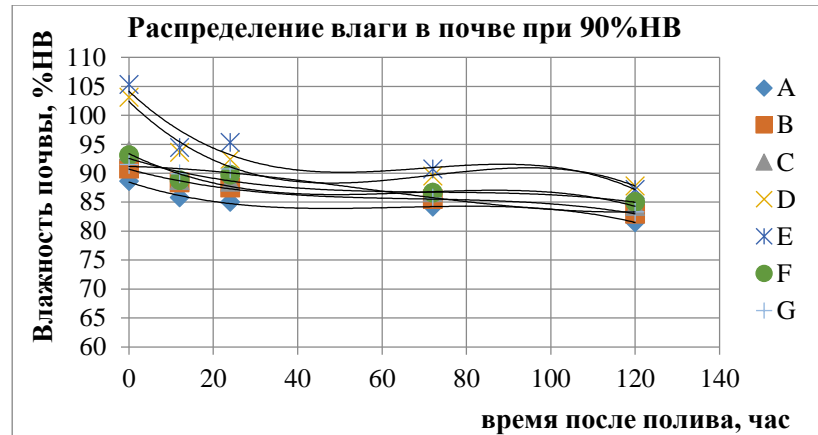
в

а – поливная норма 90 % НВ; б– поливная норма 80 % НВ;
в– поливная норма 70 % НВ

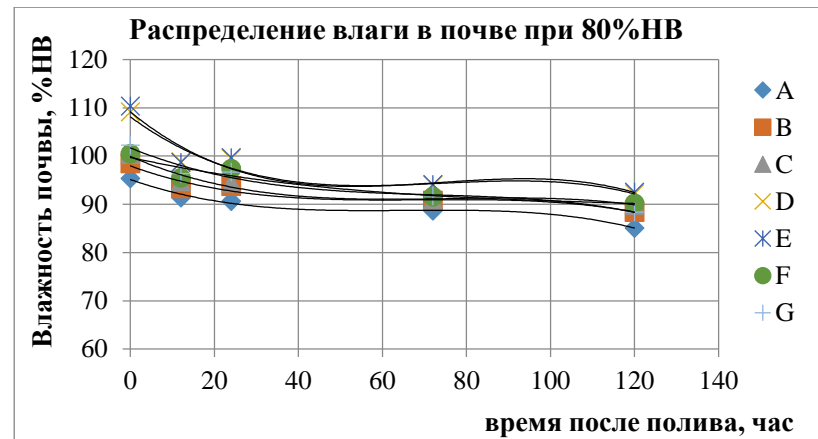
Рисунок 4.9– Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0,3-0,4 м при ВПО

Влажность уменьшается на глубине профиля 0,4-0,5 м (Рисунок 4.10, а) для поливной нормы 90 % НВ через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива,

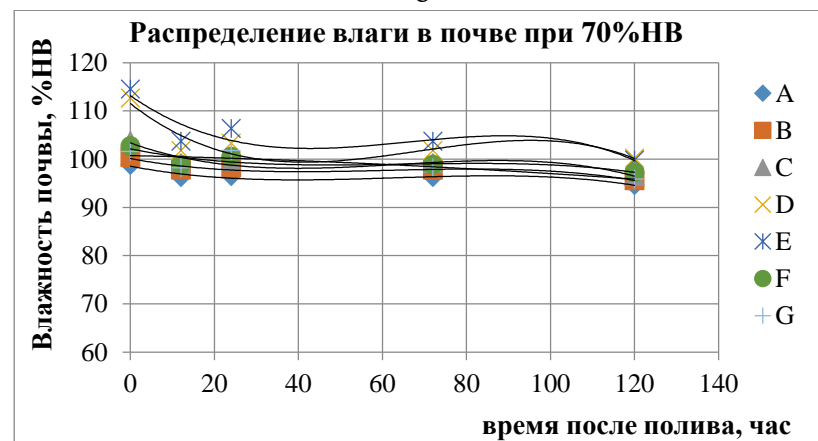
на 5,47%, 5,57%, 8,6% и 11,12%, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.



а



б



в

а – поливная норма 90 % НВ; б– поливная норма 80 % НВ;

в– поливная норма 70 % НВ

Рисунок 4.10 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0,4-0,5 м при ВПО

Как видно на рисунке (4.10, б), что на глубине профиля 0,2-0,3 м, для поливной нормы 80 % НВ и через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива, влажность уменьшается на 3,52%, 3,39%, 6,05% и 7,96%, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.

Для поливной нормы 70 % НВ (Рисунок 4.10, в), влажность на глубине профиля 0,1-0,2 м и через 12 часов, 1, 3 и 5 суток после окончания полива уменьшается на 4,32%, 3,83%, 5,26% и 7,43%, соответственно, по сравнению с влажностью после окончания полива.

В результате математической обработки результатов опытов при ВПО получены аппроксимирующие зависимости между изменением влаги почвогрунта и времени после полива, в виде:

$$V_{\text{пв}} = x_1 t^3 + x_2 t^2 + x_3 t + x_4, \quad (4.13)$$

где $V_{\text{пв}}$ – влажность почвы при ВПО, % НВ; t – время, час; x_1 , x_2 , x_3 и x_4 – значения эмпирических коэффициенты уравнения.

На основании полученного уравнения (4.13) можно определять влажности почвогрунта при ВПО на глубинах профиля 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,4 и 0,4-0,5 м для нормы полива 70 % НВ, 80 % НВ и 90 % НВ в зависимости от нормы и времени после полива.

Из уравнения (4.13) следует, что для поддержания влажности почвогрунта 90 % НВ межполивной период не должен превышать одного дня; для поддержания влажности почвогрунта 80 % НВ межполивной период не должен превышать шести дней; межполивной период не должен превышать семи дней для поддержания влажности почвогрунта 70 % НВ.

Таблица 4.4 – Значения эмпирических коэффициентов уравнения при ВПО.

Норма полива, %НВ	глубина модельного профиля, см	Аппроксимирующие зависимости (R^2 - Коэффициент корреляции)	
103 (90 % НВ)	0-10	$B_{пв}=-9 \times 10^{-5} t^3+0,018 t^2-1,183 t+102,85$	$R^2=0,990$
	10-20	$B_{пв}=-6 \times 10^{-5} t^3+0,015 t^2-1,117 t+111,12$	$R^2=0,997$
	20-30	$B_{пв}=-8 \times 10^{-5} t^3+0,017 t^2-1,106 t+109,63$	$R^2=0,960$
	30-40	$B_{пв}=-5 \times 10^{-5} t^3+0,011 t^2-0,751 t+104,74$	$R^2=0,943$
	40-50	$B_{пв}=-5 \times 10^{-5} t^3+0,011 t^2-0,708 t+102,41$	$R^2=0,961$
174 (80 % НВ)	0-10	$B_{пв}=-8 \times 10^{-5} t^3+0,018 t^2-1,145 t+104,81$	$R^2=0,991$
	10-20	$B_{пв}=-6 \times 10^{-5} t^3+0,014 t^2-1,02 t+114,87$	$R^2=0,995$
	20-30	$B_{пв}=-1 \times 10^{-5} t^3+0,005 t^2-0,639 t+117,77$	$R^2=0,83$
	30-40	$B_{пв}=-4 \times 10^{-5} t^3+0,009 t^2-0,641 t+108,12$	$R^2=0,922$
	40-50	$B_{пв}=-5 \times 10^{-6} t^3+0,003 t^2-0,375 t+109,04$	$R^2=0,758$
220 (70 % НВ)	0-10	$B_{пв}=-9 \times 10^{-5} t^3+0,018 t^2-1,181 t+106,26$	$R^2=0,993$
	10-20	$B_{пв}=-6 \times 10^{-5} t^3+0,014 t^2-1,038 t+121,09$	$R^2=0,995$
	20-30	$B_{пв}=-7 \times 10^{-5} t^3+0,015 t^2-0,99 t+119,31$	$R^2=0,948$
	30-40	$B_{пв}=-4 \times 10^{-5} t^3+0,009 t^2-0,676 t+114,79$	$R^2=0,931$
	40-50	$B_{пв}=-5 \times 10^{-5} t^3+0,011 t^2-0,64 t+112,06$	$R^2=0,949$

4.4 Формирование контуров увлажнения в профиле почвогрунта для различных норм полива при КО и ВПО

Во многих исследованиях [35, 36, 37, 77, 78, 90] подчеркивается важность поддержания оптимальной влажности в эффективном слое почвы (корневой зоне) при орошении современными методами орошения (капельное и внутрипочвенное орошение) для получения высокой продуктивности сельского хозяйства.

Исследования и эксперименты показали, что орошение с большими нормами полива при 70 % НВ приводит к большим потерям воды в результате фильтрации в глубину почвы, а орошение с малыми и частыми нормами полива при 90 % НВ

снижает фильтрацию, таким образом, происходит сокращение потерь воды. Полив с небольшими и частыми поливными нормами обеспечивает постоянное поддержание контура увлажнения и поддерживает высокую влажность в активном слое почвы.

Из вышеизложенного можно сделать вывод что, полив современными методами орошения (капельное и внутрипочвенное орошение) с небольшими параметрами орошения при поддержании порога влажности перед поливом на уровне 90 % НВ повышает продуктивность сельского хозяйства, а также, следует отметить, что при данном орошении (90 % НВ) обеспечивается высокое увлажнение активного почвенного слоя.

Влияние поливной нормы при КО и ВПО на фактические значения параметров контура увлажнения было определено для поддержания влажности почвы 70, 80 и 90 % НВ. Контур внутрипочвенного и капельного полива изучался на экспериментальной полевой установке (рисунок 3.2 и рисунок 3.4).

Результатом корректной оценки параметров контуров внутрипочвенного и капельного полива при различных поливных нормах является сравнение отношения площади перекрытия контуров увлажнения к общей площади лизиметра K_{Π} , которое определяется по формуле:

$$K_{\Pi} = \frac{A_1}{A_{\text{общ}}} \cdot 100, \quad (4.14)$$

где K_{Π} – отношение площади перекрытия контуров увлажнения к общей площади лизиметра; A_1 – площадь перекрытия контуров увлажнения, м^2 ; $A_{\text{общ}}$ – площадь поперечного сечения лизиметра, м^2 .

В таблице 4.5 показано влияние нормы полива методом капельного и внутрипочвенного орошения на значения отношения площади перекрытия контуров увлажнения к общей площади поперечного сечения лизиметра K_{Π} сразу после окончания полива, через 12 часов, а также через 1, 3 и 5 дней после полива.

Таблица 4.5 – Отношение площади перекрытия контуров увлажнения к общей поперечного сечения площади лизиметров

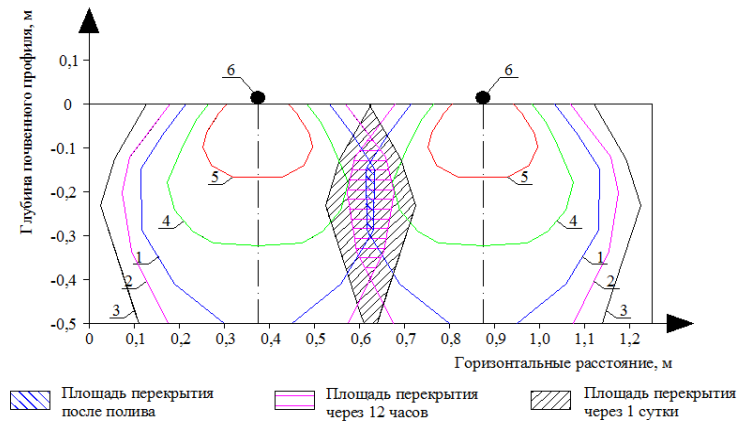
Норма полива, м ³ /га	Время после полива, сут.	A _{общ} , м ²	КО		ВПО	
			A ₁ , м ²	K _п , %	A ₁ , м ²	K _п , %
103 (90 % НВ)	0	0,625	0,0028	0,448	0,0123	1,968
	0,5		0,0215	3,44	0,0536	8,576
	1		0,0556	8,896	0,101	16,16
	3		0	0	0	0
	5		0	0	0	0
174 (80 % НВ)	0	0,625	0,0093	1,488	0,037	5,92
	0,5		0,0565	9,04	0,1002	16,032
	1		0,114	18,24	0,1522	24,352
	3		0	0	0	0
	5		0	0	0	0
220 (70 % НВ)	0	0,625	0,0409	6,544	0,088	14,08
	0,5		0,0999	15,984	0,1543	24,688
	1		0,1557	24,912	0,2196	35,136
	3		0	0	0	0
	5		0	0	0	0

По данным таблицы 4.5 можно отметить, что для поливной нормы 90 % НВ, 80 % НВ и 70 % НВ отношение площади перекрытия контуров увлажнения к общей поперечного сечения площади лизиметра после проведения полива при КО было 0,448%, 1,488% и 6,544%, соответственно, через 0,5 сутки после окончания полива, K_п при КО достигает 3,44% 9,04% и 15,984%, соответственно, а через 1 сутки после окончания полива, K_п было 8,896%, 18,24% и 24,912%, соответственно.

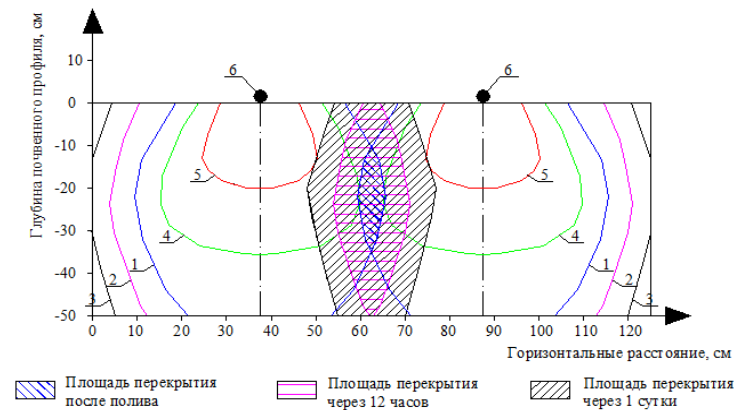
В таблице 4.5 показано, что K_п при ВПО для поливной нормы 90 % НВ, 80 % НВ и 70 % НВ, сразу после полива было 1,968%, 5,92% и 14,08%, соответственно, через 12 часов K_п при ВПО было 8,576%, 16,032%, 24,688%, соответственно, и через 24 часов K_п при ВПО достигает 16,16%, 24,352%, 35,136%, соответственно.

По прошествии 3 и 5 суток высота и ширина контура увлажнения уменьшается и площадь перекрытия контуров увлажнения при КО и ВПО не появилась.

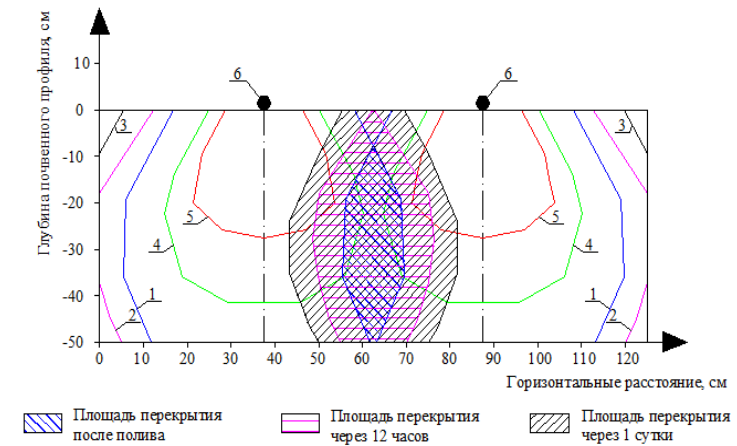
На рисунке 4.11 представлен фронт распространения влаги в почве при КО для поливной нормы 90 % НВ, 80 % НВ и 70 % НВ.



а



б



в

а – для поливной нормы $103 \text{ м}^3/\text{га}$ (90 % НВ)б – для поливной нормы $174 \text{ м}^3/\text{га}$ (80 % НВ)в – для поливной нормы $220 \text{ м}^3/\text{га}$ (70 % НВ)

1 – после проведения полива; 2 – через 12 часов; 3 – через 24 часов; 4 – через 72 часов;

5 – через 120 часов; 6 – капельница

Рисунок 4.11 – Изменение влаги в почве при КО

На рисунке 4.11 видно, что отношение площади контура увлажнения к общей поперечного сечения площади лизиметра для поливной нормы 90 % НВ, 80 % НВ и 70 % НВ при КО после проведения полива составляют 67,48%, 75,77% и 85,49%, соответственно, и через 12 часов были 80,46%, 89,04% и 95,54%, соответственно, и через 24 часов 89,24%, 97,69% и 99,19%, соответственно.

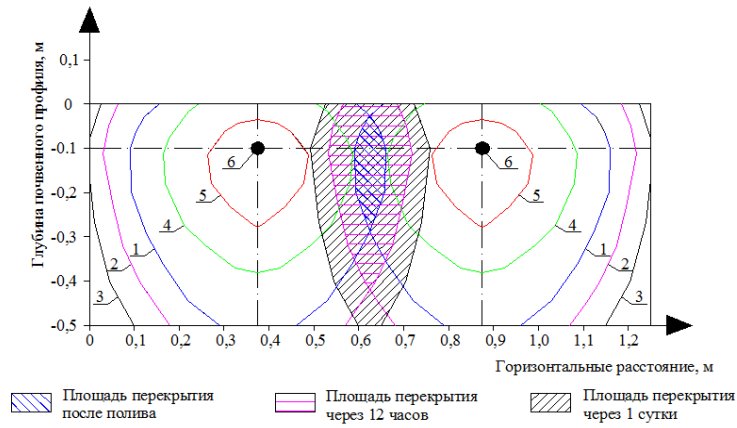
Также на рисунке 4.11 видно, что отношение площади контура увлажнения к общей поперечного сечения площади лизиметра для поливной нормы 90 % НВ, 80 % НВ и 70 % НВ при КО через 3 суток составляют 33,5%, 42,47% и 48,95%, соответственно, и через 5 суток были 10,69%, 13,66% и 22,52%, соответственно.

На рисунке 4.12 представлен фронт распространения влаги в почве при ВПО для поливной нормы 90 % НВ, 80 % НВ и 70 % НВ.

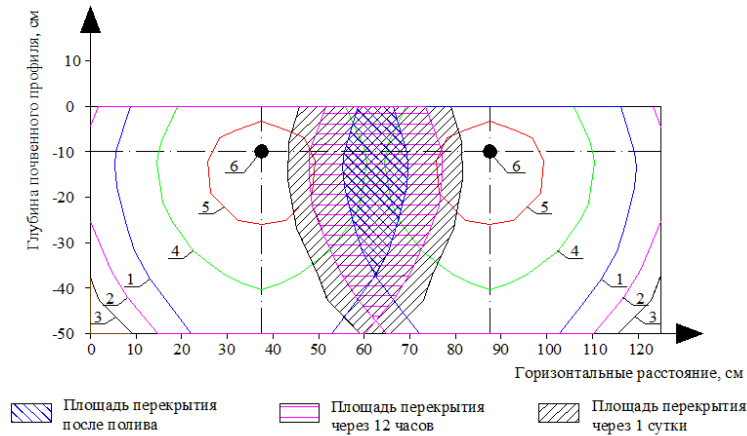
При ВПО отношение площади контура увлажнения к общей поперечного сечения площади лизиметра для поливной нормы 90 % НВ, 80 % НВ и 70 % НВ сразу после полива составляют 72,56%, 82,02% и 89,35%, соответственно, и через 0,5 суток были 87,17%, 94,87% и 97,41%, соответственно, и через 1 сутки 96,03%, 98,43% и 99,92%, соответственно (рисунок 4.12).

На рисунке 4.12 видно, что отношение площади контура увлажнения к общей поперечного сечения площади лизиметра при ВПО для поливной нормы 90 % НВ, 80 % НВ и 70 % НВ через 3 суток составляют 40,5%, 46,76% и 51,66%, соответственно, и через 5 суток были 12,11%, 14,66% и 23,69%, соответственно.

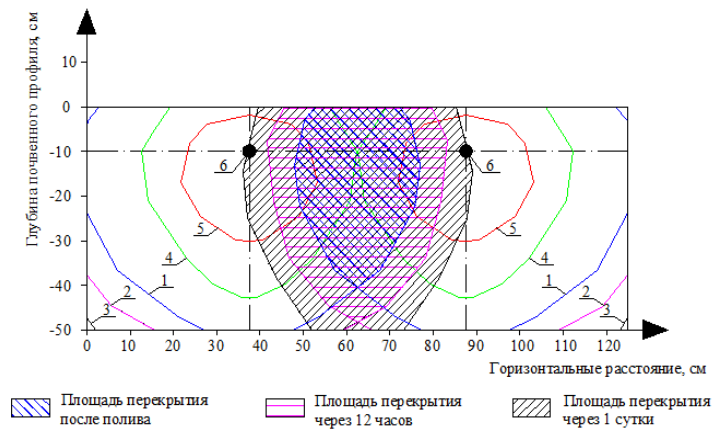
Для поливной нормы 90 % НВ, отношение площади контура увлажнения к общей поперечного сечения площади лизиметра, сразу после проведения полива и через 0,5, 1, 3 и 5 суток, при ВПО больше на 7,01%, 7,70%, 7,08%, 16,39% и 11,71% соответственно, по сравнению с КО.



а



б



в

а – для поливной нормы $103 \text{ м}^3/\text{га}$ (90 % НВ)б – для поливной нормы $174 \text{ м}^3/\text{га}$ (80 % НВ)в – для поливной нормы $220 \text{ м}^3/\text{га}$ (70 % НВ)

1 – после проведения полива; 2 – через 12 часов; 3 – через 24 часов; 4 – через 72 часов;

5 – через 120 часов; 6 – капельница

Рисунок 4.12 – Изменение влаги в почве при ВПО

Отношение площади контура увлажнения к общей поперечного сечения площади лизиметра для поливной нормы 80 % НВ, сразу после полива и через 0,5, 1, 3 и 5 суток, при ВПО больше на 7,62%, 6,14%, 0,75%, 9,16% и 6,87% соответственно, по сравнению с КО.

