

*На правах рукописи*



**Домашенко Юлия Евгеньевна**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
ОРОСИТЕЛЬНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ  
ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД**

Специальность: 06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
доктора технических наук

Новочеркасск – 2018

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

- Научный консультант:** **Васильев Сергей Михайлович**  
доктор технических наук, доцент
- Официальные оппоненты:** **Гостищев Дмитрий Петрович**  
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры почвоведения, экологии и природопользования ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству»
- Кузнецов Евгений Владимирович**  
доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»
- Новиков Андрей Евгеньевич**  
доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник отдела оросительных мелиораций ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия»
- Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова» (ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ»)

Защита диссертации состоится «31» мая 2019 г. в 10.00 часов на заседании объединённого диссертационного совета Д 999.214.02 при ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» и ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» по адресу: 346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, 111, НИМИ Донской ГАУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Новочеркасского инженерно-мелиоративного института им. А. К. Кортунова – филиала ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет».

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г. и размещён в сети Интернет на сайте ВАК Министерства образования и науки РФ <http://vak.ed.gov.ru/> и на сайте ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» <http://www.dongau.ru>

Учёный секретарь  
диссертационного совета,  
д-р с.-х. наук, доцент



И. В. Гурина

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследований.** Реализация мероприятий по обеспечению продовольственной безопасности страны существенно сдерживается острым дефицитом на Европейской территории России доступных водных ресурсов. Несмотря на то, что оросительные мелиорации являются наиболее водоёмкой отраслью сельского хозяйства, только они являются гарантом получения высоких урожаев экологически безопасной сельскохозяйственной продукции на фоне периодических засух аридных территорий. Другим, не менее серьёзным существенным фактором техногенного характера является крайне неблагоприятная экологическая обстановка не только в сфере водопользования, но и на самих орошаемых полях, приобретающая характер техногенной катастрофы. Например, работа дренажа в контуре влияния оросительных систем превращает весь комплекс сооружений в своеобразный «завод» по производству огромного количества загрязнителей, которые поступают в поверхностные и подземные водные объекты. Сама же природная вода, забираемая на полив, содержит в себе не свойственные ей элементы, поступающие в неё со сточными водами городов, населённых пунктов, промышленных предприятий, сельскохозяйственных полей и животноводческих комплексов.

Существующие оросительные системы в настоящее время не оборудованы сооружениями и устройствами по водоподготовке, а модернизация в этом направлении ограничивается высокой капиталоемкостью не только в масштабах всего мелиоративного сектора АПК, но и в рамках отдельно взятой системы.

В то же время Водный кодекс Российской Федерации напрямую запрещает сброс неочищенных, недостаточно очищенных сточных вод в водные объекты. Таким образом, функционирование оросительных систем и систем дренажа, не оборудованных очистными сооружениями и устройствами, оказалось вне правового поля.

Исследователи и учёные-мелиораторы решению поставленных проблем посвятили целый ряд работ. Широко известны научному сообществу работы И. П. Айдарова, С. Я. Бездниной, Е. П. Борового, Р. Ф. Гарипова, А. И. Голованова, Д. П. Гостищева, М. С. Григорова, Т. В. Ерёмина, В. А. Ковда, А. В. Кирейчевой, Е. А. Кропиной, Е. В. Кузнецова, А. Е. Новикова, А. С. Овчинникова, Н. М. Решетниковой, Ю. С. Рогозиной, С. Я. Семененко, Г. А. Сенчукова, А. Е. Хаджиди, Т. Ю. Хашировой, Т. Н. Хохленко, А. В. Шуравлина, В. Н. Щедрина, Э. Е. Элих, О. Е. Ясониди и др. Из зарубежных

авторов следует выделить работы А. Capraa, A.F.M. Meuleman, U. Stottmeiter, J. T. Verhoeven, А. Н. Аникевич, А. А. Волчек, J. T. A. Verhoeven, A. F. M. Meuleman, А. N. Kavgarenja, W. Tanaś и др.

Высоко оценивая результаты исследований предыдущих авторов, следует отметить, что за последние десятилетия наблюдается существенное отставание отечественных разработок как в научном, теоретическом плане, так и в опыте практической апробации. Эпизодические внедрения зарубежных технологий подготовки природных и сточных вод на оросительных системах компилированы без соответствующей адаптации с местом очистки коммунально-бытовых и промышленных стоков. Не учитывается динамика и специфика загрязнения, свойственная отечественному сельскохозяйственному производству на орошаемых землях.

Учитывая вышеизложенное, повышение экологической безопасности оросительных мелиораций при использовании природных и сточных вод является весьма актуальной проблемой, решение которой носит первостепенный стратегический характер.

Представленная работа выполнена в рамках тематических планов ФГБНУ «РосНИИПМ» по выполнению государственного задания за 2012–2018 гг., государственных контрактов ГК № 1-НИОКР/1-4-2012, ГК № 1726а/20-ГК/2014, ГК 189/20-ГК, НИР 120-П, а также по контрактам с с.-х. товаропроизводителями на выполнение проектной документации (43 проекта).

**Научная гипотеза.** Снижение дефицита водных ресурсов для орошаемого земледелия возможно за счёт повышения экологической безопасности оросительных мелиораций в условиях, когда загрязнённые природные и сточные воды становятся гарантированным и постоянно растущим потенциальным источником поливной воды.

**Степень разработанности темы исследований.** Сохранение природно-ресурсного потенциала и повышение экологической безопасности орошаемого поля в мелиоративной науке всегда занимало особую, исключительно важную позицию. Ключевые научно-теоретические и практические разработки, на основании которых современные авторы ведут построение своих научных идей в данном направлении, были заложены и окончательно сформулированы на рубеже прошлого и начала нынешнего столетий. Руководствуясь позицией актуального развития науки, в частности развитием IT-технологий, изменением состава традиционных загрязнителей поливной во-

ды, следует отметить, что в настоящее время сформирован лишь начальный этап создания теоретических, методологических, концептуальных основ и подходов в практике подготовки природных и сточных вод для орошения на основе экологических принципов.

Обеспечение продовольственной безопасности страны в условиях дефицита водных ресурсов и ужесточения экологических норм в области функционирования производственных объектов требует принципиально новых подходов в конструктивном, техническом, технологическом и теоретическом обосновании подготовки воды для полива с учётом допустимой экологической нагрузки на мелиоративные системы. Разрешение проблемной ситуации в данном направлении возможно при определении перспективных технологических решений по подготовке природных и сточных вод для орошения с учётом принципа наилучших доступных технологий, который отсутствует в работах предыдущих авторов. Восстановление животноводческого комплекса страны, образование животноводческих стоков и их последующая утилизация обеспечены отечественными научными разработками, которые апробировались 20–30 лет назад. Сейчас в этом направлении эпизодически используются зарубежные технологии и научно-методологические подходы, оторванные от внутрихозяйственной обстановки в стране, регионе и на сельскохозяйственном предприятии.

**Цель исследований.** Повысить экологическую безопасность оросительных мелиораций при использовании природных и сточных вод за счёт разработки теоретических, концептуальных основ и технологических решений по подготовке данного ресурса к использованию в орошаемом земледелии.

**Задачи исследований.**

1. Провести критический анализ использования природных и сточных вод для орошения сельскохозяйственных угодий с учётом отечественного и зарубежного опыта.
2. Провести обоснование качественных показателей природных и сточных вод при орошении сельскохозяйственных угодий.
3. Разработать основные концептуальные подходы в практике подготовки природных и сточных вод для целей орошения на основе экологических принципов.
4. Разработать теоретические основы производительности технологий подготовки природных и сточных вод с учётом динамики сезонной нагрузки и принципов наилучших доступных технологий.

5. Обосновать перспективные технологические решения по подготовке природной воды для орошения и осуществить дисперсионный анализ влияния подготовленной воды на урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от природно-климатических условий.

6. Усовершенствовать технологию подготовки дренажных и сбросных вод для орошения сельскохозяйственных культур за счёт использования экологически безопасных фильтрующих элементов на основе отходов производств.

7. Разработать ресурсосберегающие способы подготовки животноводческих стоков для орошения с применением отходов производства и алюмосодержащих коагулянтов и дать оценку их влияния на почвенную биоту, физико-химические показатели почвы и химический состав дренажных вод.

8. Провести экономическое обоснование эффективности разработанных и внедрённых технологий и технических решений по подготовке поливной воды.

9. Разработать практические рекомендации производству.

**Объект исследований.** Природные и сточные воды, оросительные системы, орошаемый агроландшафт.

**Предмет исследований.** Технологии, методы и способы подготовки природных и сточных вод для полива, их влияние на экологическую безопасность орошаемого агроландшафта.

**Научная новизна.**

1. Предложены концептуальные подходы к практике подготовки природных и сточных вод для целей орошения на основе экологических принципов безопасности поливов.

2. Разработаны теоретические основы производительности технологий подготовки природных и сточных вод с учётом динамики сезонной нагрузки и принципов наилучших доступных технологий.

3. Выработаны перспективные технологические решения подготовки природной воды для орошения чернозёмов.

4. Обоснованы усовершенствованные технологические решения для повышения эффективности подготовки дренажных и сбросных вод для полива.

5. Разработаны ресурсосберегающие способы подготовки животноводческих стоков для полива и технологические решения по их осуществлению.