При ВПО отношение площади контура увлажнения к общей поперечного сечения площади лизиметра для поливной нормы 70 % НВ, сразу после проведения полива и через 0,5, 1, 3 и 5 суток, были больше на 4,32%, 1,92%, 0,73%, 5,25% и 4,97% соответственно, по сравнению с КО.

Из рисунков 4.12 и 4.11 видно, что размеры контура увлажнения в рисовой почве пожнивно при ВПО больше на 12,37%, 9,06% и 7,50% для поливной нормы 90 % НВ, 80 % НВ и 70 % НВ, соответственно, по сравнению с КО.

Выводы по главе 4:

- исследовано движение и характер распределения влаги в рисовой почве с различными нормами полива и времени после полива при капельном и внутрипочвенном орошении. Исследование проводилось в ботаническом саду ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ с начала июля по конец сентября в экстремальных условиях (высокая температура и отсутствие осадков) на рисовой почве в лизиметрах, которая имитирует песчаную почву Сирии;

- получены новые зависимости (4.12) и (4.13) движения влаги в почвогрунте при капельном и внутрипочвенном орошении, которые можно использовать в экстремальных условиях на рисовой почве для определения влажности на глубинах профиля 0-0,5 м в зависимости от нормы полива (m) и времени после полива;

- исследованы контуры увлажнения в профиле рисовой почвы в экстремальных условиях при выращивании сои пожнивно в зависимости от величины поливной нормы (m) при капельном и внутрипочвенном орошении на глубинах профиля 0-0,5 м;

- установлено, что для поливной нормы 90 % НВ, 80 % НВ и 70 % НВ отношение площади перекрытия контуров увлажнения к общей поперечного сечения площади лизиметра ($K_{п}$) при внутрипочвенном орошении было после проведения полива больше на 77,24%, 74,86% и 53,52%, соответственно, через 0,5 сутки 59,89%, 43,61% и 35,26%, соответственно, а через 1 сутки 44,95, 25,10 и 23,10, соответственно, по сравнению с капельным орошением;

- получены, что размеры контура увлажнения при ВПО больше размеров контура увлажнения чем при КО на 12,37%, 9,06% и 7,50% при одинаковой поливной норме 103, 174 и 220 м³/га, соответственно, в рисовой почве пожнивно;

- разница в показателях ($K_{п}$) и размеры контура увлажнения при капельном и внутрипочвенном орошении вызвана повышением температуры воздуха и испаряемостью с поверхности почвы;

- выявлено, что при водосберегающих поливах капельного и внутрипочвенного орошения площадь контуров увлажнения увеличивается сразу после проведения полива, через 0,5 и 1 сутки и уменьшается через 3 и 5 суток.

ГЛАВА 5 РАЗРАБОТКА ВОДОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ ОРОШЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ СОИ

5.1 Разработка режимов орошения сои при КО и ВПО пожнивно

Современное орошение (капельное и внутрипочвенное орошение) играет важную роль в развитии мелиоративного земледелия в экстремальных условиях на рисовых почвах. Получение высокой и стабильной производительности сельского хозяйства зависит главным образом от объема подаваемой поливной воды. Это не означает, что увеличение количества поливной воды приводит к увеличению сельскохозяйственного производства и стабильности, но необходимо обеспечивать растение необходимым количеством воды и регулировать количество воды, воздуха и пищевого режима в активном слое почвы. Рациональное использование оросительной воды за счет применения современных методов орошения приводит к сокращению потерь воды и сохранению водных ресурсов [77, 78, 97].



Рисунок 5.1 – Соя сорта «Арлета» при КО

Беспорядочный или избыточный полив почвы приводит к повышенному засолению почвы и переувлажнению, что негативно сказывается на продуктивности сельского хозяйства, поэтому Сельхозпроизводители должны точно и научно определять необходимое количество поливной воды и обеспечивать идеальную систему воды, воздуха в почве, чтобы обеспечить высокий и стабильный урожай [77, 78, 90, 91, 92, 93].



Рисунок 5.2 – Соя сорта «Арлета» при ВПО

Для достижения желаемой цели в росте и развитии сои в соответствии с требуемыми условиями, предполивная влажность почвы поддерживалась на требуемом уровне путем орошения [32, 33, 77, 78, 90, 91]. Таким образом, влажность почвы поддерживалась согласно методики на всех этапах выращивания сои.

В каждом лизиметре было посеяно по 100 семян сои в рисовую почву. Всхожесть семян при КО и ВПО для поливных режимов 70% НВ, 80% НВ и 90% НВ показана в таблице 5.1.

Для поливной нормы $103 \text{ м}^3/\text{га}$, всхожесть семян при КО составляет 67,0-71,0%, а при ВПО всхожесть составила 87,0-91,0%, т.е. средняя всхожесть семян при ВПО выше в 1,29 раза по сравнению со средней всхожестью семян при КО (таблица 5.1).

Как видно в таблице 5.1, что всхожесть семян для поливной нормы 174 м³/га при КО составляет 74,0-79,0%, а при ВПО всхожесть составила 92,0-95,0%, т.е. для поливной нормы 80 % НВ, средняя всхожесть семян при ВПО выше в 1,22 раза по сравнению со средней всхожестью семян при КО.

Таблица 5.1 – Всхожесть семян сои при КО и ВПО

Поливная норма, м ³ /га	Орошение	Год проведения экспериментов	Количество высева семян, шт.	Количество всхожести семян, шт.	Процентное всхожести семян, %
103 (90 % НВ)	КО	2021	100	71	71,0
		2022	100	67	67,0
	ВПО	2021	100	87	87,0
		2022	100	91	91,0
174 (80 % НВ)	КО	2021	100	74	74,0
		2022	100	79	79,0
	ВПО	2021	100	92	92,0
		2022	100	95	95,0
220 (70 % НВ)	КО	2021	100	62	62,0
		2022	100	66	66,0
	ВПО	2021	100	77	77,0
		2022	100	83	83,0

Из таблицы 5.1 показано, что для поливной нормы 220 м³/га всхожесть семян при КО составляет 62,0-66,0%, а при ВПО всхожесть составила 77,0-83,0%, т.е. средняя всхожесть семян при ВПО выше в 1,26 раза по сравнению со средней всхожестью семян при КО.

Максимальная всхожесть семян сои при ВПО для поливной нормы 80 % НВ составила 92,0-95,0% выше в 1,05 и 1,16 раза по сравнению со средней всхожестью семян при ВПО для поливной нормы 90 % НВ и 70 % НВ, соответственно.

Максимальная всхожесть семян сои при КО для поливной нормы 80 % НВ составила 74,0-79,0%, что выше в 1,11 и 1,20 раз по сравнению со средней

всхожестью семян при КО для поливной нормы 90 % НВ и 70 % НВ, соответственно.

В таблице 5.2 дано наступление и продолжительность фаз вегетации сои при КО и ВПО для поливных режимов 70 % НВ, 80 % НВ и 90 % НВ.

Таблица 5.2 – Продолжительность фаз вегетации растений сои

Поливная норма, м ³ /га	Орошение	Год проведения экспериментов	Фаза вегетации, дня				Веgetационный период
			всходы – ветвление	Ветвление – цветение	цветение – плодообразование	Плодообразование – Созревание	
103 (90 % НВ)	КО	2021	6	30	30	35	101
		2022	7	29	31	36	103
	ВПО	2021	6	27	27	36	96
		2022	5	28	25	36	94
174 (80 % НВ)	КО	2021	6	31	30	36	103
		2022	6	30	30	34	100
	ВПО	2021	5	28	25	34	92
		2022	5	29	27	35	96
220 (70 % НВ)	КО	2021	6	31	30	35	102
		2022	7	32	31	36	106
	ВПО	2021	6	30	28	35	99
		2022	6	29	29	34	98

Из таблицы 5.2 видно, что вегетационный период сои, для поливной нормы 103 м³/га, при ВПО варьировался от 94 до 96 дней, что быстрее чем при КО, который составлял 101-103 дней. Разница длины вегетационного периода сои между КО и ВПО составляет 7 дней.

Для поливной нормы 174 м³/га вегетационный период сои при ВПО варьировался от 92 до 96 дней, что быстрее чем при КО, который составлял 100-103 дней. Разница длины вегетационного периода сои между КО и ВПО составляет 7-8 дней.

При ВПО вегетационный период сои для поливной нормы 220 м³/га варьировался от 98 до 99 дней, что быстрее чем при КО, который составлял 102-106 дней. Разница длины вегетационного периода сои между КО и ВПО составляет 4-7 дней.

При фазах вегетации измерялся биометрический рост сои при КО и ВПО. В таблице 5.3 представлена динамика роста сои для поливных режимов 70 % НВ, 80 % НВ и 90 % НВ.

Таблица 5.3 –Биометрический рост сои

Поливная норма, м ³ /га	Режим орошения	Год проведения экспериментов	Высота растений, см		
			Ветвление	Цветение	Созревание
103 (90 % НВ)	КО	2021	33,3	59,4	94,5
		2022	34,2	60,8	94,8
	ВПО	2021	37,7	64,8	100,6
		2022	36,9	63,5	100,4
174 (80 % НВ)	КО	2021	35,4	62,5	100,2
		2022	34,8	60,9	101,4
	ВПО	2021	39,5	68,4	105,6
		2022	40,2	67,6	107,6
220 (70 % НВ)	КО	2021	31,9	58,9	90,5
		2022	32,4	59,3	92,1
	ВПО	2021	35,7	62,2	96,5
		2022	34,2	61,9	98,4

Из таблицы 5.3 видно, что при ВПО средняя высота растений для поливной нормы 103 м³/га в фазы ветвления, цветения и созревания была больше на 3,55, 4,05 и 5,85 см, соответственно, по сравнению с КО.

Средняя высота растений сои для поливной нормы 174 м³/га при ВПО в фазы ветвления, цветения и созревания была больше на 4,75, 6,3 и 5,8 см, соответственно, по сравнению с КО.

При ВПО средняя высота растений сои для поливной нормы 220 м³/га при ВПО в фазы ветвления, цветения и созревания была больше на 2,8, 2,95 и 6,15 см, соответственно, по сравнению с КО.

Разница высоты растений для одинаковых климатических условий и питания зависит только от режима орошения сои.

Урожайность сои для поливных режимов 70 % НВ, 80 % НВ и 90 % НВ определяли на 1 м² при КО и ВПО. Это показано в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Структура урожая сои

Поливная норма, м ³ /га	Режим орошения	Год проведения экспериментов	Количество бобов, шт.	Масса бобов, г	Масса зерна, г/м ²	Урожайность т/га
103 (90 % НВ)	КО	2021	318	236,6	172	1,72
		2022	289	211,8	155	1,55
	ВПО	2021	415	304,1	209	2,09
		2022	375	274,3	201	2,01
174 (80 % НВ)	КО	2021	446	342,2	249	2,49
		2022	459	352,4	257	2,57
	ВПО	2021	542	403,7	290	2,90
		2022	513	382,7	281	2,81
220 (70 % НВ)	КО	2021	260	188,6	141	1,41
		2022	239	175,0	130	1,30
	ВПО	2021	306	230,9	167	1,67
		2022	276	210,0	151	1,51

Таблица 5.4 показывает, что среднее количество бобов, масса бобов и масса зерна для поливной нормы 103 м³/га, больше при ВПО на 23,2%, 22,5%, 20,2%, соответственно, по сравнению с КО.

Для поливной нормы 174 м³/га средние количество бобов, масса бобов и масса зерна больше при ВПО на 14,2%, 11,7%, 11,5%, соответственно, по сравнению с КО.

При ВПО средние количество бобов, масса бобов и масса зерна для поливной нормы 220 м³/га больше на 14,2%, 17,5%, 14,8%, соответственно, по сравнению с КО.

В таблице 5.5 видно, что при поливной норме 103 м³/га и для орошения почвы требовалось около двух часов при капельном и внутрпочвенном орошении, а интервал между периодами орошения составлял от 1 до 5 дней в зависимости от погодных условий в период эксперимента (Рисунок 5.3).

Таблица 5.5 – Основные показатели для разных поливных режимов при КО и ВПО

Основные показатели для разных поливных режимов при КО и ВПО						
Год выполнения экспериментов	2021 г.			2022 г.		
Время полива, час	2	3,4	4,3	2	3,4	4,3
Норма полива (m), м ³ /га	103	174	220	103	174	220
Количество поливов, шт.	32	17	12	24	12	8
Число часов за вегетацию, час	64	57,8	51,6	48	40,8	34,4
Оросительная норма (M), м ³ /га	3296	2958	2640	2472	2088	1760

Из таблицы 5.5 видно, что время полива при КО и ВПО для поливной нормы 174 м³/га (80 % НВ) составило 3,4 часа, а межполивной период составил от 3 до 8 дней (Рисунок 5.4).

Время полива при КО и ВПО было 4,3 часа для поливной нормы 220 м³/га (70 % НВ), а межполивной период составил от 5 до 11 дней (Рисунок 5.5).

Графики режима орошения в период вегетации сои за 2021г. с поддержанием предполивного порога влажности на уровне 70 % НВ, 80 % НВ и 90 % НВ при КО и ВПО показана в рисунках 5.3, 5.4 и 5.5, соответственно.



Рисунок 5.3 – График режима орошения сои при КО и ВПО для 70 % НВ



Рисунок 5.4 –График режима орошения сои при КО и ВПО для 80 % НВ



Рисунок 5.5 –График режима орошения сои при КО и ВПО для 90 % НВ

Из рисунков 5.3, 5.4 и 5.5 видно, что межполивной период орошения сои для поливных норм 103 м³/га (70 % НВ), 174 м³/га (80 % НВ) и 220 м³/га (90 % НВ),

соответственно, составлял от 5 до 11 дней, от 3 до 8 дней и от 1 до 5 дней, соответственно, в зависимости от погодных условий в период эксперимента.

На рисунках 5.3, 5.4 и 5.5 показано, что количество поливов составило 12, 17 и 32 шт., и норма полива была 220, 174 и 103 м³/га при поддержании влажности почвы на уровне 70, 80 и 90 % НВ, соответственно.

В приложении Д представлены графики режима орошения сои за 2022г. с поддержанием влажности почвы на уровне 70, 80 и 90 % НВ при КО и ВПО.

5.2 Исследование водопотребления сои при КО и ВПО

Суммарное водопотребление сои для разных поливных режимов при КО и ВПО приведены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Суммарное водопотребление сои для разных поливных режимов при КО и ВПО

Поливная норма, м ³ /га	Система Орошения	Год проведения экспериментов	Поступление влаги, м ³ /га			Суммарное водопотребление, м ³ /га	Урожайность, т/га	Коэффициент водопотребления, м ³ /т
			Ороситель- ная норма	Из почвы	Осадки			
103 (90 % НВ)	КО	2021	3296	122	1560	4978	1,72	2894,2
		2022	2472	114	1930	4516	1,55	2913,5
	ВПО	2021	3296	122	1560	4978	2,09	2381,8
		2022	2472	114	1930	4516	2,01	2246,8
174 (80 % НВ)	КО	2021	2958	122	1560	4640	2,49	1862,8
		2022	2088	114	1930	4132	2,57	1608,0
	ВПО	2021	2958	122	1560	4640	2,90	1598,3
		2022	2088	114	1930	4132	2,81	1469,4
220 (70 % НВ)	КО	2021	2640	122	1560	4322	1,41	3060,6
		2022	1760	114	1930	3804	1,30	2933,0
	ВПО	2021	2640	122	1560	4322	1,67	2588,0
		2022	1760	114	1930	3804	1,51	2519,2

Из таблицы 5.6 видно, что при КО и ВПО среднее суммарное водопотребление для поливной нормы $103 \text{ м}^3/\text{га}$, за вегетационный период сои составило $4747 \text{ м}^3/\text{га}$, а израсходовалось воды на формирование 1 т бобов в среднем $2903,9$ и $2314,3 \text{ м}^3/\text{т}$, соответственно.

Среднее суммарное водопотребление для поливной нормы $174 \text{ м}^3/\text{га}$ за вегетационный период сои составило $4386 \text{ м}^3/\text{га}$ при КО и ВПО, а израсходовалось воды на формирование 1 т бобов в среднем $1735,4$ и $1533,8 \text{ м}^3/\text{т}$, соответственно.

Для поливной нормы $220 \text{ м}^3/\text{га}$ среднее суммарное водопотребление при КО и ВПО за вегетационный период сои составило $4036 \text{ м}^3/\text{га}$, а израсходовалось воды на формирование 1 т бобов в среднем $2996,8$ и $2553,6 \text{ м}^3/\text{т}$, соответственно.

Средний коэффициент водопотребления, для поливной нормы $103 \text{ м}^3/\text{га}$, $174 \text{ м}^3/\text{га}$, и $220 \text{ м}^3/\text{га}$, при ВПО уменьшается на $20,3\%$, $11,6\%$ и $14,8\%$, соответственно, по сравнению с КО для одинакового объема воды, подаваемого в почву. Разница результатов между КО и ВПО вызвана повышением температуры воздуха и испаряемостью с поверхности почвы. Таким образом, поливная вода при КО не успевает достичь полностью корневой системы растений [30].

5.3 Экономическая эффективность исследования

Сегодня в сельском хозяйстве актуален вопрос инвестирования в водосберегающие технологии. В связи с этим происходит внедрение в сельское хозяйство современных оросительных систем, ведь данные методы способны повысить объем урожая. Особенно это актуально для районов, страдающих от нехватки воды и высоких температур [77, 78].

Высокие затраты на строительство систем капельного или внутрпочвенного орошения могут быть компенсированы получением повышенной сельскохозяйственной продукции в хорошем количестве, что приводит к увеличению продаж и, следовательно, к увеличению прибыли [77].

Стоимость материалов и оборудования для систем капельного и внутрипочвенного орошения является основной причиной высоких затрат на современное орошение. При этом необходимо также учитывать стоимость оборудования для фильтрации и очистки поливной воды. Для внутрипочвенного орошения увлажнители и капельницы изготавливаются из современных полимерных материалов, которые считаются износостойкими и не требуют частой замены, как это происходит с другими материалами.

Внедрение систем автоматизации и необходимого программного обеспечения для управления оросительной сетью приводит к увеличению стоимости капельного или внутрипочвенного орошения.

Для оценки экономической эффективности КО и ВПО использовались средние показатели стоимости урожайности сои по состоянию на 01.09.2021 года.

Таблица 5.7 – Оценка экономической эффективности КО и ВПО для разных поливных режимов

Поливная норма, м ³ /га	Режим орошения	Урожайность, т/га	стоимость урожайности сои, Руб./га
103 (90 % НВ)	КО	1,64	98400
	ВПО	2,05	123000
174 (80 % НВ)	КО	2,53	151800
	ВПО	2,86	171600
220 (70 % НВ)	КО	1,35	81000
	ВПО	1,59	95400

Анализ опытных данных показывает, что для поливной нормы 103 м³/га, 174 м³/га, и 220 м³/га, стоимость урожайности сои при ВПО более эффективно на 20,0%, 11,5% и 15,1%, соответственно, по сравнению с КО.

Самая большая прибыль при КО и ВПО был для поливной нормы 174 м³/га и составляют 151800 и 171600 руб./га, соответственно.

Выводы по главе 5:

- установлено, что орошение почвы требовалось около 2, 3,4 и 4,3 часов при поливной норме 103 м³/га (70 % НВ), 174 м³/га (80 % НВ) и 220 м³/га (90 % НВ), соответственно, при капельном и внутрипочвенном орошении, а интервал между периодами орошения составлял от 1 до 5 дней, от 3 до 8 дней и от 5 до 11 дней, соответственно, в зависимости от погодных условий в период эксперимента;

- средняя оросительная норма при КО и ВПО для поливной нормы 103, 174 и 220 м³/га была 2884, 2523 и 2200 м³/га, соответственно, а среднее количество поливов было 28, 15 и 10 шт., соответственно;

- на основе экспериментальных исследований получено, что средний коэффициент водопотребления для поливной нормы 90 % НВ, 80 % НВ и 70 % НВ при ВПО был 2314,3 м³/т, 1533,8 м³/т и 2553,6 м³/т, соответственно, а при КО составили 2903,9 м³/т, 1735,4 м³/т и 2996,8 м³/т, соответственно;

- при ВПО средний коэффициент водопотребления уменьшается на 20,3%, 11,6% и 14,8% по сравнению с КО для поливной нормы 90 % НВ, 80 % НВ и 70 % НВ, соответственно;

- разработан режим КО и ВПО при возделывании сои на рисовых почвах пожнивно в экстремальных условиях. Это позволило получить для поливной нормы 90 % НВ, 80 % НВ и 70 % НВ, 1,64, 2,53 и 1,35 т/га сои, соответственно, при КО и 2,05, 2,86 и 1,59 т/га сои, соответственно, при ВПО;

- урожайность сои при ВПО увеличивается на 20,0%, 11,5% и 15,1% по сравнению с КО для поливной нормы 90 % НВ, 80 % НВ и 70 % НВ, соответственно;

- выполнено сравнение урожая сои пожнивно на рисовых почвах в экстремальных условиях при КО и ВПО. Установлено, что стоимость урожайности сои при ВПО более эффективна. При ВПО и для поливной нормы 90 % НВ, 80 % НВ и 70 % НВ стоимость урожая больше на 20,0%, 11,5% и 15,1%, соответственно по сравнению с КО;

- экономический эффект при ВПО по сравнению с КО составляет 19 тыс. 800 руб./га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлена динамика движения оросительной воды при КО и ВПО и получены эмпирические зависимости изменения влаги на 20, 40 и 60 минуте в профиле на глубине 0-0,5 м и через 0,5, 1, 3 и 5 суток в модельном почвогрунте, соответственно, после проведения полива, что позволило разработать методику дальнейших исследований.

2. Установлено распределение влаги в почвенном профиле рисовой почвы в июле - сентябре в лизиметрах в экстремальных условиях, приближенных к природно-климатическим условиям Сирии и получены эмпирические зависимости влажности от времени и поливной нормы на глубине почвенного профиля 0-0,5 м при КО и ВПО.

3. Разработаны режимы КО и ВПО на рисовой почве, что создало условия получить урожай сои при КО и 90 % НВ, 80 % НВ и 70 % НВ – 1,64, 2,53 и 1,35 т/га сои, соответственно и при ВПО – 2,05, 2,86 и 1,59 т/га сои, соответственно. Максимальная урожайность сои пожнивно на рисовой почве составила 2,86 т/га при 80 % НВ для ВПО.