6. Получены результаты оценки влияния стоков на почвенную биоту, физико-химические показатели почв и химический состав дренажных вод.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическая

значимость работы заключается в том, что впервые предложена теоретическая модель оценки вероятного изменения сезонной нагрузки на сооружения и устройства по подготовке сточных вод, позволяющая в оперативном режиме провести сценарный подбор сооружений, наиболее приемлемых для сложившихся производственных условий данной оросительной системы. Предложенные основополагающие концептуальные подходы в практике подготовки природных и сточных вод для орошения на основе экологических принципов позволяют теоретически обосновать перспективные направления создания и усовершенствования технологий водоподготовки, используемых на оросительных системах, а разработанная эколометрическая оценка экологической нагрузки и использование индекса экологической безопасности – предварительно оценить воздействие оросительной системы на окружающую среду в зависимости от используемой технологии водоподготовки.

**Практическая значимость** характеризуется тем, что полученные теоретические результаты открывают новые перспективные направления совершенствования сооружений и устройств подготовки природных и сточных вод в едином комплексе элементов оросительной системы с учётом выполнения обоснованных условий экологической безопасности оросительных мелиораций в аридной зоне Европейской территории РФ, а именно:

1. Научно обоснованы основные концептуальные положения и подходы к практике подготовки природных и сточных вод для целей орошения на основе экологических принципов. Практическое применение разработки реализовано математическими моделями: экологической безопасности оросительных систем, использующих подготовленную воду на основе введённого индекса экологической безопасности; эколометрической оценки экологической нагрузки оросительных систем на водоисточнике; гидрогеологической модели влияния поливной воды на дренажные воды в контуре орошаемого участка. Предложенные модели прошли широкую производственную апробацию.

2. Выявлены перспективы технологического развития решений по подготовке природной воды в условиях Ростовской области. В данном ключевом аспекте разработана экологически безопасная технология очистки природной воды для орошения, в рамках которой проведены исследования влияния фракций взвешенных веществ природных вод на допустимые скорости фильтрации через новое конструктивное решение фильтрующего элемента, и проведён дисперсионный анализ влияния подготовленной природной воды на урожайность в зависимости от используемого способа орошения.

3. Разработана, апробирована и доказана высокая эффективность технологии подготовки дренажных и сточных вод, позволяющая рассматривать данные объёмы непроизводительно теряемых водных ресурсов в качестве гарантированного источника воды для полива сельскохозяйственных культур, который исключается из числа потенциально опасных источников загрязнения поверхностных водных объектов.

4. Предложенные технологические решения по подготовке животноводческих стоков свиноводческих хозяйств с применением отходов производства и алюмосодержащих коагулянтов, а также технологические решения по подготовке стоков хозяйств по выращиванию КРС позволяют отказаться от использования зарубежных аналогов, активно внедряемых в практику ведения данного вида деятельности, и обеспечить эффективное решение проблемы с учётом принципов наилучших доступных отечественных технологий.

**Методология и методы исследований.** Проведение теоретических и экспериментальных исследований осуществлялось с последующей экономической оценкой результатов, внедрённых в сельскохозяйственное производство.

Теоретические исследования выполнялись на основе известных теоретических положений, законов и методов. Основная часть задач решалась аналитическими методами, математическим моделированием изучаемых процессов при помощи теории планирования эксперимента, теории вероятности, аппарата математической статистики.

Экспериментальные исследования осуществлялись на основании требований государственных стандартов, сводов правил, общепринятых методов, разработанных РАСХН, РАН, РосНИИПМ, ВНИИГиМ, ВНИИОЗ, НГМА, ДонГАУ. Верификация математических моделей осуществлялась на основании полевых и лабораторных экспериментов. Обработка экспериментальных данных проводилась в эколого-аналитической лабораторией ФГБНУ «РосНИИПМ», аккредитованной под № RA.RU.21HE16 от 15.05.18 г., с использованием лицензионного программного обеспечения MuthCAD, Mathlab, Statistic 6.0, Microsoft Excel, SAS.

**Положения, выносимые на защиту:**

- факторы, влияющие на эффективность процессов водоподготовки и экологическую безопасность оросительных мелиораций при использовании природных и сточных вод;

- качественные показатели природных и сточных вод при орошении сельскохозяйственных угодий дождеванием и капельным поливом;

- результаты оценки экологической безопасности оросительных систем при использовании подготовленной воды на основе индекса экологической безопасности;

- теоретическая модель изменения сезонной нагрузки на сооружения и устройства подготовки природных и сточных вод при реализации технологических приёмов;

- результаты оценки экологической нагрузки оросительной системы на водоисточники;

- решения по экологически безопасной технологии очистки природной воды для орошения;

- влияние адгезии взвесей природных вод на допустимые скорости фильтрования;

- уравнение дисперсионного анализа влияния орошения подготовленной природной водой на урожайность в зависимости от способа орошения и природно-климатических условий;

- усовершенствованная технология повторного использования дренажных и сбросных вод на оросительных системах и результаты оценки эффективности её применения;

- новые технологические решения по подготовке животноводческих стоков свиноводческих хозяйств на основе использования отходов производства и алюмосодержащих коагулянтов;

- усовершенствование технологического решения по подготовке животноводческих стоков КРС;

- результаты оценки влияния животноводческих стоков на биоту, почву и дренажные воды.

**Степень достоверности результатов исследований** подтверждается использованием современных общепринятых апробированных актуальных методик проведения экспериментов, соответствие экспериментальных данных теоретическим выводам, высокой точностью расчётов при имитационном моделировании с использованием программных средств MS Excel, Mathcad, широкой апробацией получаемых результатов на орошаемых участках ведущих сельхозтоваропроизводителей Ростовской области.

**Апробация результатов исследований.** Основные теоретические положения и практические результаты докладывались и обсуждались на: Научной конференции «Современное состояние и перспективы развития мелиоративного, лесомелиоративного и водохозяйственного комплексов Юга России»

(Шумаковские чтения совместно с заседанием секции РАСХН, Новочеркасск, 2012 г.); международных научных конференциях «Пути повышения эффективности орошаемого земледелия (г. Новочеркасск, 2012–2018 гг.); «Инновационные пути развития АПК: проблемы и перспективы» (п. Персиановский, 2013 г.); «Инновационные технологии и экологическая безопасность в мелиорации» (г. Коломна, 2015 г.); «Научные основы природообустройства в России: проблемы, современное состояние, шаги в будущее» (г. Волгоград, 2015 г.); «Инновации в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур» (п. Персиановский, 2016 г.); «Окружающая среда и человек. Современные проблемы генетики, селекции и биотехнологии» (г. Ростов-на-Дону, 2016 г.); «Эколого-мелиоративные аспекты рационального природопользования» (г. Волгоград, 2017 г.). Разработка «Технологические решения по подготовке дренажных вод в качестве альтернативного источника орошения сельскохозяйственных культур» была представлена на Российской агропромышленной неделе «Золотая осень» (г. Москва, 2016 г. Серебряная медаль).

**Реализация результатов работы.** По материалам исследований разработан ряд практических рекомендаций для мелиоративного сектора АПК и сельхозтоваропроизводителей. Результаты исследований внедрены в проектную документацию ФГБНУ «РосНИИПМ» в составе проектов нового строительства, реконструкции и технического перевооружения открытых и закрытых оросительных систем с забором воды из крупных магистральных каналов и использующих ресурсы местного стока, использованы ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз», ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз» и филиалами учреждений в практике эксплуатации межхозяйственных и внутрихозяйственных оросительных систем Багаевского, Весёловского, Куйбышевского, Семикаракорского, Неклиновского районов Ростовской области на общей совокупной площади более 30 тыс. га. Полученные результаты научных теоретических и практических исследований в течение ряда лет внедрялись в учебный процесс НИМИ – филиал ФГБОУ ВО ДонГАУ, ФГБОУ ВО ВолГАУ, включены в курсы лекций, практических и лабораторных занятий «Эксплуатация мелиоративных систем», «Эксплуатация и мониторинг систем и сооружений», «Эксплуатация природоохранных систем и сооружений», «Организация и технология работ по природообустройству и водопользованию», «Мелиорация земель», «Мелиорация урбанизированных территорий», «Проектирование мелиоративных систем» и использованы при разработке НИР ФГБНУ «РосНИИПМ», ГУ Волгоградский филиал ВНИИГиМ в 2012–2018 гг.

**Публикации результатов исследований.** Научные результаты проводимых в рамках диссертационной работы исследований опубликованы в 118 работах автора, включая две публикации в наукометрических системах Scopus и Web of Science; в 23 работах в рецензированных изданиях, рекомендованных ВАК РФ; в 11 патентах на изобретения; в 11 свидетельствах на программы для ЭВМ; в 4 монографиях и учебном пособии для аспирантов по направлению подготовки 06.01.02 «Мелиорация, рекультивация и охрана земель».

**Структура и объём работы.** Диссертационная работа изложена на 366 страницах машинного текста, включает 42 рисунка, 54 таблицы. Содержит приложение и акты внедрения. Список литературы составляет 298 наименований, в т.ч. 30 публикаций зарубежных авторов. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, предложений производству, выводов и заключения.

**Личный вклад в решение проблемы** заключается в обосновании актуальности существующей проблемы, постановке рабочей гипотезы, цели и задач исследований. Решение поставленных задач, их теоретическая и практическая реализация с получением научной новизны осуществлены автором самостоятельно.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во «Введении»** обоснована актуальность, сформулированы цель и задачи исследований. Отражена научная новизна и практическая значимость. Приводятся научные результаты, выносимые на защиту.