4. На основе экспериментальных исследований получено, что коэффициент водопотребления при ВПО для поливной нормы и влажности 90 % НВ, 80 % НВ и 70 % НВ был: 2314,3 м³/т, 1533,8 м³/т и 2553,6 м³/т, соответственно, а при КО составил: 2903,9 м³/т, 1735,4 м³/т и 2996,8 м³/т, соответственно. При ВПО коэффициент водопотребления уменьшается на 20,3%, 11,6% и 14,8% по сравнению с КО для *m* 90 % НВ, 80 % НВ и 70 % НВ, соответственно. Экономия оросительной воды при ВПО составила 201,5 м³ на 1 т урожая сои при 80 % НВ по сравнению с КО при одинаковых условиях.

5. Урожайность сои пожнивно при режиме ВПО увеличивается на 20,0%, 11,5% и 15,1% по сравнению с режимом КО при 90 % НВ, 80 % НВ и 70 % НВ, соответственно, на рисовых почвах в экстремальных условиях пожнивно. Экономический эффект при ВПО по сравнению с КО составляет 19 тыс. 800 руб./га.

Рекомендации производству

С целью обеспечения равномерного распределения влаги внутри почвенного профиля и не допустить глубокой инфильтрации воды в глубь почвы или снижения влажности, необходимо при ВПО размещать Г-образные капельницы на глубине 0,1 м от поверхности земли и проводить орошение при поддержании влажности почвы 80 % НВ на рисовых почвах в экстремальных условиях пожнивно.

Для рационального использования оросительной воды и получения максимальной урожайности сои необходимо обеспечивать поливы при ВПО нормой 174 м³/га и поддержание влажности почвы 80 % НВ на рисовых почвах в экстремальных условиях пожнивно.

В Сирии необходимо возделывать сою во всех природно-климатических зонах и проводить поливы нормой 160-180 м³/га при ВПО и поддерживать влажность почвы 80 % НВ.

В Сирии использование капельного орошения не рекомендуется, особенно в жарких районах, поскольку высокая температура негативно влияет на равномерное распределение влаги внутри почвенного профиля и, следовательно, на урожай сои.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Планируется продолжение научно-исследовательских работ в направлении поиска оптимальной глубины размещения Г-образных капельниц при ВПО и оптимальных доз удобрений, которые дают высокий урожай сои пожнивно в экстремальных климатических условиях на рисовых почвах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акутнева, Е. В. Оптимизация основных параметров систем внутрипочвенного орошения / Е. В. Акутнева, А. Д. Ахмедов // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2014. – Т. 20. – С. 1426–1430. – URL: <http://e-koncept.ru/2014/54549.htm>.
2. Аллер, М. Эффективный потенциал воды при высыхании почв / М. Аллер // Термодинамика почвенной влаги. Л.: Гидрометеиздат. – 1966. – С. 325 - 360.
3. Алматар, А. Влияние фронта увлажнения микроорошением на всхожесть бобов сои в экстремальных условиях / А. Алматар, М. Хасан, Е. В. Кузнецов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2021. – №4(84). – С. 112-118.
4. Алматар, А. Сравнение эффективности микроорошения сои в экстремальных условиях на рисовых почвах / А. Алматар, Е. В. Кузнецов // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 11. – С. 19-23.
5. Алматар, А. Исследование влияния капельного и внутрипочвенного орошения сои в экстремальных условиях на рисовых почвах / А. Алматар, Е. В. Кузнецов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2022. – №4(88). – С. 82-90.
6. Алматар, А. Анализ систем орошения в Сирии/ А. Алматар, Е. В. Кузнецов // Экология речных ландшафтов: сборник статей по материалам I Международной Научной Экологической Конференции. – Краснодар: КубГАУ (университет), 2017. – С. 8-11.
7. Алматар, А. Повышение водообеспеченности перегораживающими сооружениями оросительных систем / А. Алматар, Е. В. Кузнецов // Экология речных ландшафтов: сборник статей по материалам II Международной Научной Экологической Конференции. – Краснодар: КубГАУ (университет), 2018. – С. 90-95.

8. Алматар, А. Методика расчета оросительной нормы кукурузы на зерно / А. Алматар, Е. В. Кузнецов // Экология речных ландшафтов: сборник статей по материалам III Международной Научной Экологической Конференции. Краснодар: КубГАУ (университет), 2019. – С. 15-22.

9. Алматар, А. Расчет потерь напора в трубопроводах систем капельного орошения / А. Алматар, М. Хасан, Е. В. Кузнецов // Экология речных ландшафтов: сборник статей по материалам IV Международной Научной Экологической Конференции. – Краснодар: КубГАУ (университет), 2020. – С. 208-215.

10. Алматар, А. Сравнение влияния капельного и внутрипочвенного на продуктивности растений сои в экстремальных условиях на рисовых почва / А. Алматар, М. Хасан, Е. В. Кузнецов // Структурные преобразования экономики территорий: в поиске социального и экономического равновесия: сборник научных статей по материалам IX - Международной научно-практической конференции. – Уфа: НИЦ Вестник науки, 2022. – С. 19-23.

11. Алматар, А. Исследования миграции фронта увлажнения при разных нормах полива для капельного орошения / А. Алматар // Economic aspects of industrial development in the transition to a digital economy: сборник научных статей по материалам IX – Международной научно-практической конференции – Уфа: НИЦ Вестник науки, 2022. – С. 47-51.

12. Алматар, А. Исследования миграции фронта увлажнения при разных нормах полива для внутрипочвенного орошения / А. Алматар // Актуальные проблемы науки и техники. Инноватика: сборник научных статей по материалам IX – Международной научно-практической конференции – Уфа: НИЦ Вестник науки, 2022. – С. 52-58.

13. Алматар, А. Лабораторное исследования движения влаги в почве для капельного орошения / А. Алматар // Актуальные вопросы современной науки: теория, методология, практика, инноватика: сборник научных статей по материалам IX – Международной научно-практической конференции – Уфа: НИЦ Вестник науки, 2022. – С. 25-29.

14. Алматар, А. Лабораторное исследования движения влаги в почве для внутрипочвенного орошения / А. Алматар // Современная наука в условиях модернизационных процессов: проблемы, реалии, перспективы: сборник научных статей по материалам IX – Международной научно-практической конференции – Уфа: НИЦ Вестник науки, 2022. – С. 18-23.

15. Алматар, А. Эффективность капельного и внутрипочвенного орошения сои в экстремальных условиях на рисовых почвах пожнивно / А. Алматар // Актуальные проблемы науки и техники: сборник научных статей по материалам IX – Международной научно-практической конференции – Уфа: НИЦ Вестник науки, 2022. – С. 41-44.

16. 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.

17. Внутрипочвенное орошение при возделывании кормовых культур: учебное пособие / А. Д. Ахмедов, Е. П. Боровой, М. С. Григоров, Е. А. Ходяков. – Волгоград: ВГСХА, 2000. – С. 4-41.

18. Ахмедов, А. Д. Оптимизация основных параметров систем внутрипочвенного орошения в условиях Нижнего Поволжья: монография / А. Д. Ахмедов. – Волгоград: ВГСХА, 2005. – С. 57-108.

19. Балакай, Г. Т. Урожайность сортов сои при поливе дождеванием и системами капельного орошения в условиях ростовской области / Г. Т. Балакай, С. А. Селицкий // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – № 3(35). – 2019. – С. 80–97.

20. Балакай, Г. Т. Концепция дождевальная машины нового поколения для технологии прецизионного орошения / Г. Т. Балакай, С. М. Васильев, А. Н. Бабичев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации – 2017. – № 2(26). – С. 1–18.

21. Балакай, Г. Т. Соя: экология, агротехника, переработка / Г. Т. Балакай, О. С. Безуглова. – Ростов н/Д.: Феникс. 2003. – 160 с.

22. Баранов, В. Ф. Агромероприятия как основа биологизации технологии возделывания сои / В. Ф. Баранов, В. Л. Махонин // Масличные культуры: науч.-техн. бюл. ВНИИМК. – 2013. – Вып. 1(153–154). – С. 141–150.

23. Баранов, В. Ф., Кочегура А. В., Лукомец В. М. Соя на Кубани. – Краснодар: ВНИИМК, 2009. – 320 с.

24. Балакай, Г. Т. Водосберегающий режим орошения сои на юге России / Г. Т. Балакай // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 4(72). – С. 80–84.

25. Бобченко, В. И. Гидравлика внутрипочвенных увлажнителей при орошении / В. И. Бобченко // Вестник с.-х. науки. – 1961. – №1. – С. 94- 100.

26. Боровой, Е. П. Системы внутрипочвенного орошения с гончарными увлажнителями /Е. П. Боровой, А. Д. Ахмедов// Мелиорация и водное хозяйство: материалы региональной научн.-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития мелиорации», посвященной 95-летию мелиоративного образования на Юге России /НГМА. – Новочеркасск, 2003. – Вып. 2. – Т. 1. – С. 74 - 77.

27. Боровой, Е. П. Рост, развитие и урожайность сои при орошении и внесении золошлака в условиях южной зоны Приамурья / Е. П. Боровой, Н. А. Юст, Н. А. Горбачева // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – №3 (39). – С.146-150.

28. Боровой, Е. П. Динамика роста и урожайность сои при орошении в условиях южной зоны Амурской области / Е. П. Боровой, Н. А. Юст, Т.А. Ляшенко //Актуальные проблемы техносферной безопасности и природообустройства: матер. междунар. науч.-практ. конф. (г. Благовещенск, 12 февраля 2014 г.). – Благовещенск: ДальГАУ, 2014. – Вып. 1. – С. 67-73.

29. Бородычев, В. В. Эффективность орошения сои в условиях Нижнего Поволжья / В. В. Бородычев, М. Н. Лытов, М. Ю. Моисеев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2004. – № 6. – С. 36–38.

30. Бородычев, В. В. Соя при дождевании и капельном орошении / В. В. Бородычев, М. Н. Лытов, А. И. Шульц, Д. А. Пахомов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2008. – № 2. – С. 48–49.

31. Бородычев, В. В. Орошение и удобрение перспективных сортов сои / В. В. Бородычев, М. Н. Лытов // Плодородие. – 2004. – № 6. – С. 30–31.

32. Бородычев, В. В. Проблемы оптимального водообеспечения сои в условиях орошения / В. В. Бородычев, М. Н. Лытов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – №2(54) . – С. 39-48.

33. Бородычев, В. В. Капельное орошение сои / В. В. Бородычев, М. Н. Лытов, А. А. Диденко. – Волгоград: Панорама, 2006. – 168 с.

34. Васильев, С. М. Технические средства капельного орошения: учебное пособие / С. М. Васильев, Т. В. Коржова, В. Н. Шкура. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2017. – 200 с.

35. Ветренко, Е. А. Научно-экспериментальное обоснование внутрипочвенного орошения яблоневого сада: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / Ветренко Екатерина Александровна. – Волгоград, 2003. – 23 с.

36. 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. конференции. – Майкоп, 2002. – С. 67-69.

37. Виленский, П. Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика / П. Л. Виленский, В. Н. Лившиц, С. А. Смоляк. – М.: Дело, 2004. – 888 с.

38. Воронцов, И. К. Климат Краснодарского края. / И. К. Воронцов. – М.: Наука, 1999. – 178 с.

39. Галиуллина, Е. Ю. Капельное орошение яблоневого сада в условиях сухостепной зоны волгоградской области: дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02. / Галиуллина Екатерина Юрьевна. – Сартов, 2015. – С. 89-103.

40. Гельмиярова, В. Н. Обоснование запасов влаги в почве для охраны от подтопления и иссушения агроландшафтов. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02. / Гельмиярова Виктория Николаевна. – Краснодар, 2012. – С. 4-50.
41. Голованов, А. И. Основы капельного орошения / А. И. Голованов, Е. В. Кузнецов // Краснодар, 1996. – 96 с.54.
42. Горбачева, Н. А. Соя при орошении в условиях южной зоны Приамурья / Н. А. Горбачева // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 7 (129). – С.28-32.
43. Григоров, М. С. Основы внутрипочвенного орошения: монография / М. С. Григоров. – М.: МСХА, 1993. – 106 с.
44. Данилов, А. Н. Соя в орошаемых агрофитоценозах Поволжья / А. Н. Данилов, Г. И. Караваева, С. И. Калмыков. – Саратов: Изд-во Саратовского ГАУ, 2005. – 260 с.
45. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1985. – 416 с.
46. Дробин, Г. В. Соя: значение и место в АПК России / Г. В. Дробин // Техника и оборудование для села. – 2012. – № 5. – С. 24-26.
47. Дубенок, Н. Н. Влияние капельного орошения на рост и развитие саженцев сливы в питомнике в условиях центрального Нечерноземья России / Н. Н. Дубенок, А. В. Гермонов, А. В. Лебедев// Мелиорация и водное хозяйство. – 2020. – № 4. – С. 6-11.
48. Дубенок, Н. Н. Особенности водного режима почвы при капельном орошении сельскохозяйственных культур/ Н. Н. Дубенок, В. В. Бородычев, М. Н. Лытов, О. А. Белик // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – №4. – С. 22-25.
49. Емельянов, А. Н. Соя как источник белка в смешанных посевах кормовых культур / А. Н. Емельянов, Т. В. Наумова, О. И. Хасбиуллина // Кормопроизводство. – 2013. – № 1. – С. 11–12.
50. Зоидзе, Е. К. Основы оперативной системы оценки развития засух и опыт ее экспериментальной эксплуатации / Е. К. Зоидзе, Т. В. Хомякова // ВНИИСХМ, 2002. – Вып.34. – С. 48-66.

51. Ибрагимов, А.Д. соя – культура больших возможностей / А. Д. Ибрагимов // управление, экономика, политика, социология. – 2015. – С. 59-62.
52. Кан, Н. А. Программирование технологии возделывания сельскохозяйственных культур на орошаемых землях Северного Кавказа: монография / Н. А. Кан [и др.] – Ростов н/Д.: Рост. кн. издво, 1985. – 120 с.
53. Костяков, А. Н. Основы мелиорации / А. Н. Костяков. – М.: Сельхозиздат, 1960. – 662 с.
54. Кочегура, А. В. Потенциал современных сортов сои для юга европейской части России / А. В. Кочегура, М. В. Трунова // Земледелие. – 2010. – № 3. – С. 42-44.
55. Кочегура, А. В. Основные результаты по селекции, семеноводству и технологии возделывания сои и перспективные направления исследований / А. В. Кочегура // Современные проблемы селекции и технологии возделывания сои: сборник статей второй международной конференции по сое. – Краснодар, 2008. – С. 8-14.
56. Кременской, В. И., Технология внутрипочвенного и капельного полива с разными объемами локального увлажнения плодового яблоневого сада / В. И. Кременской, Н. М. Иванютин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2017. – № 2 (46) . – С.151-157.
57. Кременской, В. И. Развитие корневой системы яблони при внутрипочвенном и капельном орошении / В. И. Кременской, Н. М. Иванютин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. –2016. – № 4 (44) . –С.118-125.
58. Кузнецов, Е. В. Повышение эффективности орошения в составе инвестиционного проекта адаптированной земельно – охранной системы / Е. В. Кузнецов, А. Е. Хаджиди, А. Н. Куртнезиров // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – Вып. 1(52). – С. 206-211.
59. Кузнецов, Е. В. Анализ мероприятий по охране от подтопления сельскохозяйственных земель Северо-западной части Краснодарского края / Е. В.

Кузнецов, Н. П. Дьяченко, А. Е. Хаджиди // Политематический сетевой научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2005. №12. – С. 6-12.

60. Кузнецов, Е. В. Охранные системы для сохранения и восстановления плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / Е. В. Кузнецов, А. Е. Хаджиди, В. Н. Гельмиярова // Политематический сетевой электронный научный журнал КГАУ. – №23(07). - Режим доступа: <http://ej.Kubagro.ru/2006/07/pdf/19>.

61. Кузнецов, Е. В. Проблемы рекультивации и охраны земель прибрежных ландшафтов степных рек Кубани / Е. В. Кузнецов, А. А. Приходько // Труды кубанского государственного аграрного университета. – Вып. 1(34), 2012. – С. 207-210.

62. Кузнецов, Е. В. Прогноз изменения агресурсного потенциала агроландшафтов под влиянием водно-солевого режима оросительной воды / Е. В. Кузнецов, А. Е. Хаджиди // Перспективы развития науки и образования: сборник науч.трудов по материалам Международной научно-практической конференции 29 ноября 2013 г. в 7 частях. Ч.VII. Мин-во обр. и науки – М.: «АР - Кон-салт». – 2013. – С.25-28.

63. Кузнецов, Е. В. Сельскохозяйственный мелиоративный комплекс для устойчивого развития агроландшафтов / Е. В. Кузнецов, А. Е. Хаджиди: монография. Краснодар: ид – во «ЭДВИ», 2014. – 199 с.

64. Кузнецов, Е. В. Значение природно – ресурсного потенциала для обеспечения устойчивого функционирования агроландшафтов степной зоны Кубани / Е. В. Кузнецов, С. А. Владимиров, Н. П. Дьяченко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. - 2007. – № 9. – С. 176-179.

65. Кузнецов, Е. В. Снижение рисков для повышения урожайности сельскохозяйственных культур при орошении / Е. В. Кузнецов, А. Е. Хаджиди, А. Н. Куртнезирова // В сборнике: Научное обеспечение агропромышленного комплекса Сборник статей по материалам IX Всероссийской конференции молодых ученых. Ответственный за выпуск: А.Г. Коцаев. 2016. – С. 805-806.

66. Кузнецов, Е. В. Исследование переноса наносов и распределение мутности в потоке для охраны предгорных агроландшафтов / Е. В. Кузнецов, Т. Ю. Хаширова // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2008. – № 15. – С. 159-163.

67. Кузнецов, Е. В. Сравнение продуктивности сои при капельном и внутрипочвенном орошении на рисовых почвах / Е. В. Кузнецов, А. Алматар, А. Е. Хаджиди // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование: Волгоград, 2023. – № 2(70). – С. 315-323.

68. Кузнецов, Е. В. Оценка влияния водного режима почвы на продуктивность сои при внутрипочвенном орошении. / Е. В. Кузнецов, А. Алматар, А. Е. Новиков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование: Волгоград, 2023. – № 2(70). – С. 451-458.

69. Лабода, В. Г. Подпочвенное орошение в условиях Крыма / В. Г. Лабода // Вопросы орошения. – Киев: Урожай, 1964. – С. 55-63.

70. Лобойко, В. Ф. Эффективность предпосевной обработки семян различных сортов сои биологически активными препаратами в условиях капельного орошения / В. Ф. Лобойко, В. В. Толоконников, Н. С. Дезорцев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2013. – №2(30). – С. 35-38.

71. Лобойко, В. Ф. Влияние различного водного режима почв на рост и развитие сои при капельном орошении в условиях светло-каштановых почв волгоградской области / В. Ф. Лобойко, Н. Г. Дезорцев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 1 (33). – С.1-6.

72. Лукомец, В. М. Возделывание сои в рисовых севооборотах Кубани – крупный резерв пополнения кормового белка / В. М. Лукомец, В. Л. Махонин // Кормопроизводство. – 2014. – № 3. – С. 32-34.

73. Лукомец, В. М. Перспективы и резервы расширения производства масличных культур в Российской Федерации / В. М. Лукомец, С. В. Зеленцов, К. М. Кривошлыков // Масличные культуры. Науч.-тех. бюл. ВНИИМК. – 2015. – Вып. 4 (164). – С. 81–102.

74. Лытов, М. Н. Особенности формирования водного режима почвы при разных уровнях водообеспечения сои в условиях орошения / М. Н. Лытов // Мелиорация и гидротехника, Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2019. – № 3(35). – С. 31–49.

75. Махонин, В. Л. Агротехнические аспекты возделывания сои в рисовых севооборотах Краснодарского края / В. Л. Махонин // Земледелие. – 2011. – № 7. – С. 31-33.

76. Мессина, М. Обыкновенная соя и ваше здоровье. / М. Мессина, В. Мессина, К. Сетчелл. – Майкоп: Изд.-во «Адыгея», 1995. – 205 с.

77. Мещеряков, М. П. Техника и технология ресурсосберегающих способов орошения сладкого перца в условиях волго - ахтубинской поймы. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02./ Мещеряков Максим Павлович. – Волгоград, 2008. – С. 4-30.

78. Мещеряков, М. П. Повышение эффективности использования оросительной воды при различных способах полива с применением природных сорбирующих мелиорантов. дис. доктора технических наук: 06.01.02./ Мещеряков Максим Павлович. – Волгоград, 2021. – С. 15-43.

79. Михайленко, И. М. Дифференциация управления орошением посевов сельскохозяйственных культур / И. М. Михайленко, В. Н. Тимошин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 1. – С. 24-29.

80. Монари, С. Справочник по использованию необезжиренной (полножирной) сои в кормлении животных, птиц и рыб / С. Монари, Д. Уайзмен. – Пер. с англ. М: Американская соевая ассоциация, 1993. – 44 с.

81. Муромцев, Н. А. Особенности влагопотребления и влагообеспеченности растений различных экологических групп /Н. А. Муромцев, Н. А. Семенов, К. Б. Анисимов // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. – 2016. – № 82. – С. 71–87.

82. Никульчев, К. А. Влияние обработки почвы на урожайность сои в южной зоне Амурской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. общее земледелие, растениеводство: 06.01.01. / Константин Анатольевич Никульчев. – Красноярск, 2013. – 16 с.

83. Новиков, А. Е. Исследование потерь напора и равномерности расхода жидкостей в капельных трубопроводах / А. Е. Новиков, М. И. Ламскова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 2. – С. 203-209.

84. Ольгаренко, В. И. Научная концепция и алгоритм реализации элементов прецизионного земледелия в условиях оросительной сельскохозяйственной мелиорации / В. И. Ольгаренко, А. Н. Бабичев, В. А. Монастырский // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2018. – № 1 (29). – С. 160-169.

85. Орехов, Г. И. Способы основной обработки почвы под сою в регионах России (обзор) / Г.И Орехов, А.С. Бушнев // Масличные культуры. – 2019. – Вып. 1 (177). –С. 124-131.