**В первой главе** «Анализ использования природных и сточных вод для орошения сельскохозяйственных угодий» определены эколого-мелиоративные аспекты использования природных вод для орошения; дана ретроспектива использования сточных вод в практике оросительных мелиораций; проанализирована практика применения дренажных и сбросных вод для орошения. Этой проблеме посвящены работы В. Н. Щедрина, Д. П. Гостищева, С. М. Васильева, Е. В. Кузнецова, С. Я. Семененко, А. В. Шуравилина, О. Е. Ясониди, В. Т. Додолиной, Г. А. Сенчукова, В. М. Новикова, Е. А. Кропиной, И. П. Айдарова, М. Г. Журбы, С. Я. Бездниной, А. Н. Костякова, О. А. Алекина и др., которыми установлено, что одним из направлений снижения дефицита водных ресурсов является внедрение в практику орошения водосберегающих технологий полива, таких, как капельное орошение и дождевание, которые в свою очередь очень чувствительны к качеству оросительной воды. В связи с этим дополнительно к традиционным санитарно-

гигиеническим и химическим показателям контроля оросительной воды потребовалось контролировать такие элементы, как взвешенные вещества, индекс стабильности, биологические примеси, которые в свою очередь способствуют формированию крупных агломератов, осаждающихся в трубопроводах и вызывающих закупорку водовыпусков.

**Вторая глава** диссертации «Обоснование качественных показателей природных и сточных вод при орошении сельскохозяйственных угодий» содержит анализ показателей качества природной воды в оросительных мелиорациях. В ней рассмотрен частный случай качественных показателей поливной воды из поверхностных водоисточников, используемых для орошения в условиях Ростовской области; определены требования, предъявляемые к сточным водам, используемым для орошения сельскохозяйственных культур.

Согласно классификации, С. Я. Бездниной, воды Багаевского канала относятся к I классу (пригодная для орошения). Согласно классификации акад. А. Н. Костякова, основанной на значении минерализации, определяем, что рассматриваемые категории вод могут иметь ограниченное применение в оросительных мелиорациях. Содержание взвешенных веществ в Багаевском канале составляет более  $50 \text{ мг/дм}^3$ , это указывает на то, что при отсутствии предварительной подготовки воды могут возникнуть риски засорения водовыпусков на дождевальных агрегатах и капельницах.

Планирование использования сточных вод для орошения должно основываться на ряде критериев (рисунок 1): мелиоративные критерии, регламентируют требования для мелиоративного состояния орошаемого участка; агрохимические критерии регулируют динамику сокращения плодородия и снижения качества почв орошаемого участка; агроэкономические критерии позволяют не сокращать урожайность выращиваемых культур; природоохранные критерии регулируют соблюдение требований в области охраны окружающей среды, в частности грунтовых и поверхностных вод; санитарные критерии обеспечивают безопасность трудовых условий сельскохозяйственных работников, которые участвуют в обработке орошаемого участка.

Определены типовые участки проведения исследований по разработке технологических решений подготовки дренажных и сбросных вод. Выявлены характерные для территории слои водоносного комплекса: 1,0–12,5 м; 1,6–8,5 м; 5,0–14,0 м. Минерализация грунтовых вод изменяется от 1,9 до  $9,6 \text{ г/дм}^3$ , по химическому составу воды сульфатные пёстроного катионного состава. Коэффициент фильтрации подстилающих грунтов колеблется от 0,05 до 1,5 м/сут.

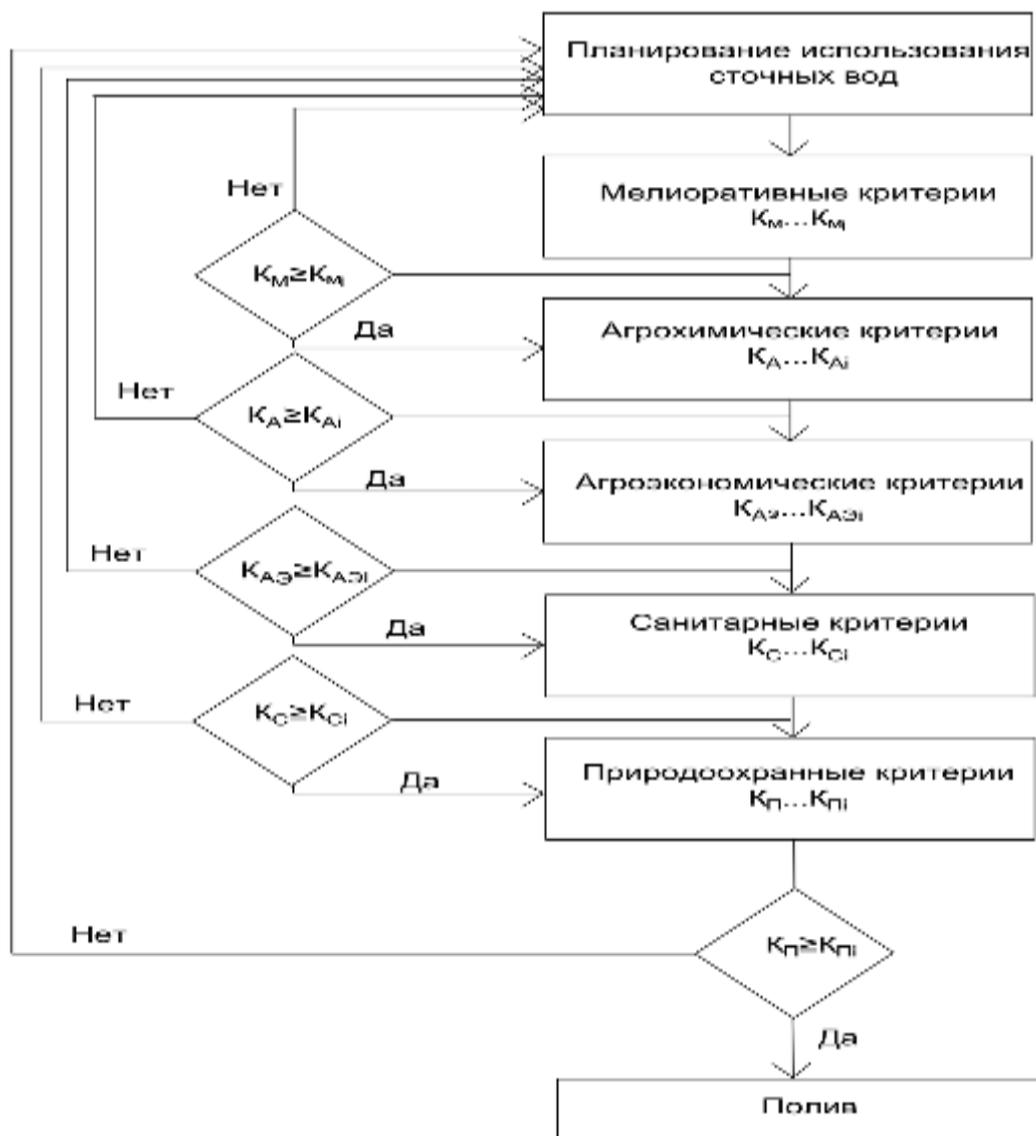


Рисунок 1 – Критерии планирования при использовании сточных вод

**В третьей главе** «Основные концептуальные подходы в практике подготовки природных и сточных вод для целей орошения на основе экологических принципов» приводятся результаты теоретических исследований. Для экологически безопасного функционирования оросительной системы с применением природных и сточных вод выработаны концептуальные подходы, которые позволят оценить степень экологической нагрузки сточных вод на агроландшафты и разработать динамические модели взаимодействия подземных вод с оросительной системой, имеющей дренажную сеть и накопитель сточных вод. Сформулированы теоретические подходы изменения сезонной нагрузки при реализации технологических процессов, что позволит при использовании подготовленных природных и сточных вод для орошения

учесть природно-климатические условия и изменчивость лимитов водозабора как в течение поливного сезона, так и в разрезе многолетней эксплуатации орошаемого участка в условиях дефицита водных ресурсов.

Концепция использования природных и сточных вод формируется на принципах создания экологически безопасных оросительных мелиораций с целью формирования эффективной и ресурсосберегающей оросительной системы (рисунок 2). Для решения поставленной цели необходимо решить ряд задач, которые основаны на разработке экологически безопасных и экосберегающих технологических решений по подготовке природных и сточных вод с помощью механизмов с использованием технических и процессных инноваций.

Подходы к оценке экологической безопасности на основе предельно допустимых концентраций (ПДК) при эксплуатации оросительных систем ограничены по спектру отдельных элементов, входящих в систему. Метод с использованием индекса экологической безопасности оросительной системы (ИЭБОС)  $K_{OC}$  позволяет оценить не только потенциальную опасность предварительно подготовленной поливной воды, но и характеризует нагрузку на агроэкосистему на всех этапах реализуемой технологии.

В целом ИЭБОС можно представить совокупным вкладом трёх составляющих (этапов) и соответствующих им коэффициентов экологической безопасности (КЭБ) стадий жизненного цикла оросительной системы:

$$K_{OC} = K_{забор} + K_{технология} + K_{мат}, \quad (1)$$

где  $K_{забор}$  – коэффициент экологической безопасности при заборе воды из водоисточника и его потенциальной экологической опасности;

$K_{технология}$  – КЭБ технологии подготовки поливной воды;

$K_{мат}$  – КЭБ поливной воды с точки зрения экологической безопасности при орошении и воздействии его на экосистему орошаемого участка.

По каждому коэффициенту  $K_{забор}$ ,  $K_{технология}$ ,  $K_{мат}$  создаётся отдельный расчётный блок. В связи с большим разнообразием технологических решений подготовки поливной воды и возможности их реализации для расчёта коэффициентов безопасности становится возможным применение подходов, основанных на использовании системы весовых коэффициентов.

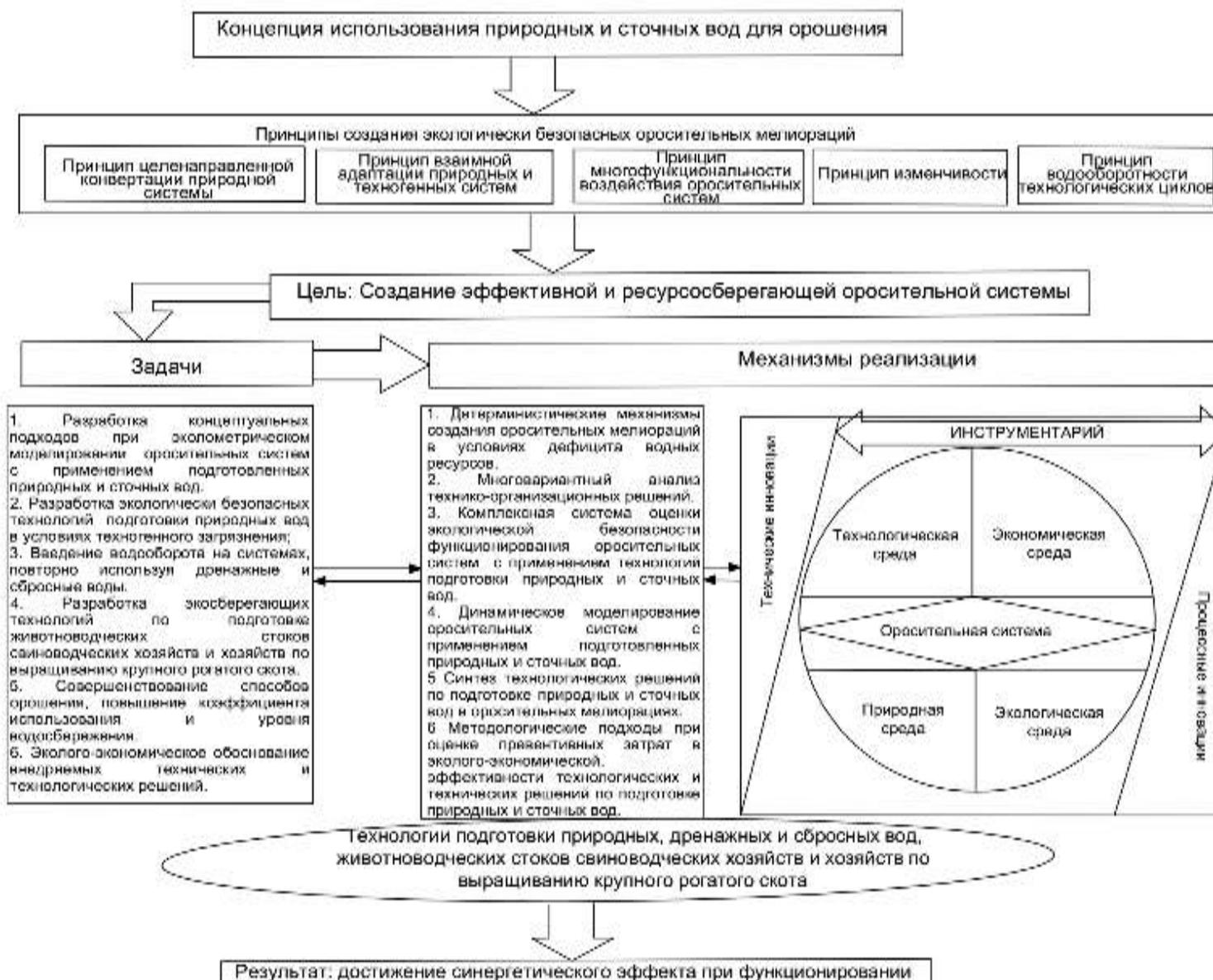


Рисунок 2 – Концептуальные подходы при использовании природных и сточных вод для целей орошения на основе экологических принципов

Предложенный подход позволяет провести предварительную оценку влияния различных вариантов функционирования оросительной системы с блоком подготовки поливной воды и осуществить выбор потенциально экологически безопасных технологических решений с помощью индекса экологической безопасности.

В качестве основного составляющего элемента оросительной системы вводим понятие природно-мелиоративного модуля (ПММ), который представляет собой совокупность отдельных элементов, объединённых технологической последовательностью и функциональным назначением, направленных на формирование экологически устойчивой экосистемы орошаемого участка.

При моделировании экологической нагрузки оросительной системы используем методику моделирования факторных систем. Предположим, что существует некоторая функция  $y = f(v_i)$ , которая оценивает динамику оперативного показателя и факторов  $v_1, v_2, v_3 \dots v_n$ , формирующих значение функции  $y = f(v_i)$ . Функциональную взаимосвязь оперативного показателя с набором факторов искомого вида можно представить в виде:

$$y = f(v_1, v_2, \dots, v_n), \quad (2)$$

где  $y$  – оперативный показатель;

$v_1, v_2, v_3 \dots v_n$  – конгломерат функционально зависимых факторов.

Предполагаем, что зависимость между факторами линейная.

В этом случае выражение (2) имеет следующей вид:

$$EI = \sum_{i=1}^n v_i = v_1 + v_2 + \dots + v_n, \quad (3)$$

где  $EI$  (*Environmental Index*) – экологическая нагрузка на агроэкосистемы;

$\{v_1, v_2, v_3 \dots v_n\}$  – конечное множество негативных экологических воздействий в контуре влияния оросительной системы.

Полученная модель по оценке значения экологической нагрузки делает возможным оценить степень воздействия оросительной системы с блоком подготовки поливной воды. В этом случае максимальному значению экологической эффективности принимаемых решений будет соответствовать минимальное значение экологической нагрузки. Можно отметить, что при мно-



вероятных взаимодействий внутри этой системы. Сценарий 1. Незначительные концентрации загрязняющих веществ в сточных водах (поливная вода) полностью перерабатываются техноэкоценозом оросительной системы (устойчивая ситуация). Сценарий 2. Повышение концентрации загрязняющих веществ в сточных водах (поливной воде) в сочетании с внешними факторами может создать условия по неудовлетворительному функционированию системы в целом либо вызвать её гибель (микробиоты, растений и т.п.; бистабильная ситуация). Сценарий 3. Экологическая катастрофа, под которой понимается дезертификация земель, истощение источников воды.

В условиях, когда орошение осуществляется сточными водами, т.е. загрязняющие вещества поступают в оросительную систему непрерывно, процесс формирования очагов загрязнения можно описать уравнением:

$$\frac{dC}{dt} = f - bC, \quad (4)$$

где  $f$  – количество сточных вод с определённым качеством за единицу времени;

$b$  – коэффициент естественного усвоения поступающих загрязняющих веществ в техноэкоценоз оросительной системы.

Учитывая предельную величину стабильности состояний равновесия получает систему уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= f - u - \frac{uv}{\lambda + u}, \\ \frac{dv}{dt} &= v(u_0 - u) - cv^2. \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\lambda = A(d/b) > 0$  – коэффициент, описывающий степень переработки оросительной системой сточных вод, при этом чем больше эта величина, тем меньшее количество сточных вод может быть переработано техноэкоценозами внутри оросительной системы. Выведенный параметр в достаточном разрешении может описать степень восприимчивости оросительной системы к сточным водам с определённой концентрацией загрязняющих веществ.

Теоретическая модель изменения сезонной нагрузки при реализации технологических процессов обеспечивает вычисление необходимых расходов подготовленных природных и сточных вод в точке водовыдела, а также выдачу не-

обходимой информации для заблаговременной корректировки работы сооружений и устройств по водоподготовке. Модель основана на уравнении классического водного баланса. Предлагаемая модель изменения сезонной нагрузки при реализации технологических процессов является одним из вспомогательных блоков при оценке экологической нагрузки от природных и сточных вод оросительных систем. Приведённые в соответствующих главах модели используются для подсчёта тех или иных показателей. К ним также относятся модели по эколометрической оценке экологической нагрузки, гидрогеологическая модель влияния поливной воды, модель «сточные воды (поливная вода) – оросительная система». На весь комплекс и входящие в него модели получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2013619747; № 2013619748; № 2013619749; № 2014611401; № 2014619576; № 2015660543; № 2015660475; № 2015660543; № 2015660479; № 2018661566; № 2018661847.

**В четвёртой главе** «Перспективные технологические решения по подготовки природной воды для орошения в условиях Ростовской области» представлены: экологически безопасная технология очистки природной воды для орошения; результаты исследований влияния адгезии взвешенных веществ природных вод на допустимые скорости фильтрования через фильтрующий элемент из гранулированных отходов пластмассы; дисперсионный анализ влияния орошения подготовленной природной водой на урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от технологии орошения.

Фильтрующий элемент изготавливается с применением классического способа, изложенного в СН 525-80 «Инструкция по технологии приготовления полимербетонов и изделий из них», в форме полого цилиндра с размерами 0,5×0,5 м (Д×Н). Состав фильтрующего элемента включает в себя гранулированные отходы пластмасс, который используется в качестве заполнителя с размером 0,3–30 мм, также наполнитель – кварцевая мука с размером фракций менее 0,15 мм и вяжущее – полиэфирная смола марки ПН-609 (Патент РФ № 2595694).

Технология очистки реализуется в следующей последовательности (рисунок 4): природная вода из поверхностных источников (река, пруд, водохранилище, канал) забирается с помощью различных водозаборных устройств (в качестве примера представлена плавучая насосная станция). Далее она поступает на барабанные сетки, позволяющие задерживать плавающие и взвешенные примеси (зоо- и фитопланктон), после которых вода подаётся на

напорные фильтры с фильтрующими элементами из гранулированной пластмассы. После чего вода подаётся на орошение – капельное или дождевание.



Рисунок 4 – Технологическая схема очистки природных вод для целей орошения

Применение нового фильтрующего элемента позволяет очищать природные воды от нефтепродуктов и получать после очистки воду, по основным показателям соответствующую питьевой воде, и достигнуть эффективность очистки 99,8 %, также снизить стоимость очистки природной воды; снизить вес фильтрующего элемента; снизить техногенную нагрузку на окружающую среду от отходов пластмасс.