86. Орехов, Г. И. Влияние способов обработки почвы на её физико-механические свойства / Г. И. Орехов, С. А. Чуев // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: сб. науч. тр. ДальГАУ. – Благовещенск: ДальГАУ. – 2010. – Вып. 17. – С. 28–32.

87. Петибская, В. С. Соя: химический состав и использование / В. С. Петибская // Майкоп: Полиграф-Юг, 2012. – 432 с.

88. Петибская, В. С. Достоинства и недостатки семян сои и их роль в формировании качества пищевых продуктов и лечебных препаратов / В. С. Петибская // масличные культуры 2006, вып. 2 (135), С. 122-128.

89. Рабинович, Е. З. Гидравлика / Е. З. Рабинович. – М.: Недра, 1974. – 296 с.

90. Селицкий, С. А. Влияние поливного режима на продуктивность сои / С. А. Селицкий, Т. П. Андреева // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 1(61). – С. 78–81.

91. Сторчоус, В. М. Рациональное и эффективное использование земель при выращивании плодовых культур с микроорошением / В. М. Сторчоус, В. С. Недвига, В. И. Ляшевский // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – Вып. 93-94. – С. 160-164.

92. Тильба, В. А. Биология сои: возможности оптимизации отдельных продукционных процессов / В. А. Тильба, Н. М. Тишков // Масличные культуры: науч.-техн. бюл. ВНИИМК. – 2016. – Вып. 3(167). – С. 78-87.

93. Толоконников, В. В. Особенности высокорентабельного возделывания среднеспелых сортов сои в условиях орошения / В. В. Толоконников, А. А. Новиков, О. П. Комарова, Т. С. Кошкарова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – №3 (51). – С. 185-190.

94. Толоконников, В. В. Сортовые технологии возделывания сои в условиях орошения / В. В. Толоконников, Т. С. Кошкарова, С. В. Иленева // Перспектива развития аграрной науки в современных экономических условиях: материалы Международной научно-практической конференции. – Волгоград, 2016. – С. 116-120.

95. Толоконников, В. В. Теоретическое и экспериментальное обоснование технологий возделывания и селекция адаптированных к природным условиям Нижнего Поволжья сортов сои: автореф. дис. ... доктора с.-х. наук/ Толоконников Владимир Васильевич. – Волгоград, 2010. – 47 с.

96. Толоконников, В. В. Морфобиологическая характеристика новых сортов сои и возможности использования их в различных природных условиях / В. В. Толоконников // Технологические и экологические аспекты земледелия в аридных зонах: сб. статей. – Волгоград: ВНИИОЗ, 1993. – С. 151.

97. Ушакова, Е. В. Управление водным режимом почвы и продуктивность сои при капельном орошении / Е. В. Ушакова, В. В. Мелихов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 1 (33). – С.1-6

98. Климат и агроклиматические ресурсы Ростовской области / Ю. П. Хрусталеv, В. Н. Василенко, И. В. Свисюк, В. Д. Панов, Ю. А. Ларионов. – Ростов н/Д.: Батайское кн. изд-во, 2002. – 184 с.

99. Храбров, М. Ю. Расчет распространения влаги в почве при капельном орошении // Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – № 4. – С. 34-35.

100. Цыбульников, В. А. Соя отличный предшественник озимой пшеницы / В. А. Цыбульников, С. В. Панчихин // Земледелие. – 2009. – №1. – С. 32-33.

101. Чамурлиев, О. Г. Влияние сортовых особенностей и приемов агротехники на урожайность сои при орошении / О. Г. Чамурлиев, В. В. Толоконников // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – № 3(39). – С. 87-91.

102. Чамурлиев, Г. О. Режим орошения и способы основной обработки светло-каштановых почв при возделывании сои в Волго-Донском междуречье: автореф. дис... канд. с.-х. наук: 06.01.02. / Чамурлиев, Георгий Омариевич. – Волгоград, 2016. – 20 с.

103. Чернов, Г. И. Исследование способа локального орошения сада / Г. И. Чернов, В. Х. Арст, Г. А. Петропалов // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – 1982. – №4. – С. 76-81.

104. Шуравилин, А. В. Капельное орошение сои на тяжелосуглинистых почвах / А. В. Шуравилин, В. В. Бородычев, М. Н. Лытов, О. А. Белик // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агротомия и животноводство. – 2009. – № 3. – С. 21-25.

105. Щедрин, В. Н. Проблемы эффективного использования орошаемых земель ЮФО (на примере Ростовской области) / В. Н. Щедрин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. по материалам междунар. науч.-практ. семинара «Опыт и перспективы возделывания сои на орошаемых землях Юга России», 15–16 дек. 2005 г. / ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2005. – С. 8–17.

106. Юст, Н. А. Влияние сроков посева сои при орошении на рост и урожайность в условиях южной зоны Амурской области / Н. А. Юст, Т. А.

Ляшенко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 7. – С. 21-25.

107. Юст, Н. А. Влияние различных режимов орошения на рост, развитие и фотосинтетическую деятельность растений сои в условиях южной зоны Приамурья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 12 (86). – С. 30-33.

108. Abd Al-Kareem, J. Soil and water resources in the projects of the Euphrates basin / J. Abd Al-Kareem, G. Soumi, T. Mardoud// The Syrian Economic Journal. – 1994. – Vol. No. 248. – P. 43-70 (in Arabic).

109. Ayers, R.S. Water quality for agriculture / R. S. Ayers, D. W. Westcoat // FAO irrigation and drainage paper – 1985. – P. 29.

110. Adnan, A. Modern irrigation in the Syrian Arab country/ A. Adnan // Journal of Damascus University of Engineering Sciences. – 2011. – P. 23-42 (in Arabic).

111. Assaf, I. D. Irrigation and drainage / A. Adnan, I. D. Assaf // Publications of the Faculty of Civil Engineering, Directorate of books and publications. – Damascus University 2010. – P. 152-195 (in Arabic).

112. Assaf, I. D. Land reclamation / A. Adnan, I. D. Assaf // Publications of the Faculty of Civil Engineering, Directorate of books and publications. – Damascus University 2011. – P. 201-250 (in Arabic).

113. Ayars, J. E. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory/ J. E Ayars, .C. J. Phene, R. B. Hutmacher, K. R. Davis, R. A. Schoneman, S. S. Vail, and R. M. Mead//. Agric. Water Mgt. 42. – 1999. – P. 1-27.

114. 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, Israel, 1996. – vol.16. – № 1.

115. Kuznetsov, E.V. Study of a Radius of Action and Sprinkler Density Distribution/ Kuznetsov, E.V., Khadzhidi, A. E., Almatar, A., Hasan, M.// Helix – The Scientific Explorer. – 2020 –Volume № 10 Issue № 02. – P. 112-116.

116. Lopez, R. Optimization model for water allocation in deficit irrigating systems. I. Description of the model / R. Lopez, E. Camacho, J. Reca, M. Alcaide, J. Roldan // Agricultural water management. – 2001. – Vol. 48. - № 2. - P. 103-116.

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

118. Salama, M. Raising the efficiency of water use in agriculture. Tempus project / M. Salama // publications of the Faculty of Civil Engineering, al-Baath university. – 2006. – P. 92-128.

119. Singh, A. An introduction to drip irrigation systems / Ajai Singh. – New Delhi Publishers. – 2012. – P. 1-24.

Изменение влаги в модельном почвогрунте при КО
(вторая опыта)

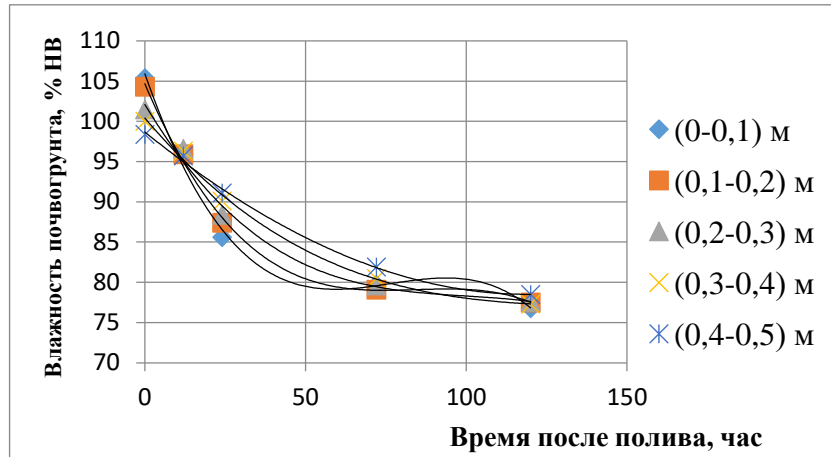


Рисунок А.1 – Изменение влаги в модельном почвогрунте в сечении С при КО (20 минут полива)

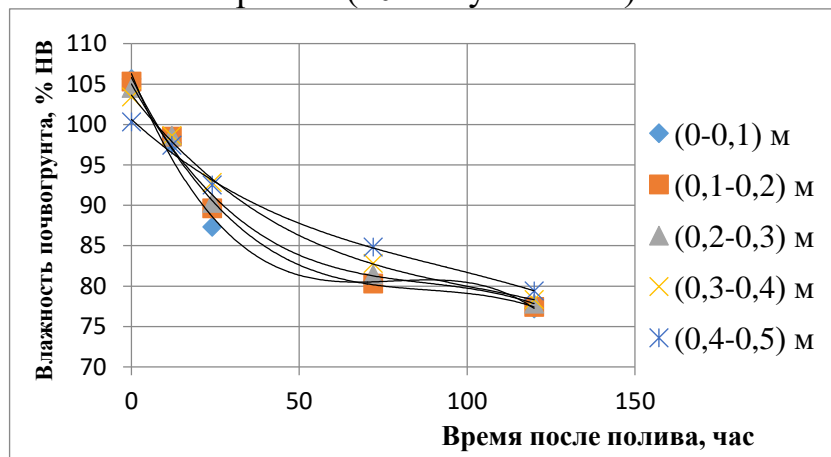


Рисунок А.2 – Изменение влаги в модельном почвогрунте в сечении С при КО (40 минут полива)

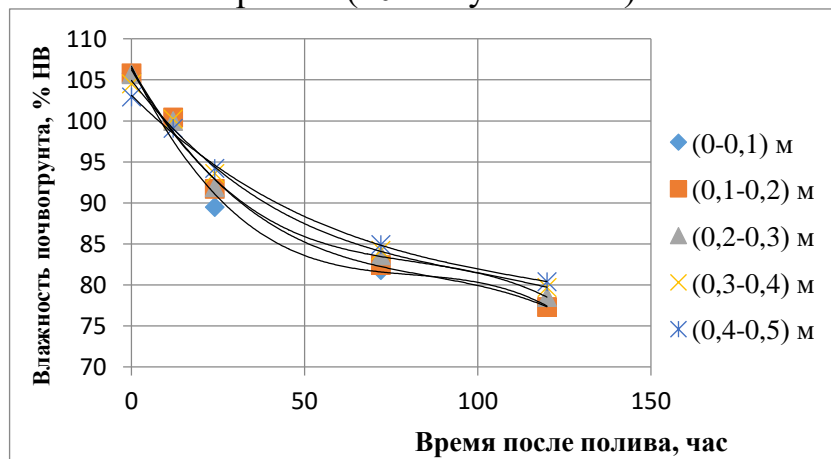


Рисунок А.3 – Изменение влаги в модельном почвогрунте в сечении С при КО (60 минут полива)

Изменение влаги в модельном почвогрунте при КО
(третья опыта)

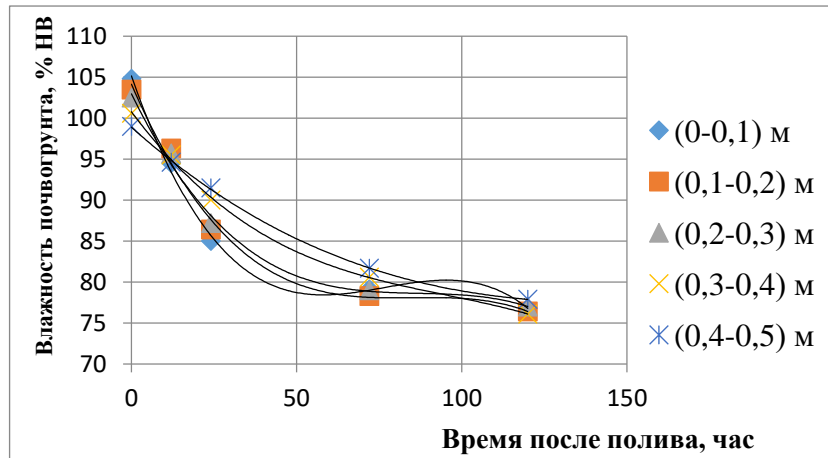


Рисунок А.4 – Изменение влаги в модельном почвогрунте в сечении С при КО (20 минут полива)

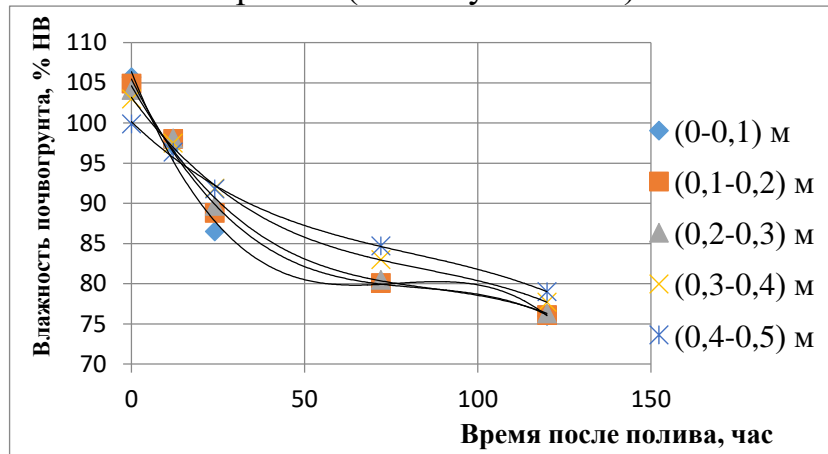


Рисунок А.5 – Изменение влаги в модельном почвогрунте в сечении С при КО (40 минут полива)

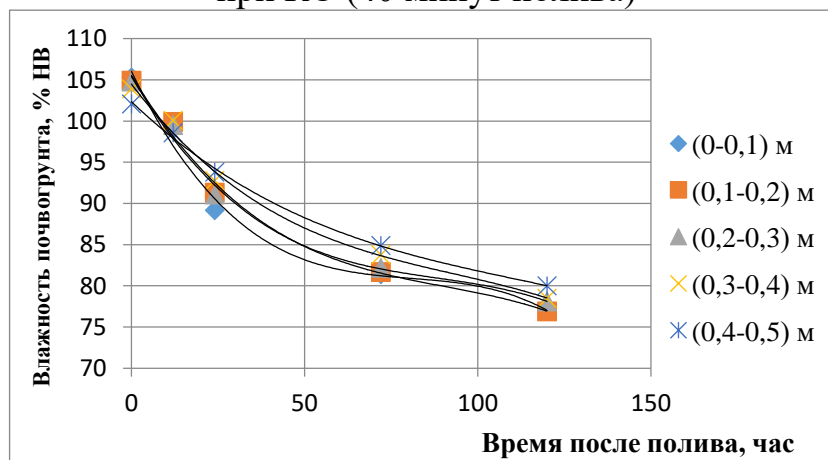


Рисунок А.6 – Изменение влаги в модельном почвогрунте в сечении С при КО (60 минут полива)

Изменение влаги в модельном почвогрунте при ВПО
(вторая опыта)

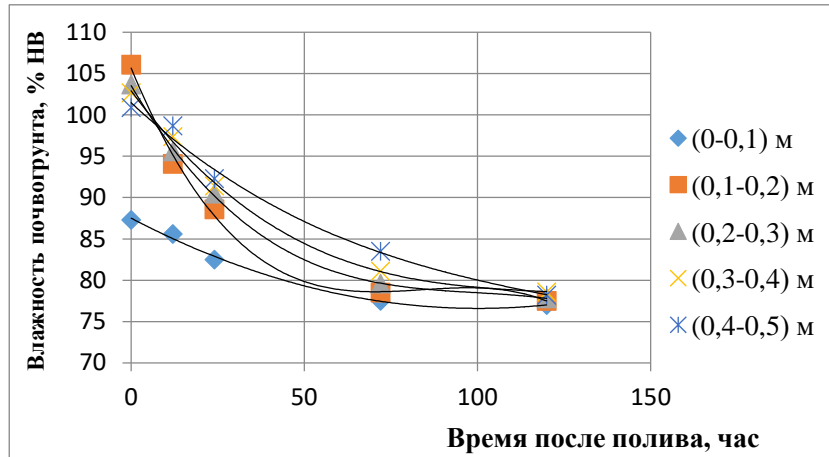


Рисунок Б.1 – Изменение влаги в модельном почвогрунте в сечении С при ВПО (20 минут полива)

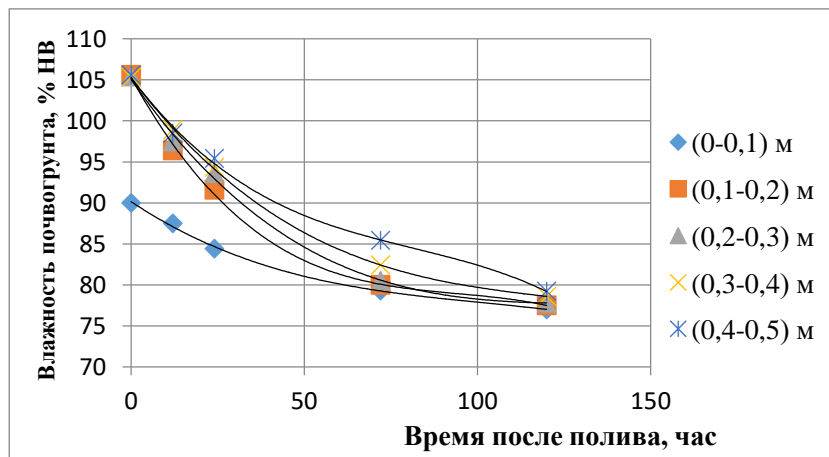


Рисунок Б.2 – Изменение влаги в модельном почвогрунте в сечении С при ВПО (40 минут полива)

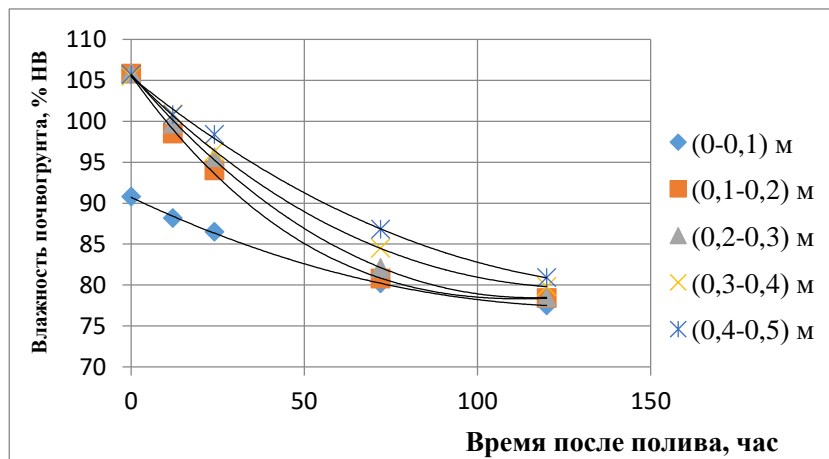


Рисунок Б.3 – Изменение влаги в модельном почвогрунте в сечении С при ВПО (60 минут полива)

Изменение влаги в модельном почвогрунте при ВПО
(третья опыта)

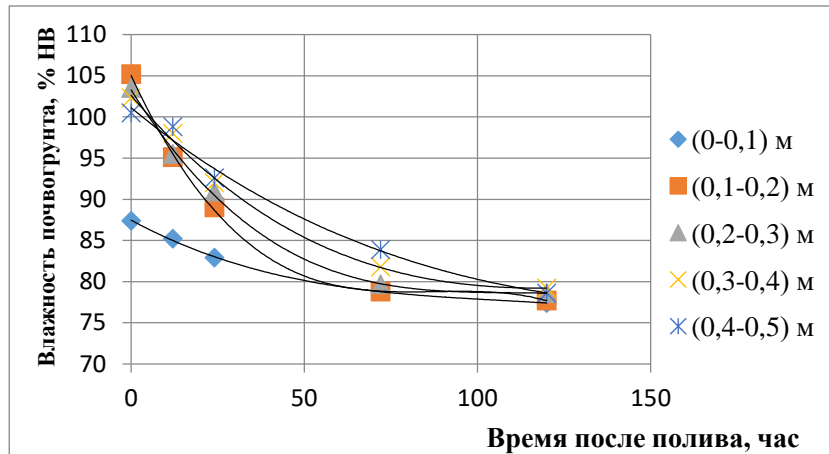


Рисунок Б.4 – Изменение влаги в модельном почвогрунте в сечении С при ВПО (20 минут полива)

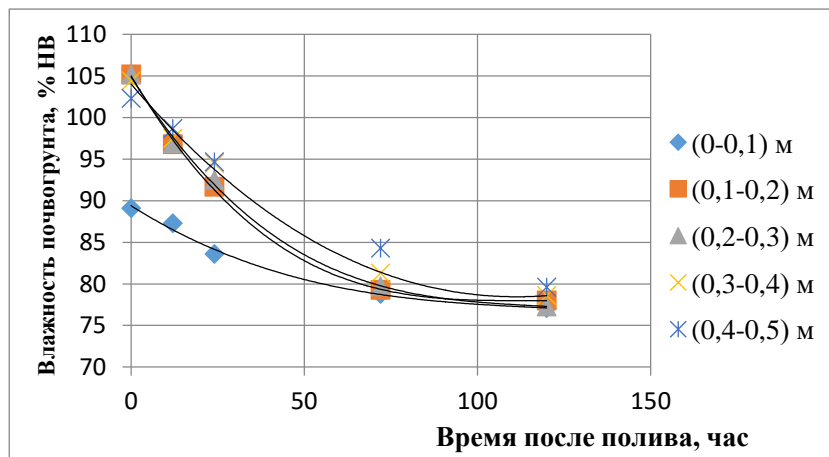


Рисунок Б.5 – Изменение влаги в модельном почвогрунте в сечении С при ВПО (40 минут полива)