Осветление природных вод фильтрованием происходит в результате прилипания частиц примесей к поверхности загрузки и к ранее прилипшим частицам, главным образом, под действием молекулярных сил притяжения Ван-дер-Ваальса.

Для изучения сил прилипания взвешенных частиц применялось меданное значение сил отрыва, позволяющее выявить 50 % частиц, отрывающихся от поверхности фильтрующего элемента. Результаты исследований по влиянию происхождения взвешенных веществ на силу отрыва представлены на рисунке 5.

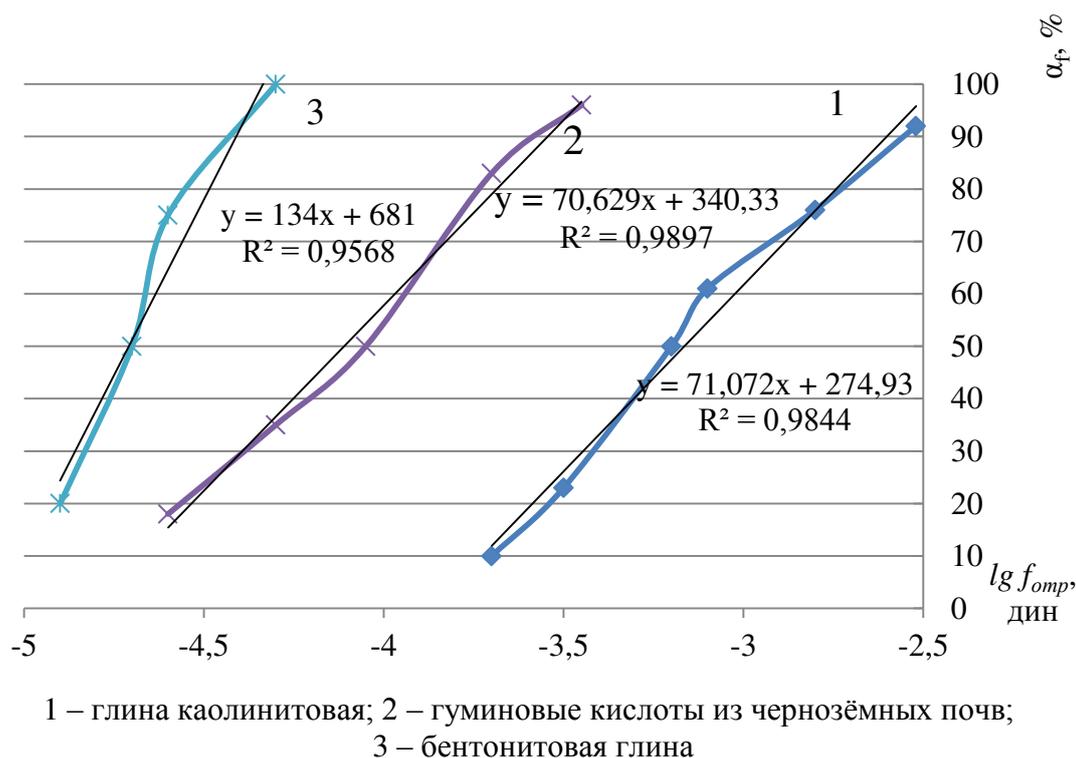


Рисунок 5 – Интегральные кривые распределения частиц взвешенных веществ размером 40–50 мк по силам отрыва от фильтрующего элемента

Как показали результаты исследований, максимальные силы прилипания наблюдаются у частиц каолининовых глин, а минимальные – у частиц бентонитовых глин и гуминовых кислот. Это можно объяснить различием в их происхождении, состоянии поверхности и формы. Максимальные скорости фильтрования, при которых частицы взвешенных веществ размером 40–50 мк будут задержаны на поверхности фильтрующего элемента, имеют следующие значения: для каолининовых глин – 11,2 м/ч, для бентонитовых глин – 0,3 м/ч, для гуминовых кислот из чернозёмных почв – 2,86 м/ч.

Поставим задачу по оценке влияния метеоусловий (фактор I) и орошения подготовленными природными водами (дождеванием и капельным орошением) (фактор II) на урожай картофеля в условиях Ростовской области (таблица 1).

Дисперсионный анализ влияния орошения подготовленной природной воды на урожайность картофеля показал, что полив (капельное орошение и дождевание) оказывает значительное влияние на урожайность, так как  $t_{\phi} = 0,84 < t_{0,05}^T = 0,8$ , при  $P = 0,55$ ; метеорологические условия также достоверно влияют на урожайность картофеля, при  $P = 0,55$ .

Таблица 1 – Двухфакторный дисперсионный анализ\*

Повторяемость опыта по фактору (II)	Урожайность, т/га		$\sum Y_i /$ $\sum Y_i^2$	$(\sum Y_i)^2$	Y
	Группы по фактору (I)				
	2011 год (сухой)	2016 год (влажный)			
Группа факторов (II) (полив подготовленной природной водой с помощью дождевальных машин)					
Первая	2,1/4,41	2,5/6,25	4,6/10,66		
Вторая	2,0/4,0	3,5/12,25	5,5/16,25		
Третья	3,5/12,25	4,0/16,0	7,5/28,25		
$\sum / \sum$	7,6/20,66	10,0/34,5	17,6/55,16	56,25	1,25
Группа факторов (II) (полив подготовленной природной водой с помощью капельного орошения)					
Первая	2,5/6,25	3,0/9,0	5,5/15,25		
Вторая	3,0/9,0	3,3/10,89	6,3/19,89		
Третья	3,5/12,25	4,0/16,0	7,5/28,25		
$\sum / \sum$	9,0/27,5	10,3/35,89	19,3/63,39	372,49	316,66
$\sum X_i /$	16,6/	20,3/	36,9/	$\sum (\sum Y_i)^2 = 686,44$ $\sum (\sum X_i)^2 = 687,65$ $\overline{M}_{общ} = 3,2$	
$\sum X_i^2$	48,21	70,39	118,6		
$(\sum X_i)^2$	275,56	412,09			
M	2,9	3,5			

\*Примечание.  $X_i$  – варианты опыта по фактору (I);  $Y_i$  – то же по фактору (II). В числителе урожай биомассы, в знаменателе – квадрат чисел этого показателя.

**В пятой главе** «Разработка ресурсосберегающих способов подготовки животноводческих стоков для орошения сельскохозяйственных культур» разработаны технологические решения по подготовки животноводческих стоков свиноводческих хозяйств с применением отходов производства, алюмосодержащих коагулянтов; технологические решения по подготовке животноводческих стоков хозяйств по выращиванию крупного рогатого скота; дана оценка влияния очищенных животноводческих стоков на почвенную биоту, на физико-химические показатели почвы и на химический состав дренажных вод.

В качестве альтернативного способа сокращения потребления реагентов, применяемых для разделения животноводческих стоков, предлагается повышать их активность, используя вихревой слой с подвижными ферромагнитными частицами, создаваемый вращающимся электромагнитным полем.

Материалом для исследований являлись реагенты, используемые при фракционировании животноводческих стоков. В частности, рассматриваются растворы шлама карбида кальция и фосфогипса. Для активации растворов в электромагнитном поле использована лабораторная установка (ФГБНУ «РосНИИПМ»), представляющая собой корпус с полым цилиндром из немагнитного материала, внутрь которого помещён индуктор, создающий электромагнитное поле. В качестве ферромагнитных элементов в экспериментах использовались цилиндрические стальные частицы диаметром 1,4 мм и длиной 25 мм.

Полученные результаты исследований позволили установить, что электромагнитное вихревое поле позволяет повысить активность раствора шлама карбида кальция в среднем на 62 %, тогда как оно же не оказывает никакого положительного воздействия на раствор фосфогипса. Эффективность отстаивания животноводческих стоков при фракционировании их раствором шлама карбида кальция после обработки его электромагнитным полем с индукцией 0,15 Тл составило 90 %.

На основании проведённых исследований предложено следующее техническое решение (рисунок 6): животноводческие стоки подвергаются воздействию вихревого поля с подвижными ферромагнитными частицами. В первый аппарат (при величине магнитной индукции 0,1–0,13 Тл) вводится один из щелочных коагулянтов (шлам карбида кальция или известковое молоко в количестве по действующему веществу СаО, г/дм<sup>3</sup>: соответственно 0,5–2,0 или 0,1–1,0), время обработки составляет 30–120 с, при этом рН достигает значений 10,0–11,5. На этом этапе происходит первичное обеззараживание. После чего стоки с коагулянтом подаются на второй аппарат вихревого слоя с подвижными ферромагнитными частицами (при величине магнитной индукции 0,17–0,25 Тл), куда одновременно вводится подкисляющий реагент (смесь суспензии дигидрата сульфата кальция с ортофосфорной кислотой в соотношении по объёму 500:1 в количестве (по действующему веществу Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub>) 6,0–15,0 г/дм<sup>3</sup>) с достижением рН 6,5–8,5, время обработки составляет 30–120 с. Здесь происходит окончательное, полное обеззараживание сточных вод животноводческих хозяйств (Патент РФ № 2379236). Создаваемая индукция вихревого слоя с подвижными ферромагнитными частицами позволяет ускорить процессы фракционирования и отстаивания при сокращении потребления реагентов с достижением обеззараживающего эффекта сточных вод животноводческих хозяйств.