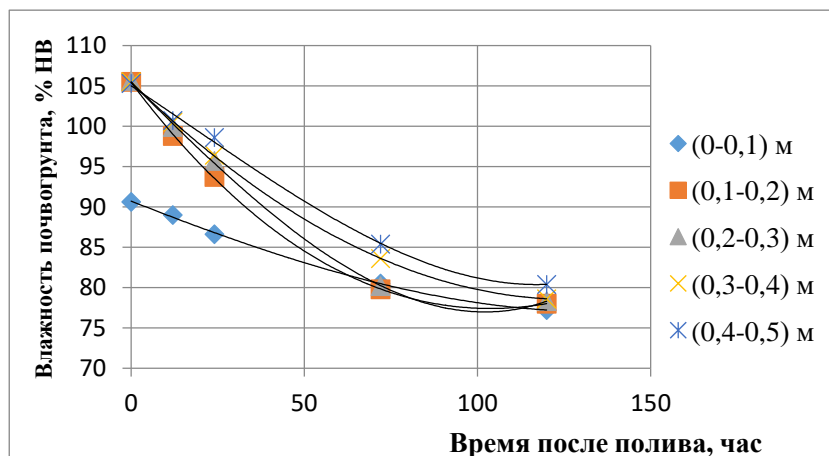
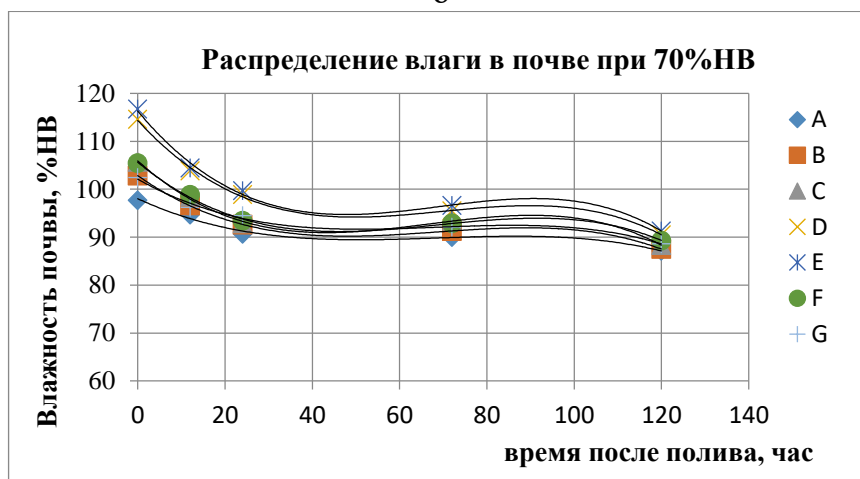
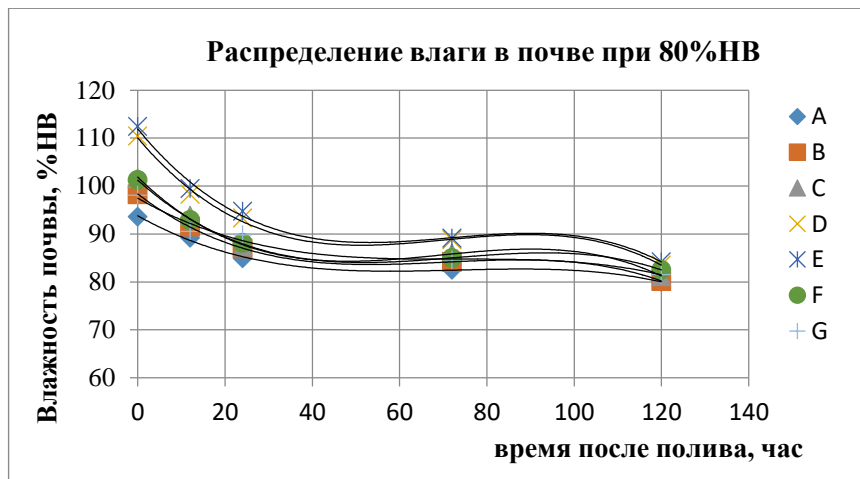
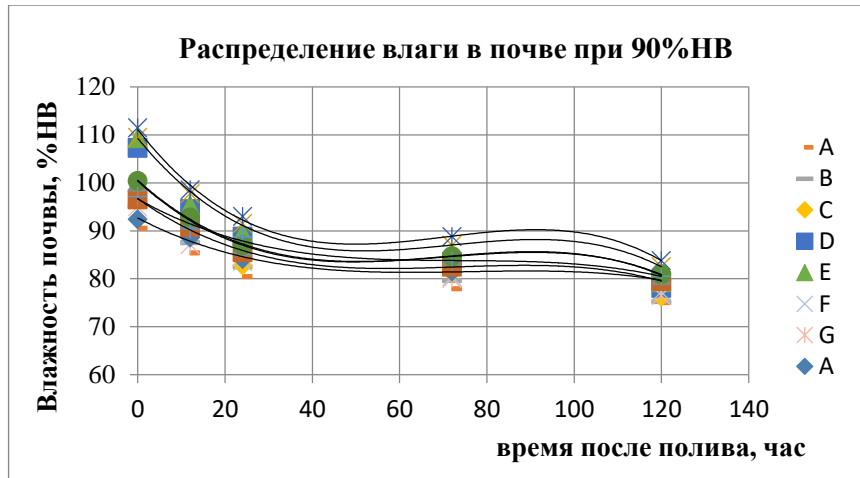


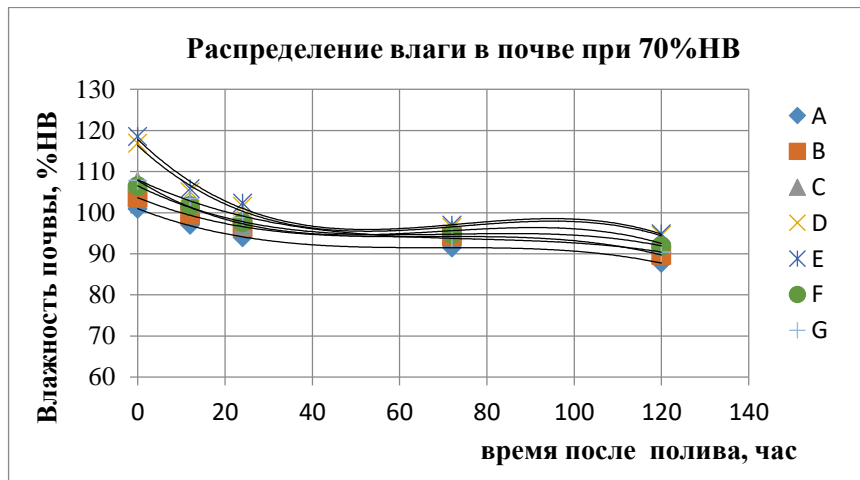
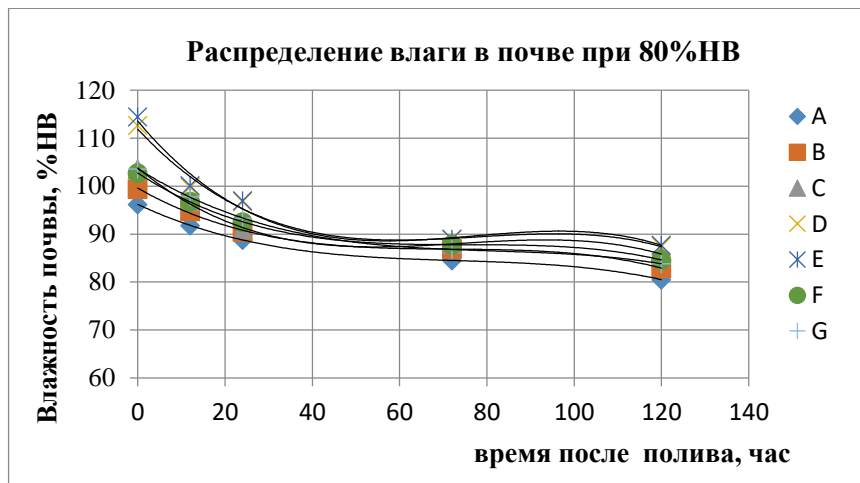
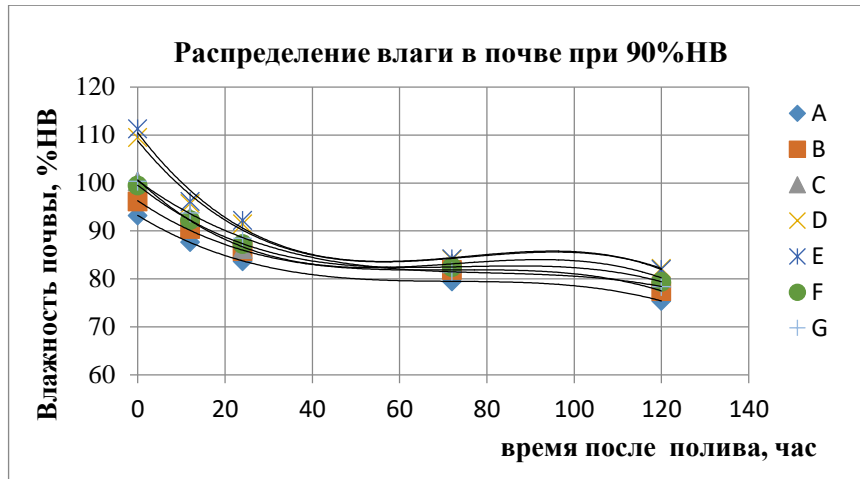
Рисунок Б.6 – Изменение влаги в модельном почвогрунте в сечении С при ВПО (60 минут полива)

Распределение влажности при КО (вторая опыта)



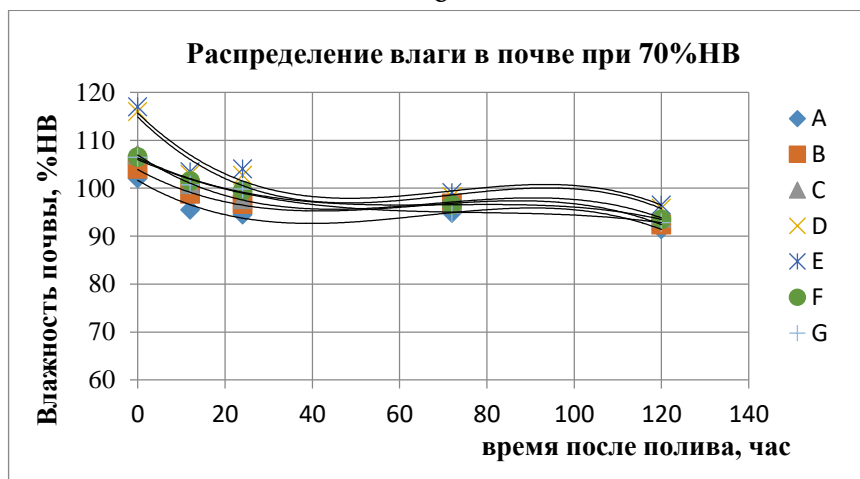
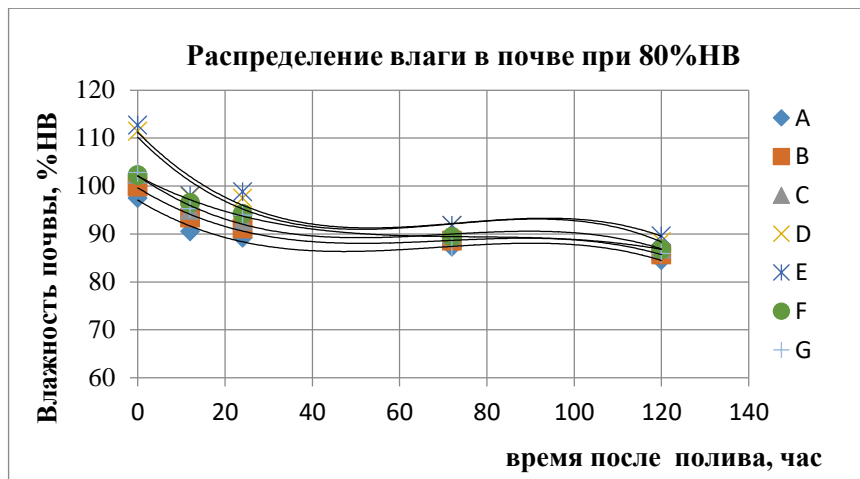
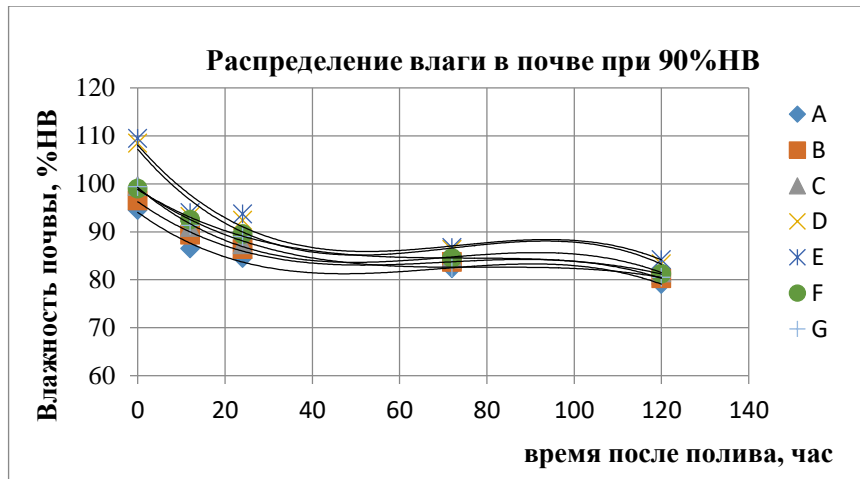
а – поливная норма 90% НВ; б – поливная норма 80% НВ;
в – поливная норма 70% НВ

Рисунок В.1 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0-0,1 м при КО



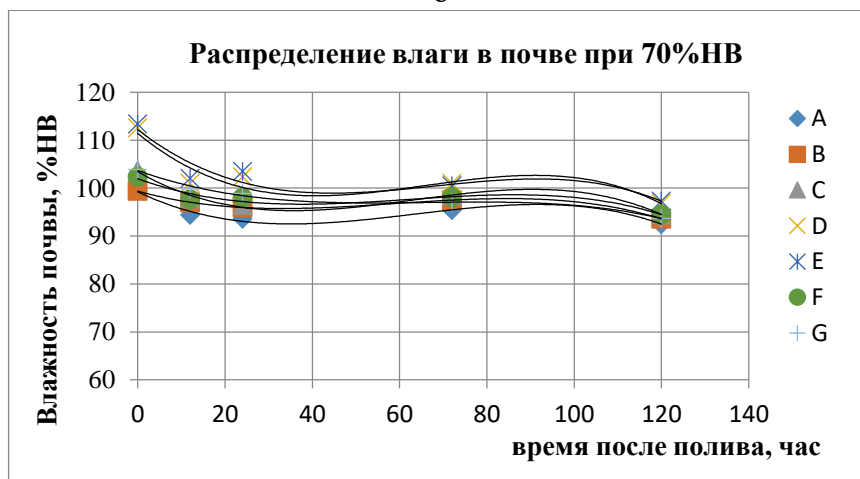
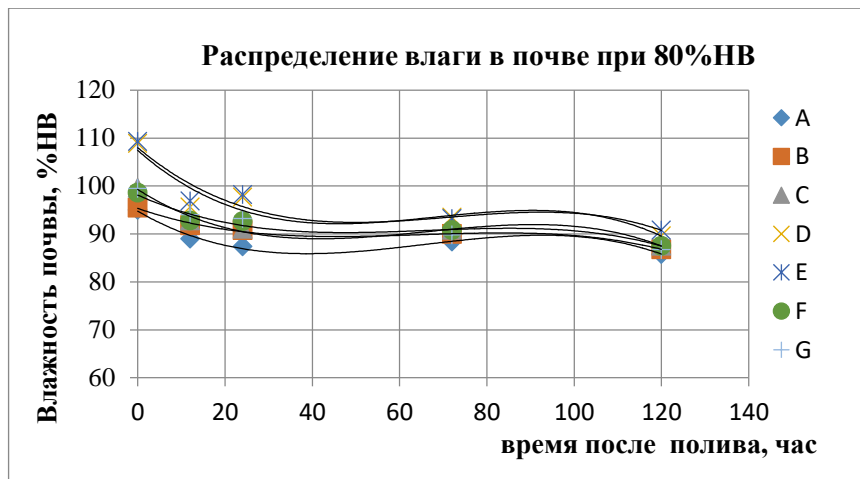
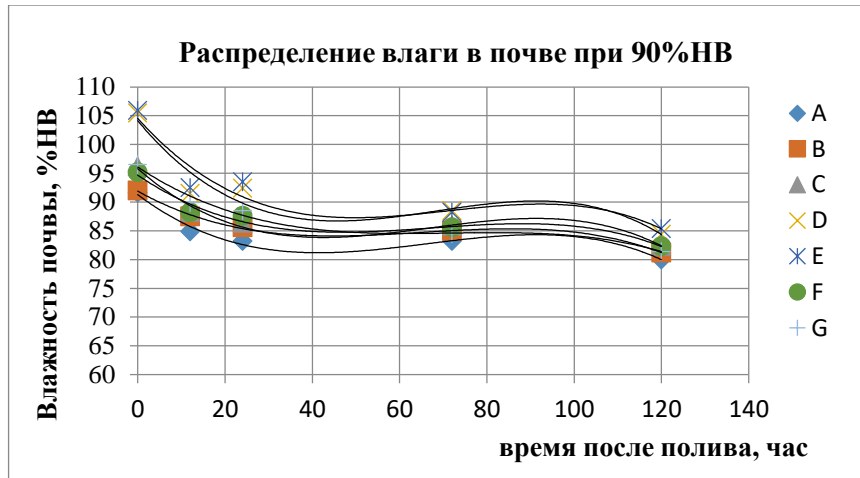
а – поливная норма 90% НВ; б – поливная норма 80% НВ;
в – поливная норма 70% НВ

Рисунок В.2 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля
0,1-0,2 м при КО



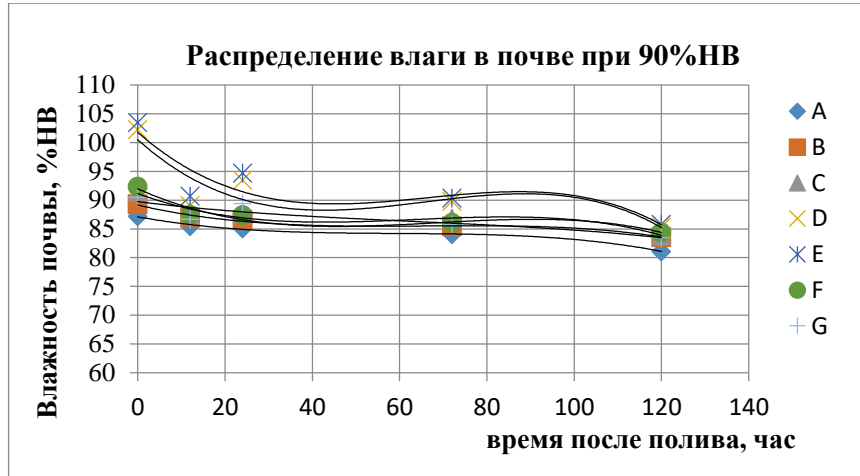
а – поливная норма 90% НВ; б – поливная норма 80% НВ;
в – поливная норма 70% НВ

Рисунок В.3 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0,2-0,3 м при КО

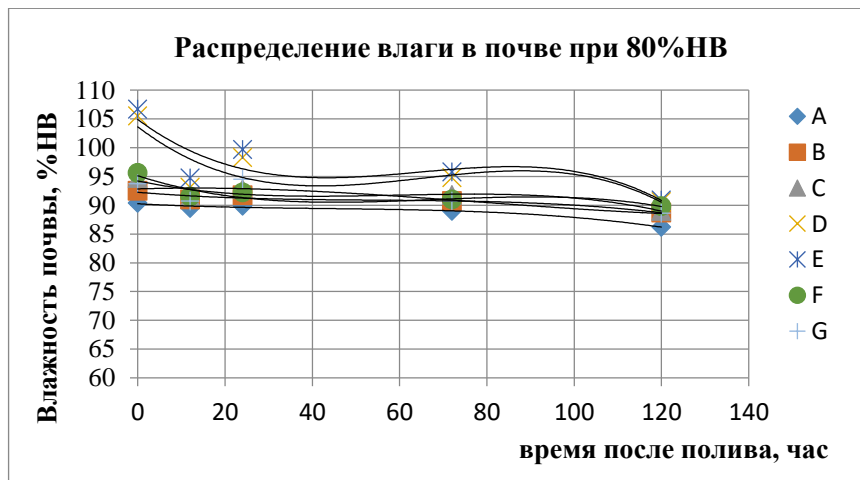


а – поливная норма 90% НВ; б – поливная норма 80% НВ;
в – поливная норма 70% НВ

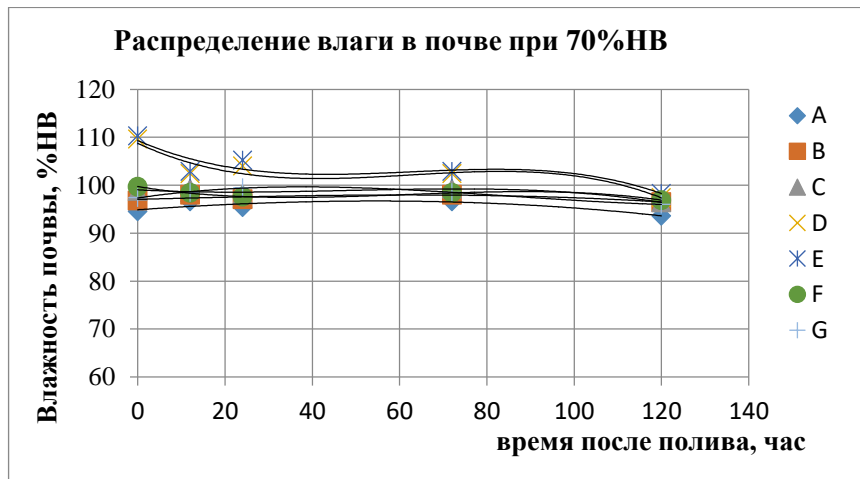
Рисунок В.4 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля
0,3-0,4 м при КО