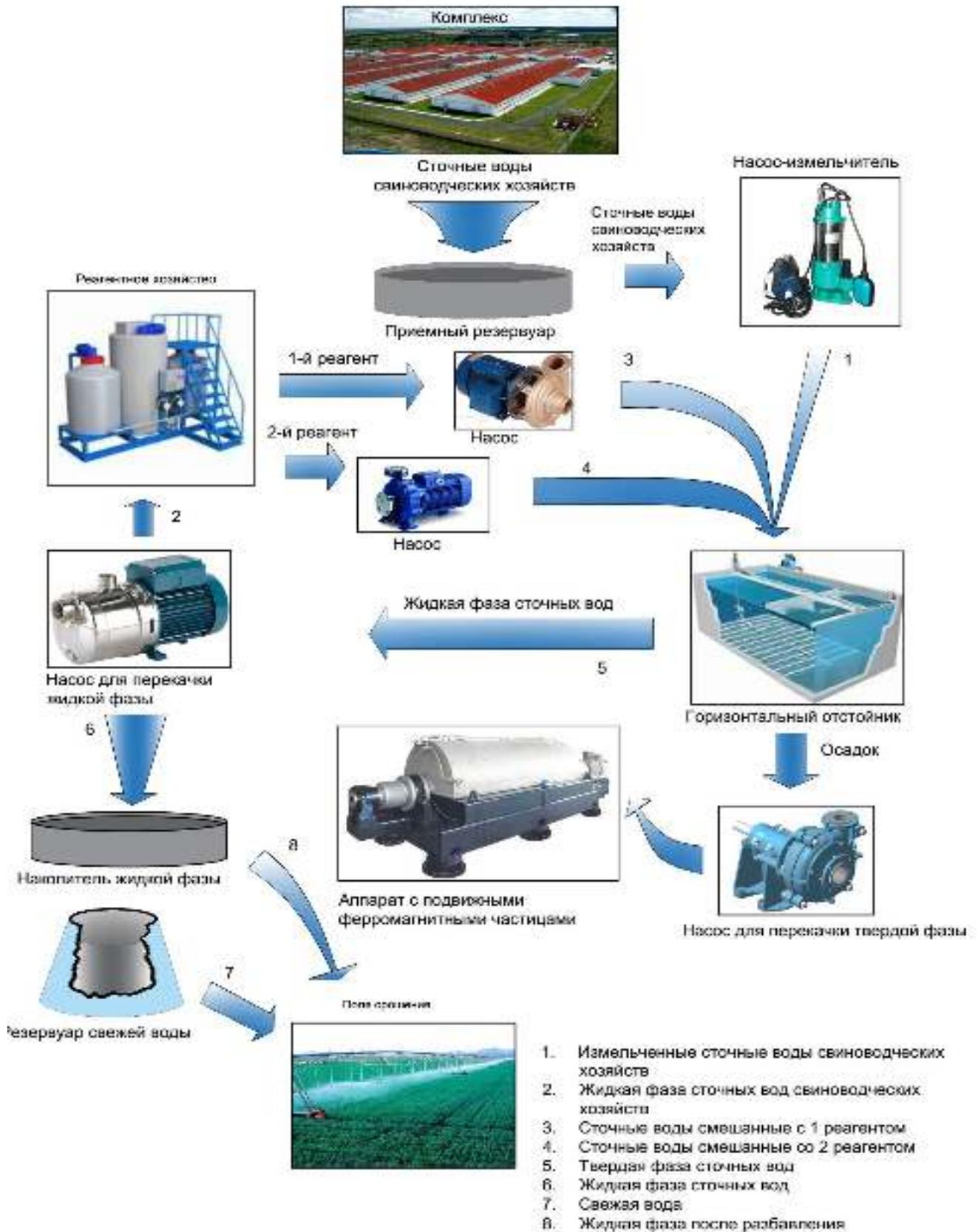


Рисунок 6 – Технология очистки свиноводческих стоков с помощью реагентной обработки и вихревого поля с подвижными ферромагнитными частицами

С целью выявления эффективных реагентов для осветления животноводческих стоков с помощью индивидуальных алюмосодержащих коагулянтов проведены экспериментальные исследования (таблица 2), результаты которых позволяют утверждать, что при одинаковой дозе ПОХА с различной основностью наиболее высокая эффективность разделения животноводческих стоков на жидкую и твёрдую фракции происходит в первом опыте, а именно при обработке низкоосновным ПОХА. Общий процесс отстаивания во всех трёх опытах составил 60 мин. Как показали исследования физических параметров осадка (твёрдой фракции), наиболее низкое значение удельного сопротивления наблюдалось в первом опыте –  $3,5 \times 10^5$  см/г, тогда как в опыте 2 и опыте 3 удельное сопротивление составило  $13,7 \times 10^5$  см/г и, соответственно,  $16,8 \times 10^5$  см/г. Данный результат позволяет сделать вывод о том, что наиболее предпочтительно при обработке животноводческих стоков использовать низкоосновные ПОХА, так как чем ниже значение удельного сопротивления осадка, тем легче происходит процесс обезвоживания осадка в естественных условиях. Характеристики жидкой фракции также имели лучшие показатели в опыте 1, она прозрачна с зеленоватым оттенком и с отсутствием плавающих твёрдых включений (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты исследований эффективности применения ПОХА различной основности

Низкоосновный ПОХА Аква-Аурат™14	Среднеосновный ПОХА АКВА-АУРАТ™18	Высокоосновный ПОХА АКВА-АУРАТ™30
Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3
Доза 3 мг/дм <sup>3</sup>		
Объём осадка после 5 мин. отстаивания		
80	Объём осадка распределился по объёму жидкости неравномерно	80
Объём осадка после 30 мин. отстаивания		
50	70	45
Объём осадка после 60 мин. отстаивания		
30	60	30
Описание процесса седиментации		
Разделение фракций активное Хлопья крупные Осадок рыхлый Жидкая фракция была прозрачной с зеленоватым оттенком	Интенсивность оседания хлопьев имела медленный характер Хлопья всплывали на поверхность Жидкая фракция была мутной с зеленоватым оттенком	Разделение фракций равномерное Осадок плотный Жидкая фракция была мутной с тёмно-зелёным оттенком
Влажность осадка, %		
96	99	97
Удельное сопротивление осадка, см/г		
$3,5 \cdot 10^5$	$13,7 \cdot 10^5$	$16,8 \cdot 10^5$

На основании проведённых экспериментальных исследований разработан способ подготовки животноводческих стоков свиноводческих хозяйств для орошения и удобрения сельскохозяйственных угодий (рисунок 7), который включает в себя двухэтапную реагентную обработку. На первом этапе жидкие отходы свиноводческих хозяйств обрабатывают подкисляющим реагентом – суспензией фосфогипса с дозой 9–35 г/дм<sup>3</sup> до pH 6,5–7,5, а на втором вводят низкоосновный оксихлорид алюминия марки Аква-Аурат™14 в виде 5–10 % раствора с дозой 3–30 мг/дм<sup>3</sup> по Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. В процессе реагентной обработки формируются коллоидные частицы, которые под воздействием гравитационных сил выпадают в осадок. В качестве отстойного сооружения выбран метод тонкослойного отстаивания, что значительно сокращает время отстаивания (Патент РФ № 2424985).



Рисунок 7 – Усовершенствованная технологическая схема подготовки животноводческих стоков для сельскохозяйственного использования с применением оксихлоридного коагулянта

Процесс отстаивания протекает в течение 20–40 минут, в результате чего смесь разделяется на прозрачную жидкую фракцию и осадок – органическое удобрение. Получаемая жидкая фракция не требует дополнительного обеззараживания, так как в результате реагентной обработки микроорганиз-

мы высадятся вместе с коллоидными частицами в осадок.

Технология подготовки животноводческих стоков основывается на разделении жидких отходов животноводческих хозяйств по выращиванию крупного рогатого скота. Предлагается применять в качестве реагента коагулянт полиалюминий гидрохлорида БОПАК-Е (ТУ 216350-004-39928758-08). Стоки обрабатывались 5 % раствором полиалюминия гидрохлорида БОПАК-Е при непрерывном перемешивании в течение 5 минут. Содержание остаточного алюминия не превышает предельно допустимых концентраций (ПДК) и составляет 0,04 мг/дм<sup>3</sup>. После отстаивания в течение 40 минут смесь жидких отходов и коагулянта разделилась на жидкую фракцию со специфической буроватой окраской и осадок – органическое удобрение (Патент РФ № 2350571). При этом эффективность отстаивания смеси составила 80 %. Результаты определения рН, влажности, значений концентраций аммонийного азота, общего фосфора, общего калия, ХПК и остаточного алюминия для предложенного способа обработки полиалюминием гидрохлоридом БОПАК-Е в жидких отходах животноводческих хозяйств по выращиванию крупного рогатого скота приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты определения физико-химических показателей и содержания биогенных элементов в исходных жидких отходах животноводческих хозяйств до и после их реагентной обработки

Показатели	Жидкая фаза		Твёрдая фаза	
	до обработки	после обработки	до обработки	после обработки
рН	6,6	6,7	6,7	6,8
Влажность, %	92,6	100,00	89,0	90,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	620	200	230	650
K <sub>2</sub> O, мг/дм <sup>3</sup>	830	300	450	980
NH <sub>4</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	856	434	354	743
ХПК, мг/дм <sup>3</sup>	15050	10040	17600	11900
Остаточный алюминий Al, мг/дм <sup>3</sup>	0	0	0	0,04

Проведённые исследования позволили разработать технологию подготовки жидких отходов животноводческих хозяйств по выращиванию крупного рогатого скота для сельскохозяйственного использования (рисунок 8), которая заключается в следующем: жидкие отходы комплексов и ферм по выращиванию крупного рогатого скота обрабатываем 1–5 % раствором полиалюминия гидрохлорида БОПАК-Е при непрерывном перемешивании в течение 2–5 минут, при этом значение рН остаётся неизменным. После отстаивания в течение

40–60 минут смесь разделяется на прозрачную жидкую фракцию и осадок – органическое удобрение. В результате разделения смеси на твёрдую и жидкую фракцию в осадке – органическом удобрении – присутствует концентрация таких ценных биогенных компонентов, как фосфор, азот, калий.