а



б

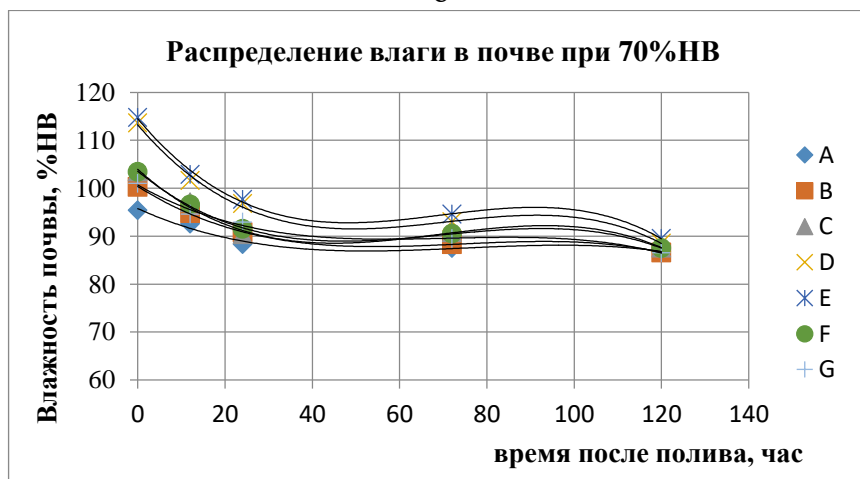
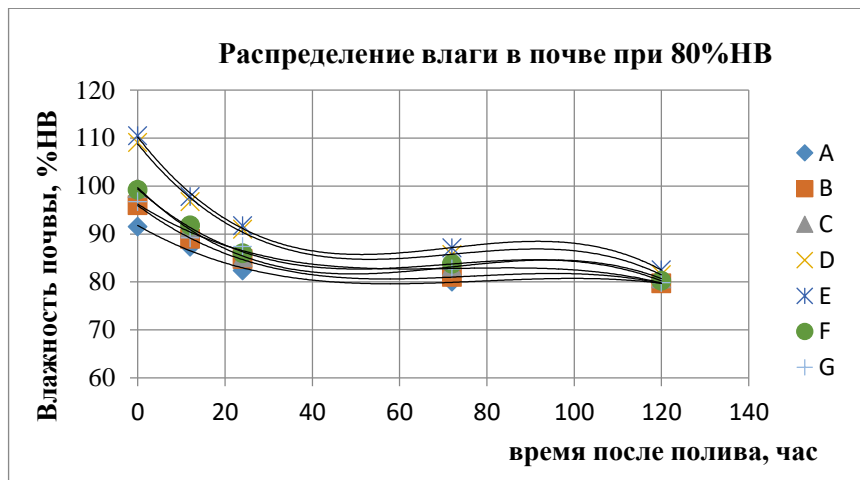
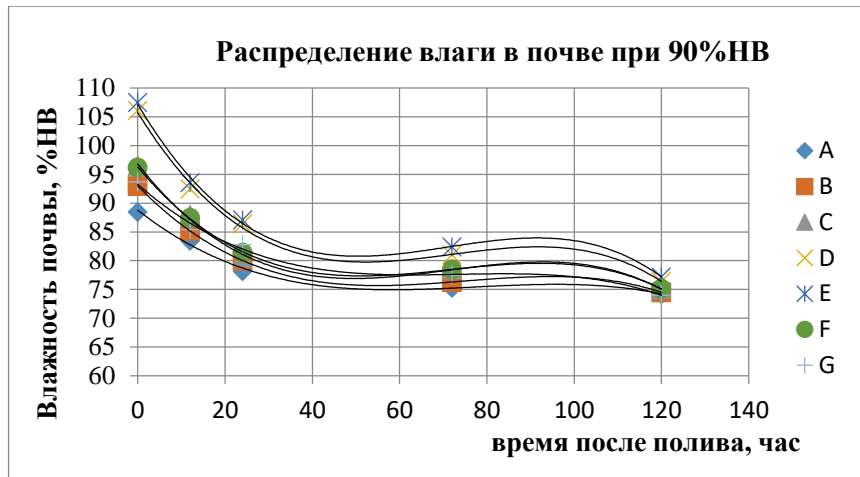


в

а – поливная норма 90% НВ; б – поливная норма 80% НВ;
в – поливная норма 70% НВ

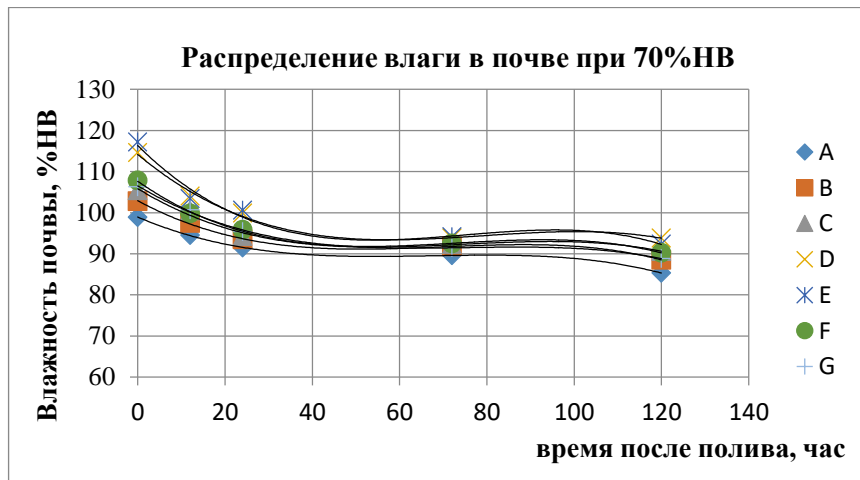
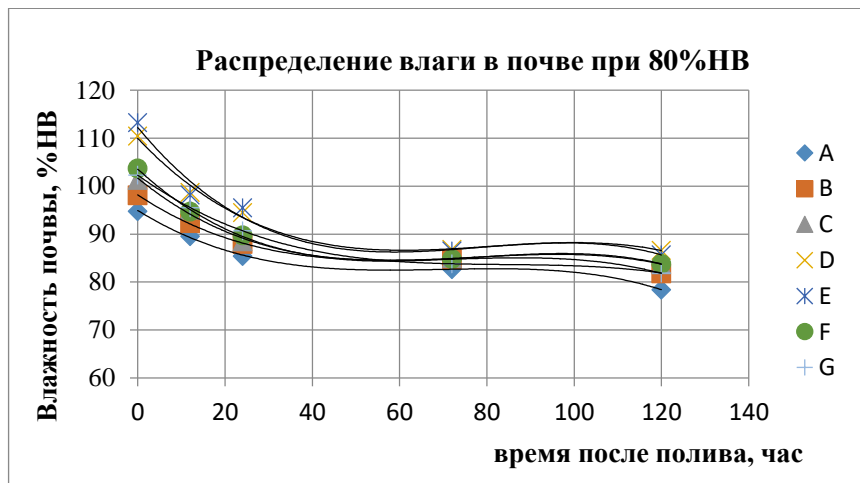
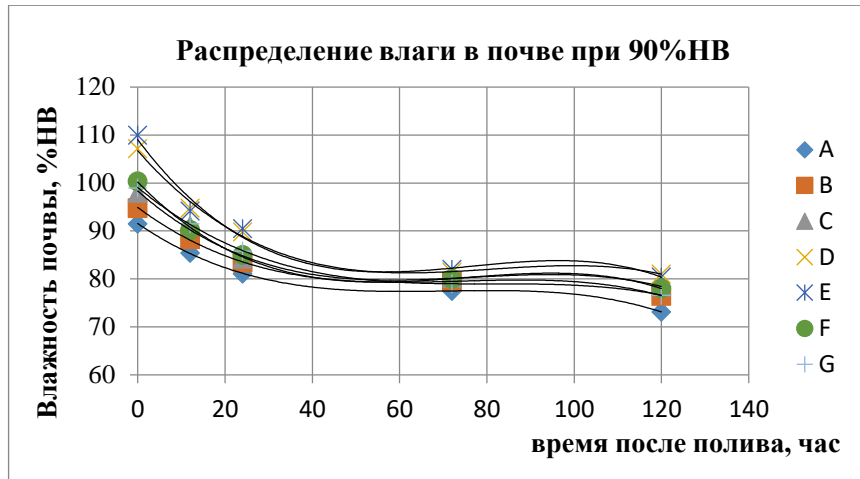
Рисунок В.5 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0,4-0,5 м при КО

Распределение влажности при КО (третья опыта)



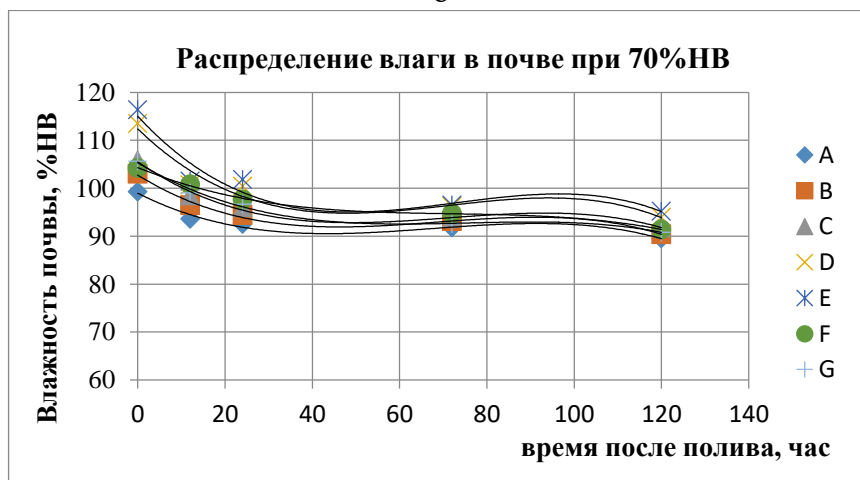
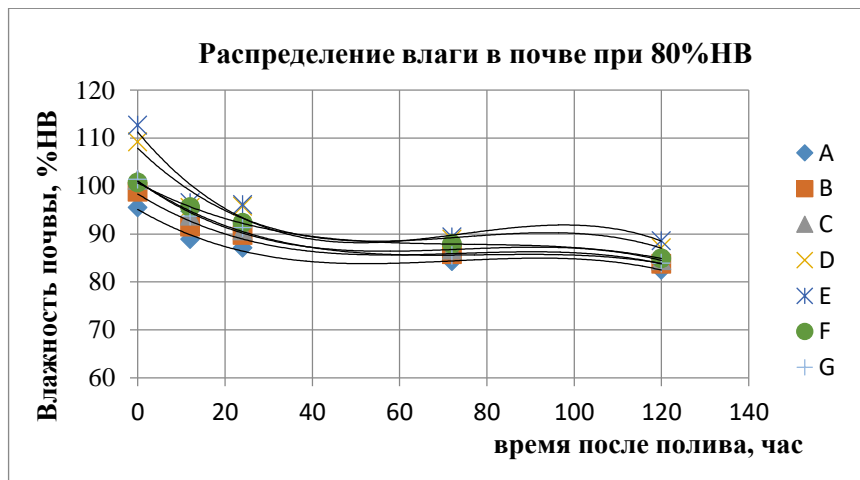
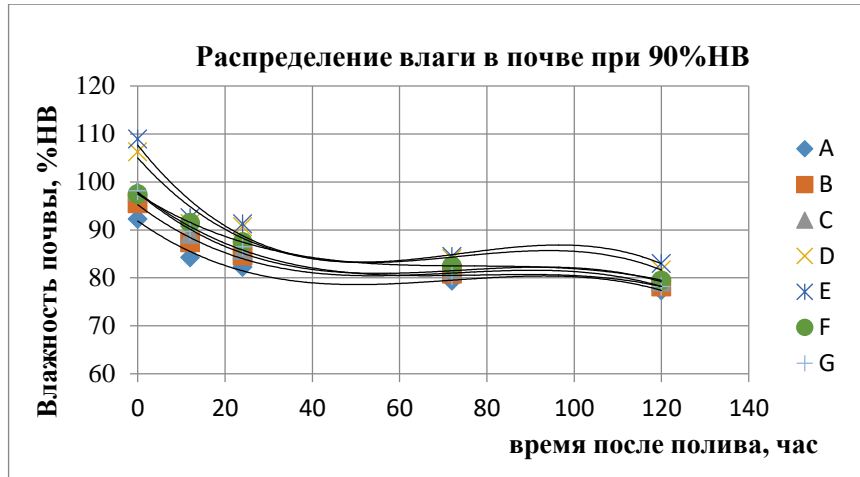
а – поливная норма 90% НВ; б – поливная норма 80% НВ;
в – поливная норма 70% НВ

Рисунок В.6 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0-0,1 м при КО



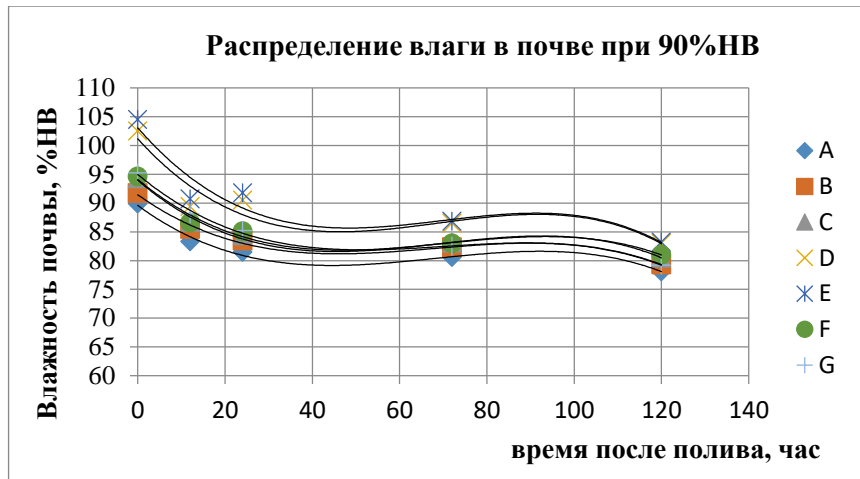
а – поливная норма 90% НВ; б – поливная норма 80% НВ;
в – поливная норма 70% НВ

Рисунок В.7 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0,1-0,2 м при КО

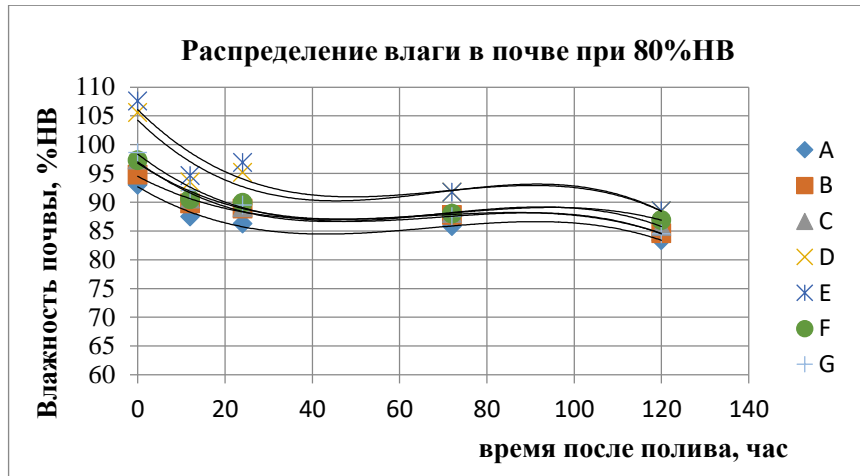


а – поливная норма 90% НВ; б – поливная норма 80% НВ;
в – поливная норма 70% НВ

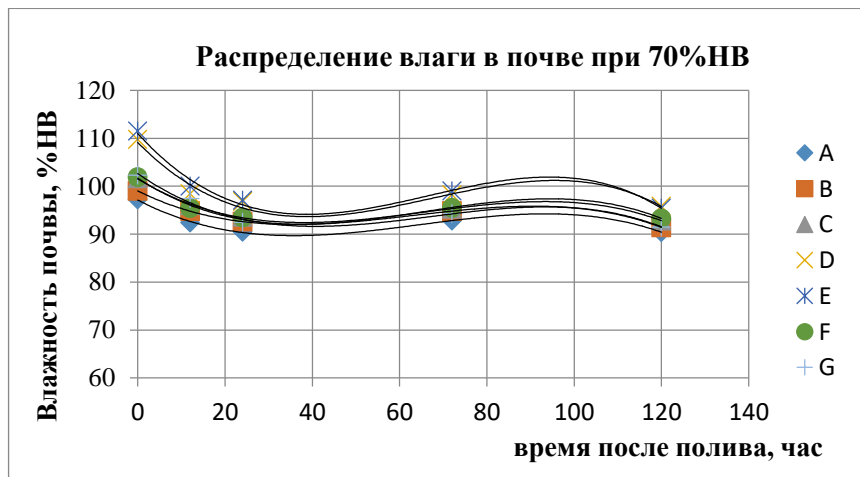
Рисунок В.8 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0,2-0,3 м при КО



а



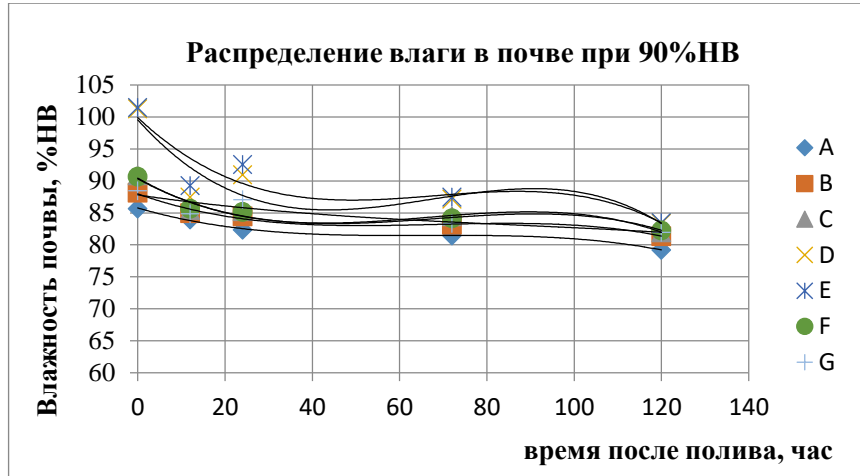
б



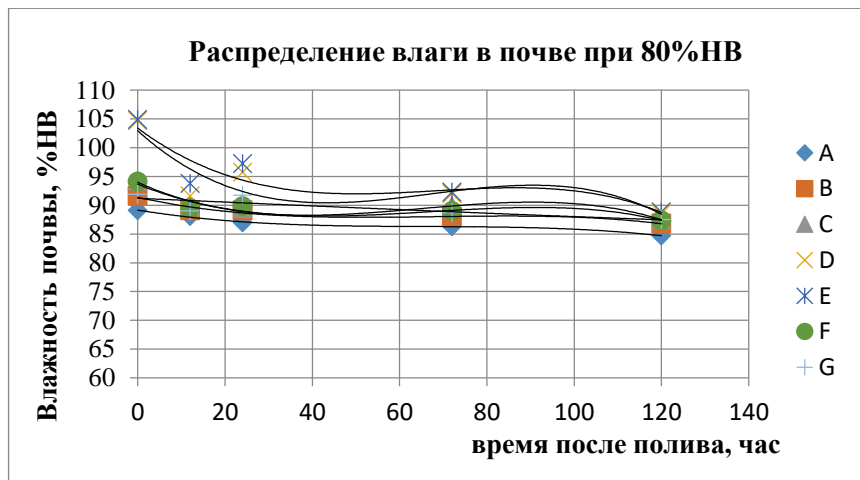
в

а – поливная норма 90% НВ; б – поливная норма 80% НВ;
в – поливная норма 70% НВ

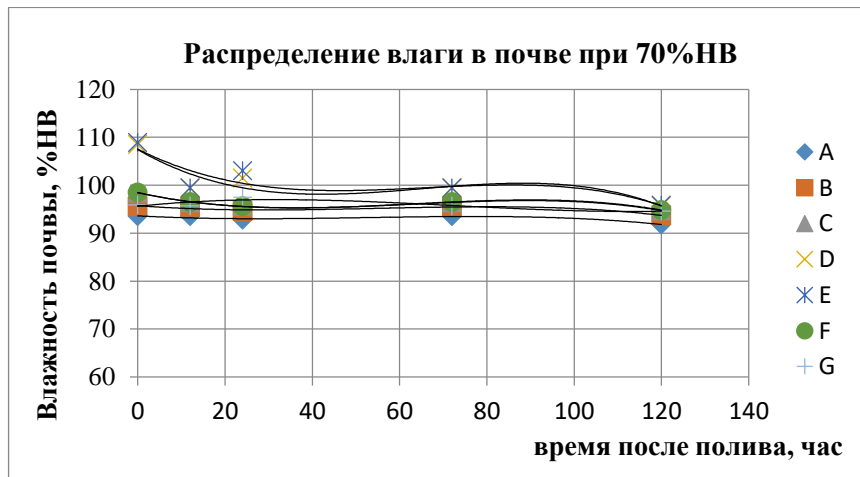
Рисунок В.9 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0,3-0,4 м при КО