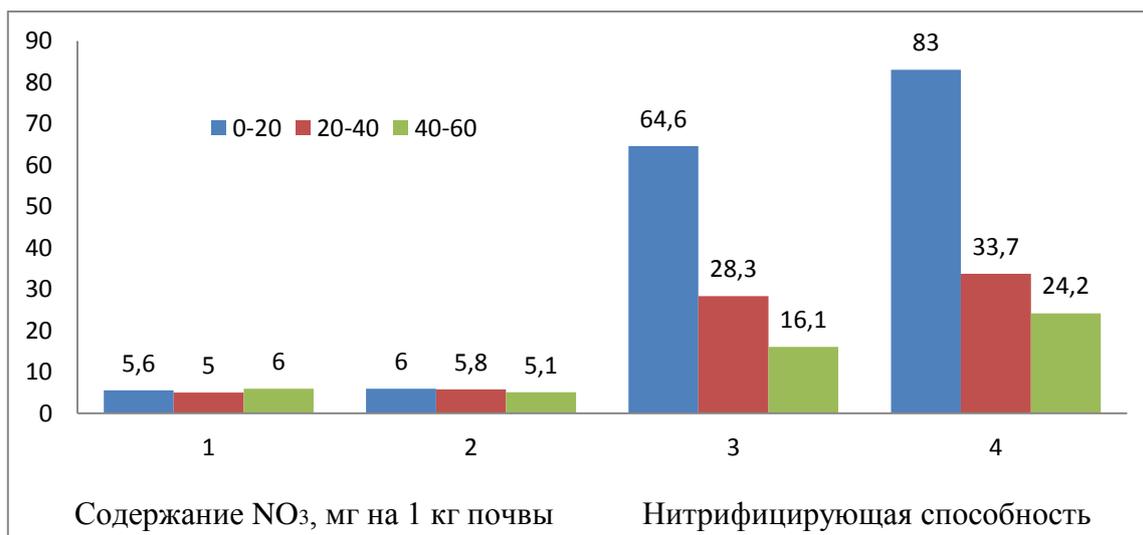
Наличие большого количества микроорганизмов в почве является условным показателем плодородия. Для формирования более полного и точного представления о плодородии почв производим исследование на наличие в ней определённых физиологических групп микробов – аммонифицирующих, нитрифицирующих, целлюлозоразрушающих и других, и определение их активности.



Рисунок 8 – Технология подготовки животноводческих сточных вод крупного рогатого скота для сельскохозяйственного использования

На основании полученных результатов установлено, что при орошении очищенными сточными водами увеличивается общее число микроорганизмов, в том числе бактерий, фиксирующих азот воздуха. Так при поливной норме  $250 \text{ м}^3/\text{га}$  в независимости от категории сточных вод, наблюдается увеличение количества колоний в среднем в 1,5 раза; с нормой  $350 \text{ м}^3/\text{га}$  – в среднем в 2 раза; с нормой  $450 \text{ м}^3/\text{га}$  – в среднем в 3,5 – 4 раза.

Сточные воды способствуют накоплению подвижных форм азота в почве. Нитрифицирующая способность почвы является важным показателем интенсивности биологических процессов аэробного типа и зависит, прежде всего, от содержания азота в почве (рисунок 9).



1, 3 – контроль без полива; 2, 4 – полив сточной водой

Рисунок 9 – Влияние сточных вод на нитрифицирующую способность почвы

Анализ данных, представленных на рисунке 9, показывает, что орошение очищенными сточными водами усиливает нитрифицирующую способность почвы. Так, если на контроле в слое почвы 0–60 см она составляет 27,2 мг нитратов на 1 кг абсолютно сухой почвы, то в варианте с орошением сточными водами – 46,7 мг.

По принятой схеме опытов орошение подготовленными животноводческими стоками проводилось в пяти вариантах: в 1-м норма азота составила 240 кг/га; во 2-м – 360; в 3-м – 480; в 4-м – 600, а в 5-м варианте опытные деланки удобрялись азотными минеральными удобрениями в дозе 240 кг/га. На каждой опытной деланке площадью 0,4 га сооружены отдельные дренажные системы. Расстояние между дренами – 18 м, глубина закладки дрен – 1,4 м. По химическим показателям дренажных вод установлено, что в первый день после полива они бывают самыми загрязнёнными. Этот факт свидетельствует о том, что поливная вода не полностью аккумулируется почвой, т.е. часть её по различным трещинам в почве в недоочищенном виде попадает в дренаж. Показатель БПК<sub>5</sub> дренажной воды после полива нормой 16 мм в первый день повысился до 5,7 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, после поливов нормами 20; 28 и 36 мм – соответственно до 14,4; 16,8 и 19,2 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. На второй день после полива показатель БПК<sub>5</sub> воды 1, 2 и 3-го вариантов составлял от 0,2 до 0,6 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Однако дренажная вода в 4-м варианте при норме полива 36 мм оставалась ещё загрязнённой: БПК<sub>5</sub> – 4,2 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. На третий день показатель БПК<sub>5</sub> дренажной воды 4-го варианта понизился до 2,4; на восьмой день – до 1,3 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

В шестой главе «Повышение эффективности подготовки дренажных и сбросных вод для орошения сельскохозяйственных культур» предложена методика определения объёмов водоотведения с орошаемых участков на очистку, разработана технология повторного использования дренажных и сбросных вод на оросительных системах, определена эффективность использования подготовленных дренажных и сбросных вод на Багаевский оросительной системе.

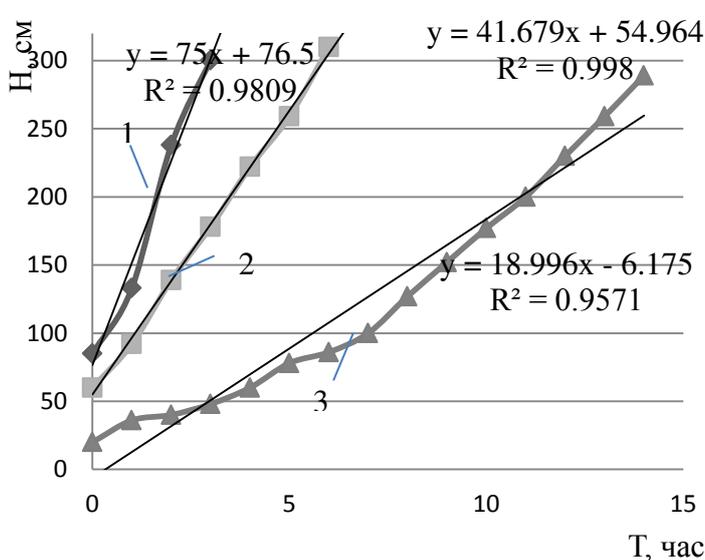
Формирование стока воды в естественной и искусственной дренажной сети и отток влаги из балансового объёма подземным путём ( $D_{pc}$ ) описываются уравнением:

$$D_{pc} = \sum_{i_1=1}^{n_1} \sum_{i_2=1}^{n_2} \sum_{i_3=1}^{n_3} \Phi_{K_{i_1 i_2 i_3}} + \sum_{i_4=1}^{n_4} \Phi_{n_{i_4}} + \sum_{i_5=1}^{n_5} \Phi_{CC_{i_5}} \pm \sum_{i_6=1}^{n_6} (E_{ГВ} \pm \Delta Z)_{i_6}, \quad (6)$$

где  $\Phi_K, \Phi_{II}, \Phi_{CC}$  – соответственно фильтрационные потери в каналах, на полях и сбросной сети;

$E_{ГВ}$  – расход грунтовых вод на испарение в зону аэрации;

$\Delta Z$  – изменение запасов грунтовых вод;



1 –  $d_z=0,18$  мм; 2 –  $d_z=0,23$  мм;  
3 –  $d_z=0,71$  мм

Рисунок 10 – Прирост потерь напора в фильтрующем элементе при различном диаметре зёрен

$i_6$  – индекс единичной дренируемой площади;

$n_6$  – количество таких площадей в пределах общей площади дренирования на системе.

Исследования процесса фильтрации через фильтрующий элемент, выполненный на основе отходов угольного производства, имеющий форму цилиндра с по-

лостью внутри, заполненную сорбентом на основе рисовой шелухи, выполнялись на моделях радиального напорного фильтра. Модель радиального фильтра представляет

собой цилиндрический сектор с центральным углом  $60^\circ$  и высотой 300 мм. Входная площадь фильтрования составила  $0,0273$  м<sup>2</sup>. Результаты исследова-

ний прироста потерь напора в фильтрующем элементе при различном диаметре зёрен представлены на рисунке 10.

Как показывает зависимость, при увеличении диаметра зёрен фильтрующего элемента прирост потерь напора во времени уменьшается. При  $d_3=0,18$  мм критическая грязеемкость фильтрующего элемента наступает на третий час процесса фильтрования, при  $d_3=0,23$  мм – на шестой час, а при  $d_3=0,71$  мм – на четырнадцатый час.

Способ реализуется в следующей технологической схеме (рисунок 11): сепаратор, который позволит удалить из воды грубые механические примеси с эффектом очистки 70–80 %, и фильтрующий колодец, который наполняют фильтрующими элементами на основе отходов угольного производства (Патент РФ № 2498844), изготовленными по известной рецептуре, имеют форму цилиндра с полостью внутри. Выделенную полость заполняют сорбентом – сорбент на основе рисовой шелухи, который в свою очередь засыпают в мешочки, выполненные из базальтовой ткани ВАТИ ТБК-100 для удобства замены или регенерации отработанного сорбента. Как показали исследования, эффект очистки по тяжёлым металлам и солям может достигать 85–90 % (Патент РФ № 2551504).