а



б

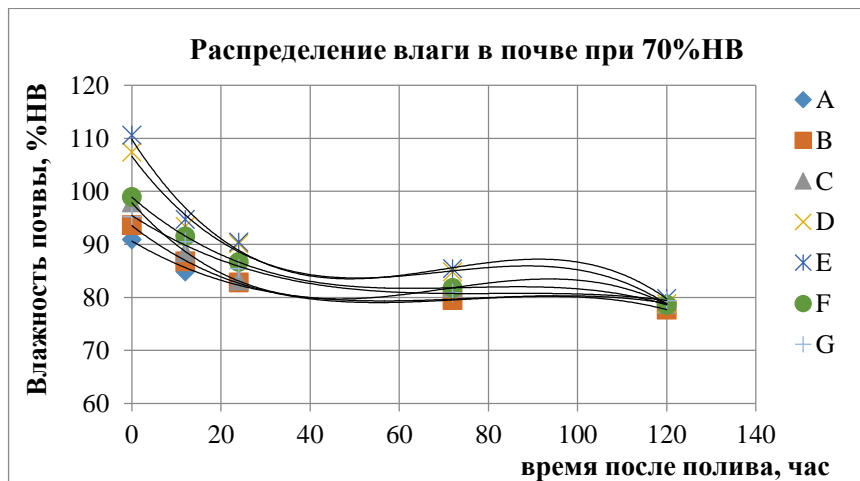
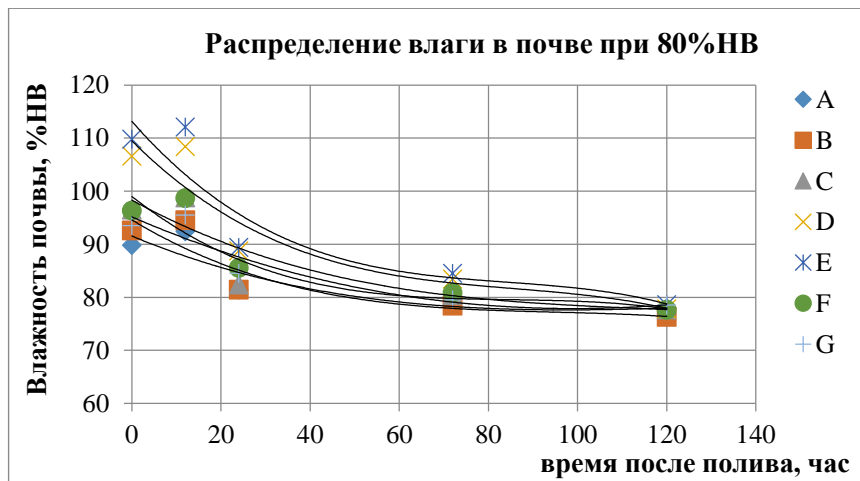
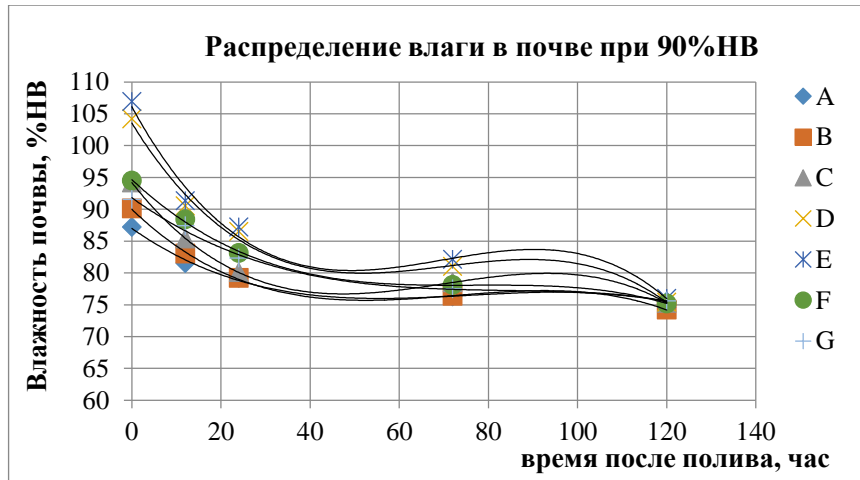


в

а – поливная норма 90% НВ; б – поливная норма 80% НВ;
в – поливная норма 70% НВ

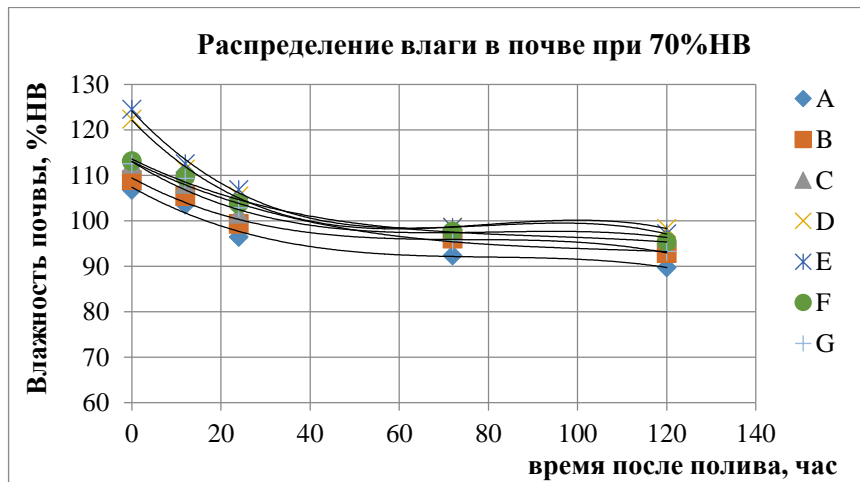
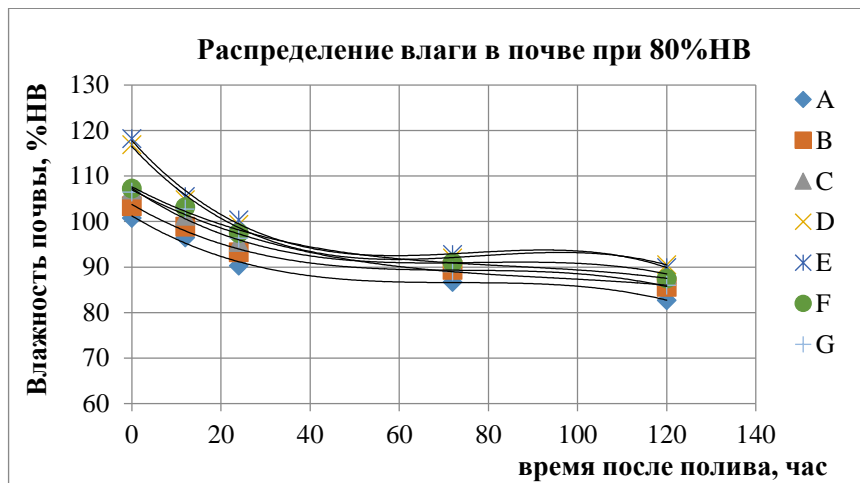
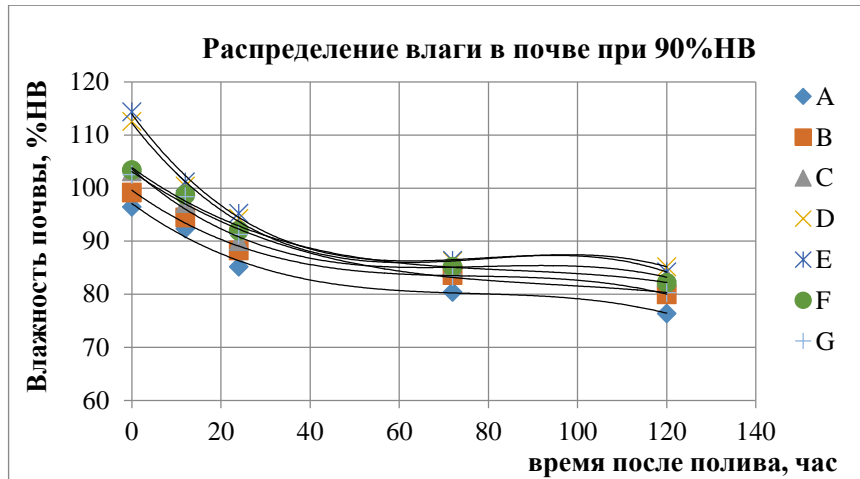
Рисунок В.10 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0,4-0,5 м при КО

Распределение влажности при ВПО (вторая опыта)



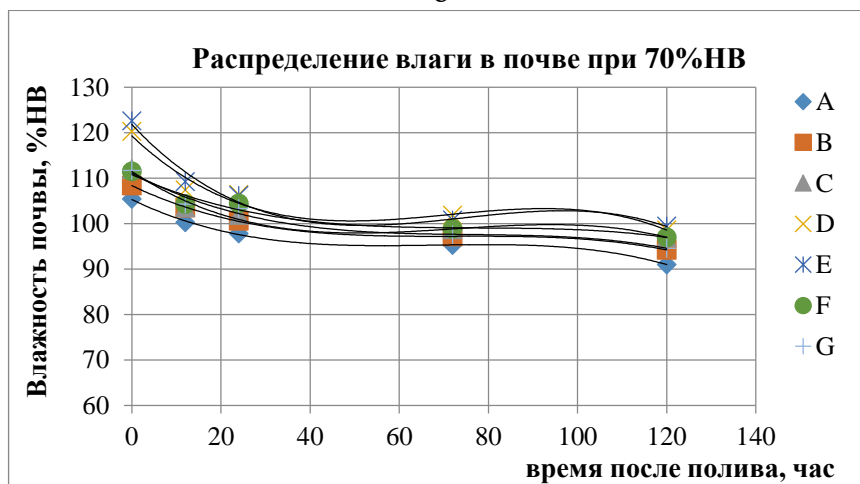
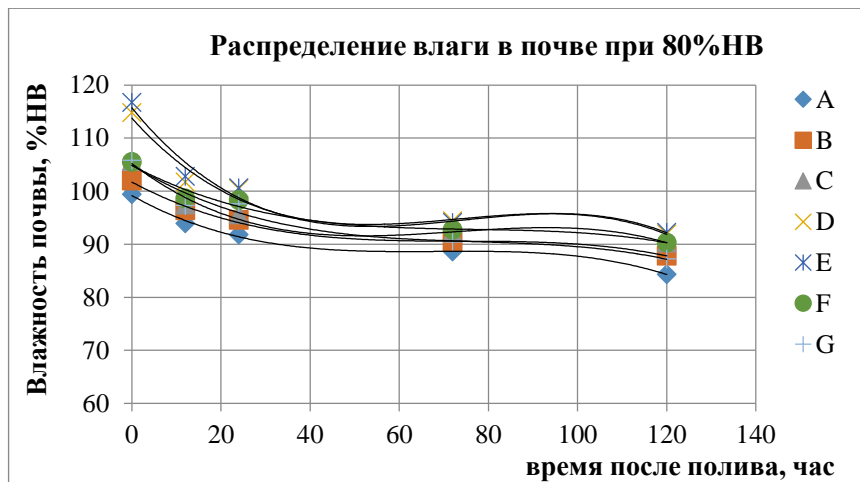
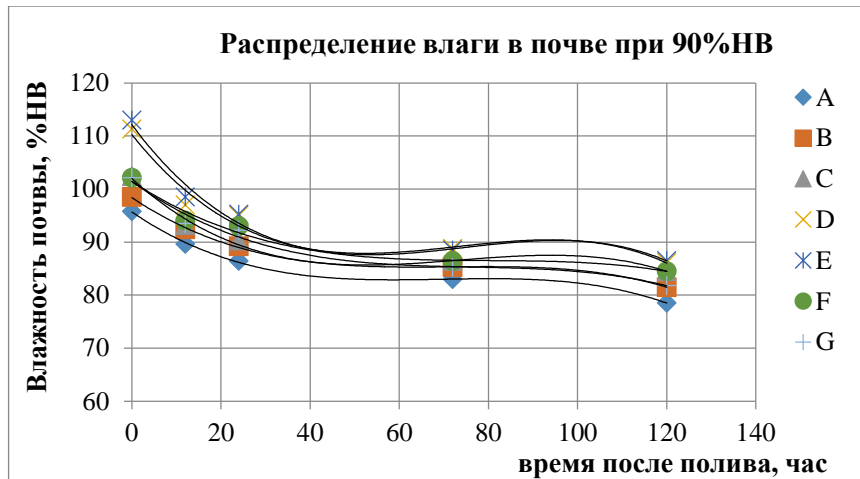
а – поливная норма 90% НВ; б – поливная норма 80% НВ;
в – поливная норма 70% НВ

Рисунок Г.1 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0-0,1 м при ВПО



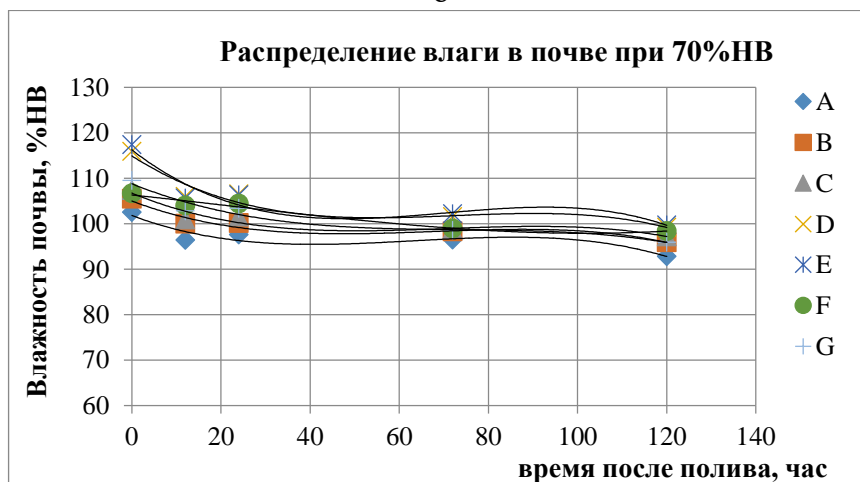
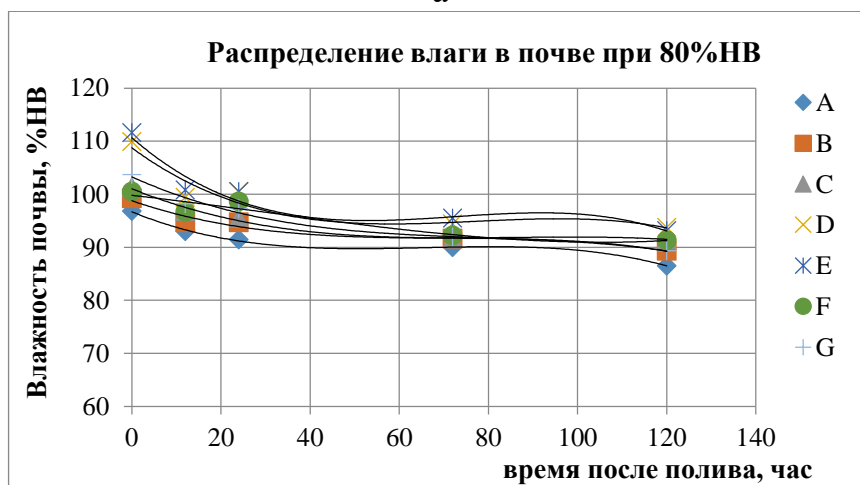
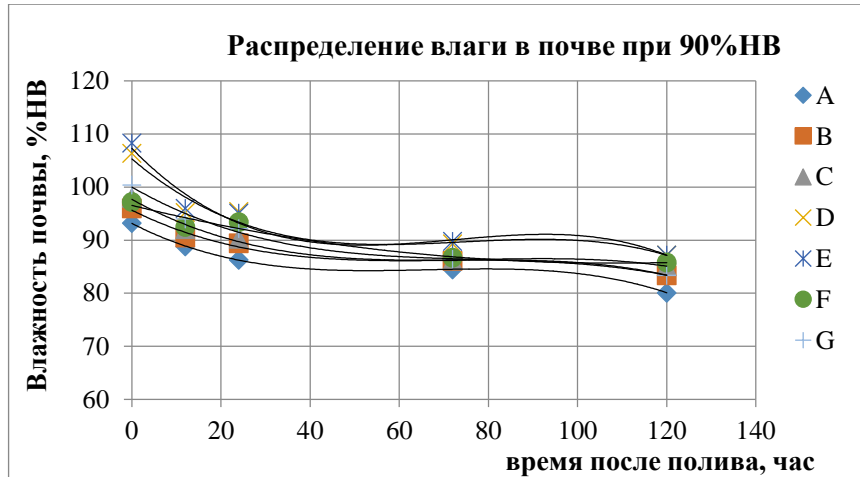
а – поливная норма 90% НВ; б – поливная норма 80% НВ;
в – поливная норма 70% НВ

Рисунок Г.2 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0,1-0,2 м при ВПО



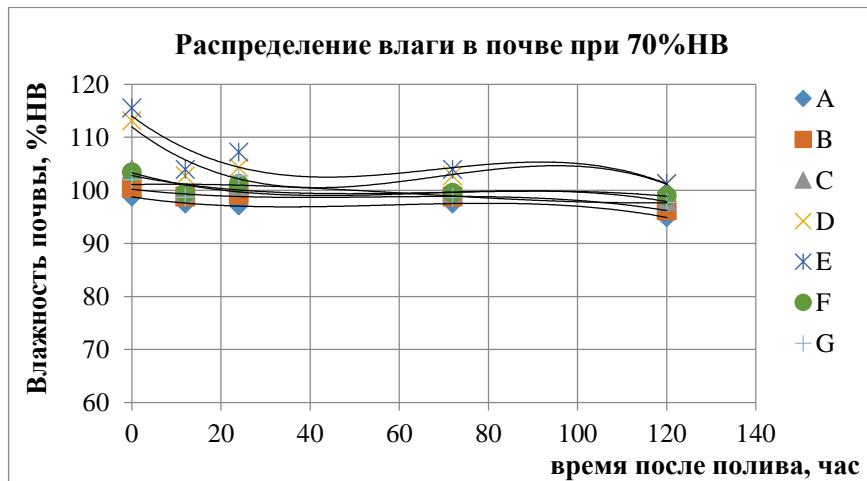
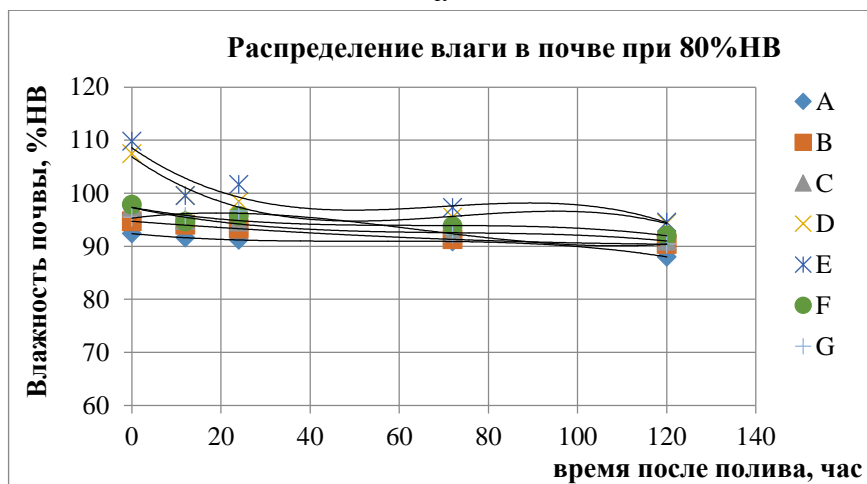
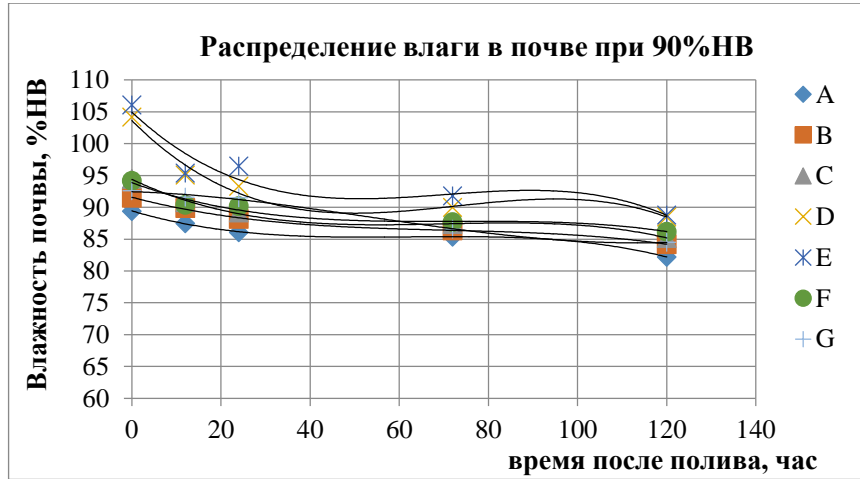
а – поливная норма 90% НВ; б – поливная норма 80% НВ;
в – поливная норма 70% НВ

Рисунок Г.3 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0,2-0,3 м при ВПО



а – поливная норма 90% НВ; б – поливная норма 80% НВ;
в – поливная норма 70% НВ

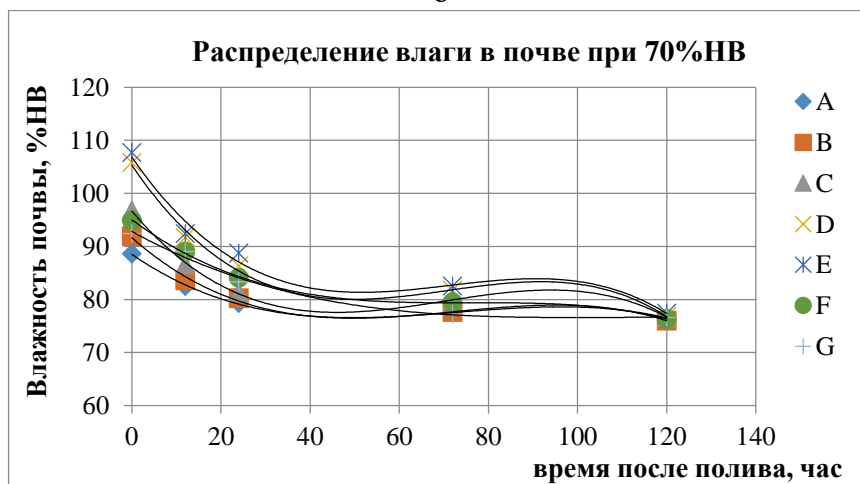
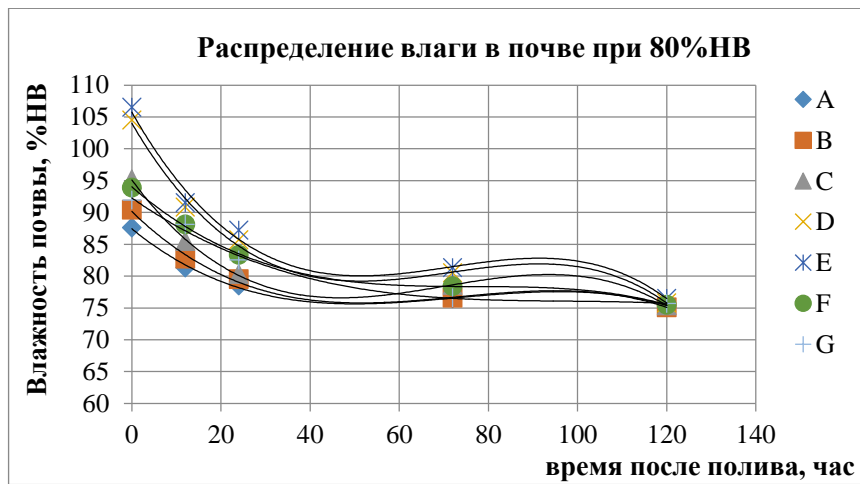
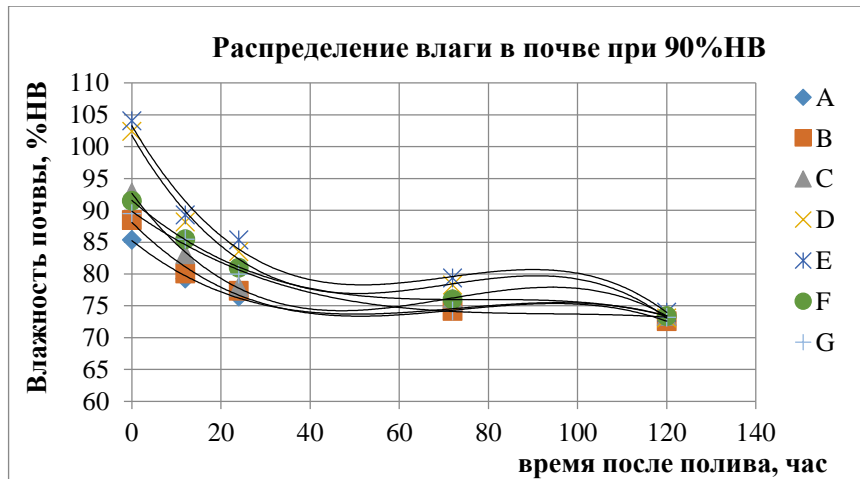
Рисунок Г.4 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0,3-0,4 м при ВПО



а – поливная норма 90% НВ; б – поливная норма 80% НВ;
в – поливная норма 70% НВ

Рисунок Г.5 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0,4-0,5 м при ВПО

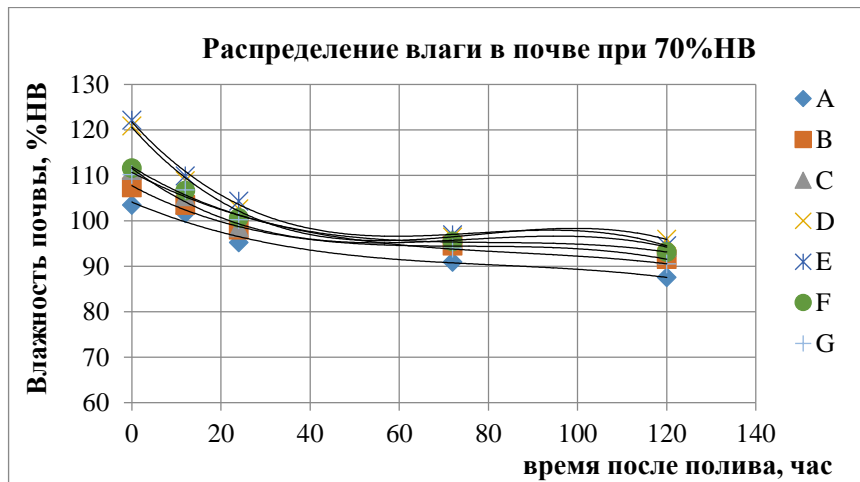
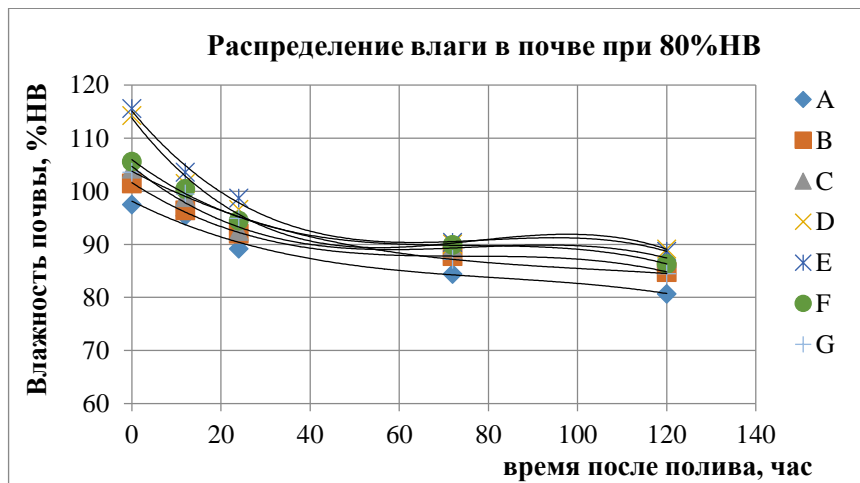
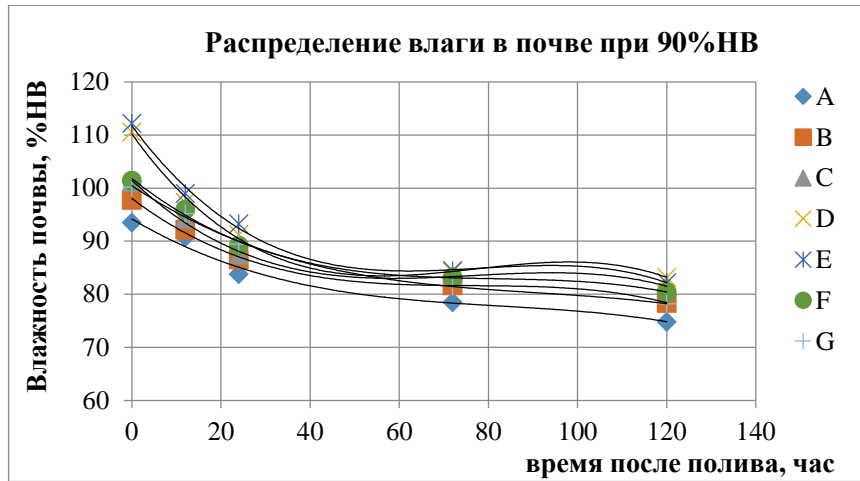
Распределение влажности при ВПО (третья опыта)



а – поливная норма 90% НВ; б – поливная норма 80% НВ;

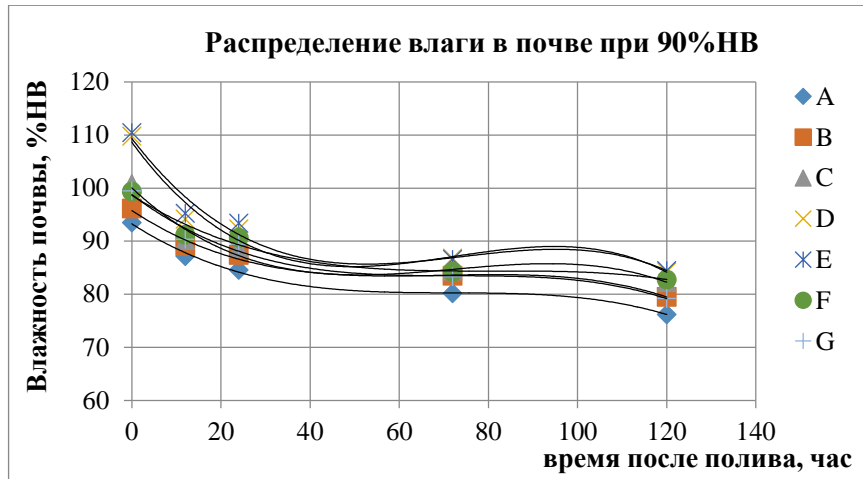
в – поливная норма 70% НВ

Рисунок Г.6 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0-0,1 м при ВПО

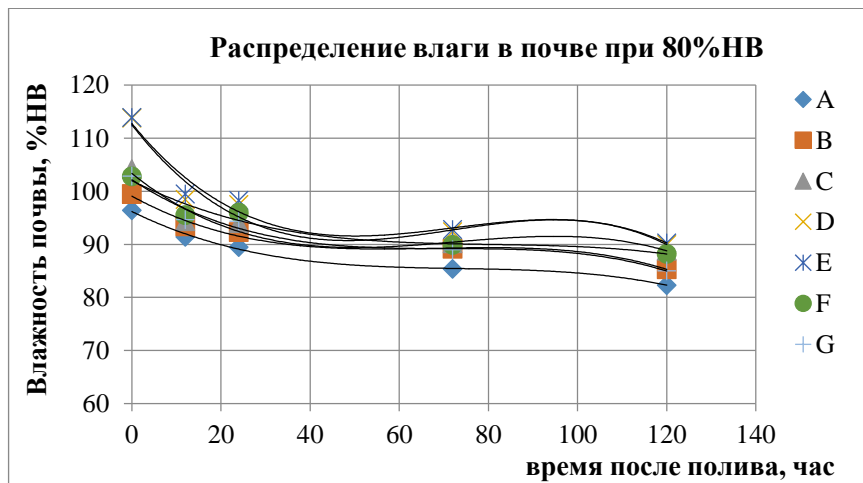


а – поливная норма 90% НВ; б – поливная норма 80% НВ;
в – поливная норма 70% НВ

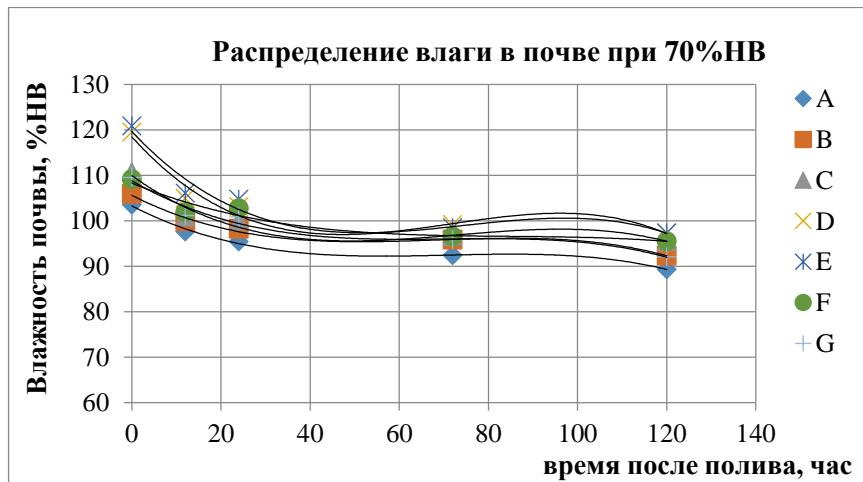
Рисунок Г.7 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0,1-0,2 м при ВПО



а



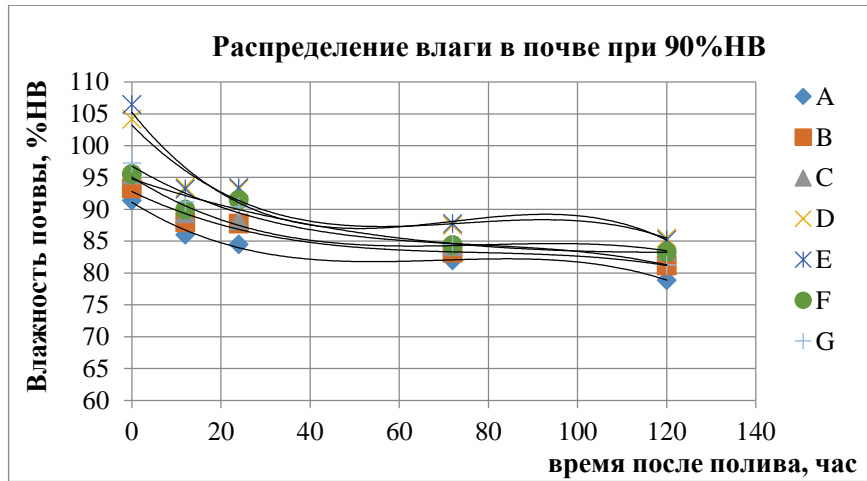
б



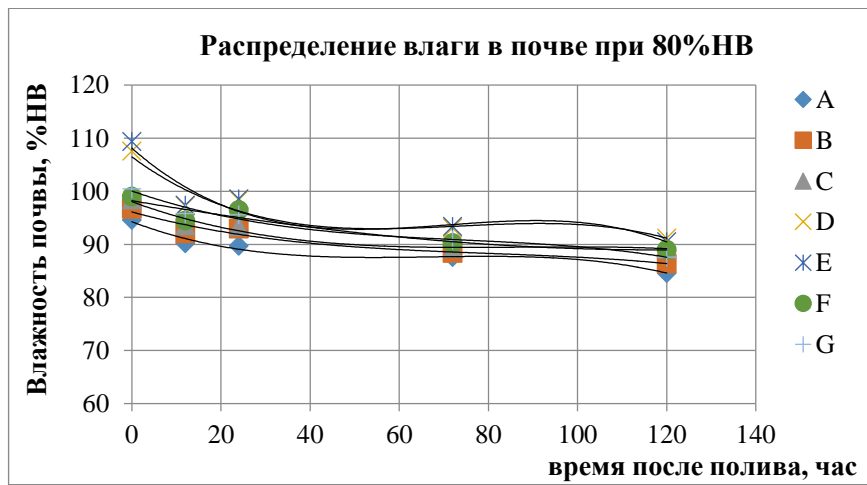
в

а – поливная норма 90% НВ; б – поливная норма 80% НВ;
в – поливная норма 70% НВ

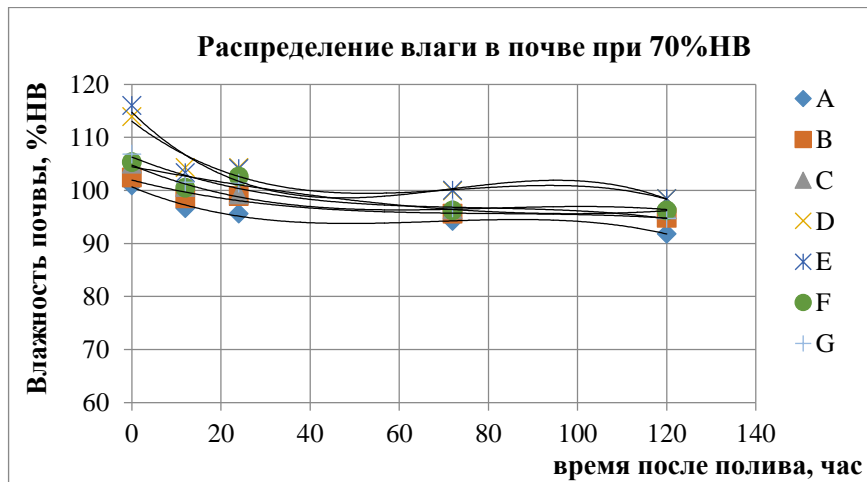
Рисунок Г.8 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0,2-0,3 м при ВПО



а



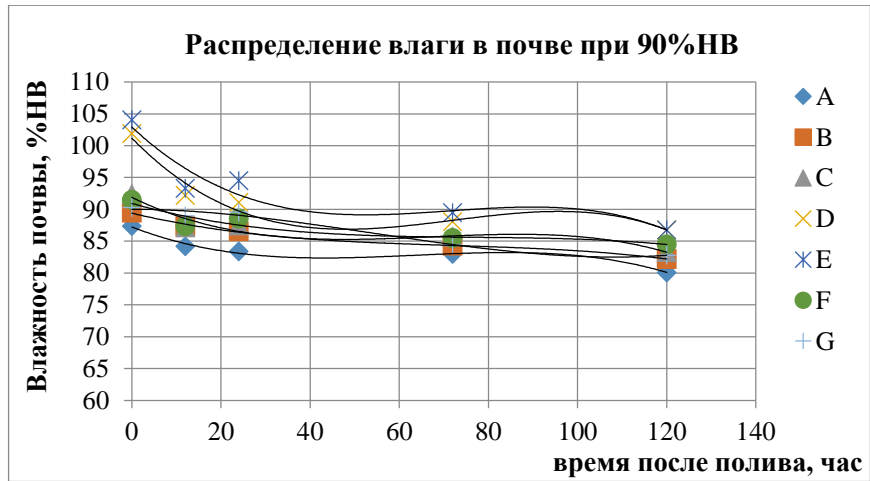
б



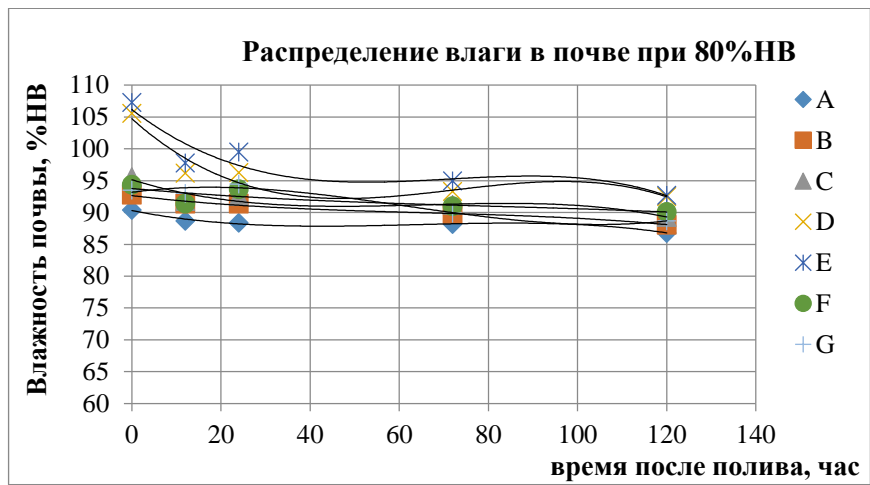
в

а – поливная норма 90% НВ; б – поливная норма 80% НВ;
в – поливная норма 70% НВ

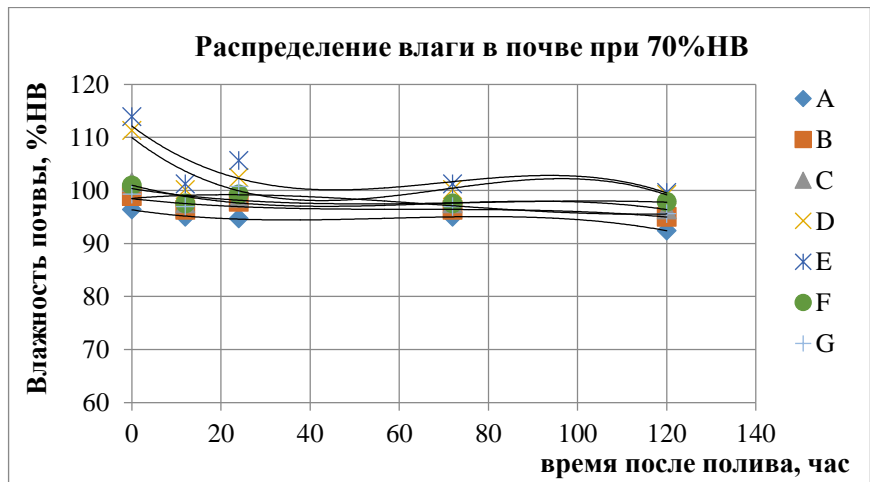
Рисунок Г.9 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0,3-0,4 м при ВПО



а



б



в

а – поливная норма 90% НВ; б – поливная норма 80% НВ;
в – поливная норма 70% НВ

Рисунок Г.10 – Распределение влажности на глубине почвенного профиля 0,4-0,5 м при ВПО

Приложение Д

Графики режима орошения в период вегетации сои за 2022г.



Рисунок Д.1 – График режима орошения сои при КО и ВПО для 70 % НВ

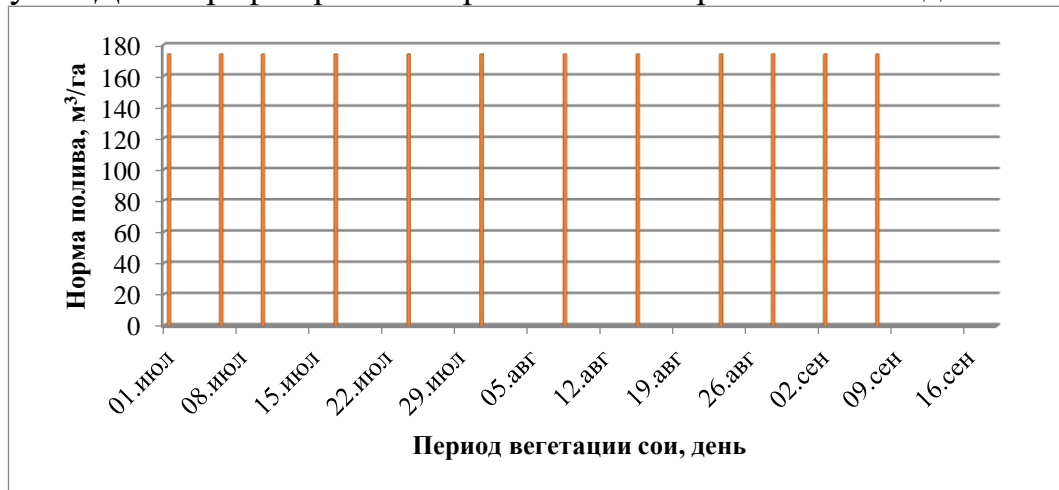


Рисунок Д.2 – График режима орошения сои при КО и ВПО для 80 % НВ



Рисунок Д.3 – График режима орошения сои при КО и ВПО для 90 % НВ