Рисунок 11 – Технология очистки дренажных и сбросных вод для сельскохозяйственного использования

Проведены расчёты величины возможной площади орошения на системе показали следующий результат при  $C_{\max} = 1 \text{ г/дм}^3$ :  $P = 67889 \text{ га}$ ,  $Q_r = 17,6 \text{ м}^3/\text{га}$ ; при  $C_{\max} = 1,5 \text{ г/дм}^3$ :  $P = 67385 \text{ га}$ ,  $Q_r = 17,6 \text{ м}^3/\text{га}$ .

**В седьмой главе** «Экономическое обоснование эффективности использования разработанных технических решений по подготовке поливной воды» представлены результаты экономического обоснования реконструкции оросительных систем в контуре влияния Багаевского оросительного канала за счёт внедрения технологий очистки поливной воды; определены сводные затраты на организацию очистки поливной воды и дана стоимостная оценка предотвращённого экологического ущерба окружающей среде; дано экономическое обоснование повторного использования дренажных и сбросных вод для орошения сельскохозяйственных культур.

Экономическая оценка реконструкции основывается на ряде факторов, которые характеризуют состояние оросительной системы и оцениваются по эффекту, достигаемому при переходе от существующего уровня к критериальному, т.е. оптимальному уровню, сформировавшемуся после проведения реконструкции оросительной системы путём внедрения технологий очистки поливной воды. На основании расчёта в контуре влияния Багаевского оросительного канала при использовании сточных вод определён эффект увеличения полезной площади (962 тыс. руб.); эффект мелиоративного улучшения земель (132,4 тыс. руб.); эффект повышения водообеспеченности (93 тыс. руб.); общий эффект реконструкции (1314,05 тыс. руб.); удельные затраты при реконструкции на гектар (209,7 тыс. руб.). Анализ затрат на внедрение технологий очистки природной воды, животноводческих стоков, дренажных и сбросных вод показал, что себестоимость очистки составила, соответственно: 1,3; 2,5; 1,4 руб./м<sup>3</sup>, а срок окупаемости – 2,5; 1,4; 0,4 года при уровне предотвращённого ущерба от утилизации сточных вод на оросительных системах в размере 1148,77 тыс. руб. в ценах 2018 г.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Итоги выполненных исследований**

1. Одним из направлений снижения дефицита водных ресурсов является внедрение в практику орошения водосберегающих технологий полива, таких, как капельное орошение и дождевание, которые в свою очередь очень чувствительны к качеству оросительной воды. В связи с этим дополнительно

к традиционным санитарно-гигиеническим и химическим показателям контроля оросительной воды потребовалось контролировать такие элементы, как взвешенные вещества, индекс стабильности по биологическим примесям, которые способствуют формированию крупных агломератов, осаждающихся в трубопроводах и вызывающих закупорку водовыпусков.

2. Воды Багаевского канала относятся к I классу (пригодная для орошения). Содержание взвешенных веществ в Багаевском канале составляет более  $50 \text{ мг/дм}^3$ , это указывает на то, что при отсутствии предварительной подготовки воды может возникнуть риск засорения водовыпусков на дождевальных агрегатах и капельницах.

3. Модель изменения сезонной нагрузки при реализации технологических процессов является одним из вспомогательных блоков при оценке экологической нагрузки природных и сточных вод оросительных систем. Приведённые в соответствующих главах модели используются для подсчёта основополагающих показателей. К ним также относятся модели по эколометрической оценке экологической нагрузки, гидрогеологическая модель влияния поливной воды, модель «сточные воды (поливная вода) – оросительная система». На весь комплекс и входящие в него модели получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2013619747; № 2013619748; № 2013619749; № 2014662254; № 2014611401; № 2014619576; № 2015660543; № 2015660475; № 2015660479; № 2018661566; № 2018661847.

4. Разработана технология очистки, которая реализуется в следующей последовательности: природная вода из поверхностных источников (река, пруд, водохранилище, канал) поступает на барабанные сетки, позволяющие задерживать плавающие и взвешенные примеси (зоо- и фитопланктон), после чего вода подается на напорные фильтры с фильтрующими элементами из гранулированной пластмассы. Затем вода подаётся на орошение – капельное или дождевание (Патенты РФ № 2595694, № 2498844).

5. С целью снижения потребления реагентов при фракционирования животноводческих стоков возможно повышать их активность с помощью вихревого слоя с подвижными ферромагнитными частицами, который создаётся вращающимся электромагнитным полем. Проведённые исследования позволяют утверждать, что электромагнитное вихревое поле способствует увеличению активности раствора шлама карбида кальция в среднем на 62 %, но в то же время минимальный эффект наблюдается при той же обработке у раствора фосфогипса. Качество седиментации животноводческих стоков при

разделении их раствором шлама карбида кальция, прошедшего обработку в электромагнитном поле с индукцией 0,15 Тл, составило 90 %.

6. На основании проведённых исследований разработано технологическое решение, заключающееся в том, что животноводческие стоки проходят предварительную обработку в аппаратах вихревого поля с подвижными ферромагнитными частицами. На первом этапе животноводческие стоки подаются в аппарат вихревого поля с подвижными ферромагнитными частицами при величине магнитной индукции 0,1–0,13 Тл, куда одновременно поступает щелочной коагулянт, а именно: шлам карбида кальция или известковое молоко с концентрацией по действующему веществу  $\text{CaO}$ , г/дм<sup>3</sup>: соответственно 0,5–2,0 или 0,1–1,0. Суспензия находится в обработке 30–120 с с достижением значений pH 10,0–11,5. На первом этапе наблюдается первичное обеззараживание. На втором этапе полученная суспензия направляется на второй аппарат вихревого слоя с подвижными ферромагнитными частицами и величиной магнитной индукции 0,17–0,25 Тл, куда подаётся подкисляющий реагент, а именно: смесь суспензии дигидрата сульфата кальция с ортофосфорной кислотой в соотношении по объёму 500:1 с концентрацией 6,0–15,0 г/дм<sup>3</sup>), тем самым способствуя снижению pH до 6,5–8,5, при этом время обработки составляет 30–120 с. На этом этапе наблюдается полное обеззараживание животноводческих стоков (Патенты РФ № 2379236, № 2551505, № 2618099, № 2645573, № 2645555).

7. Установлено, что при внесении одной и той же дозы ПОХА, имеющего различную основность, процесс седиментации животноводческих стоков на жидкую и твёрдую фракции протекает наиболее эффективно в первом опыте, в случае внесения низкоосновного ПОХА. Процесс седиментации наблюдался в течение одного часа во всех сериях опытов. Результаты исследований физических параметров твёрдой фракции позволили установить, что минимальное значение удельного сопротивления определено в первом опыте ( $3,5 \cdot 10^5$  см/г), а в случае опытов 2 и 3 удельное сопротивление находилось в пределах  $13,7 \cdot 10^5$  см/г и, соответственно,  $16,8 \cdot 10^5$  см/г. Разработана технологическая схема, по которой животноводческие стоки в первую очередь обрабатывались подкисляющим реагентом, а именно: суспензией фосфогипса в количестве 9–35 г/дм<sup>3</sup>, что позволило достичь pH 6,5–7,5. Далее в суспензию вносят низкоосновный оксихлорид алюминия марки Аква-Аурат<sup>TM</sup>14 (5–10 % раствор) в количестве 3–30 мг/дм<sup>3</sup> по  $\text{Al}_2\text{O}_3$  с дозой 3–30 мг/дм<sup>3</sup> по  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Патент РФ № 2424985).

8. Проведённые исследования позволили разработать технологию подготовки стоков животноводческих хозяйств по выращиванию крупного рогатого скота для орошения, которая заключается в том, что стоки от хозяйств по выращиванию крупного рогатого скота обрабатываются 1–5 % раствором полиалюминия гидрохлорида (БОПАК-Е) в условиях интенсивного перемешивания в течение 2–5 минут при неизменном значении рН, что не позволяет реализовать традиционные методы и технологии подготовки отходов животноводческих хозяйств для орошения. Отстаивание в течение 40–60 минут позволяет расслоить полученную смесь на прозрачную жидкость и осадок, в котором сконцентрированы такие ценные биогенные компоненты, как фосфор, азот, калий (Патент РФ № 2350571).

9. При поливе подготовленными сточными водами фиксировалось снижение удельного веса почвы и увеличение объёмного. Пористость почвы в слое от 0–60 см сократилась в среднем на 2,5 % при поливе животноводческими стоками. Влажёмкость почвы по профилю почвы изменялась незначительно, увеличение наблюдалось в слое от 0–20 см в среднем на 1,5 %. Внесение подготовленных животноводческих стоков на участок способствовало повышению концентрации гумуса, нитратного азота и общего фосфора, на глубине 0–40 см наблюдается увеличение концентрации гумуса в среднем на 0,55 %, азота – на 0,14 % (1250 кг/га). Повышение количества азота в слое почвы 0–40 см объясняется ростом активности развития микроорганизмов, способствующих фиксации азота из атмосферного воздуха и минерализующих органические вещества.

10. Проведённые исследования прироста потерь напора в фильтрующем элементе показали, что при увеличении диаметра зёрен фильтрующего элемента прирост потерь напора во времени уменьшается. При  $d_3 = 0,18$  мм критическая грязеёмкость фильтрующего элемента наступает через 3 часа процесса фильтрования, при  $d_3 = 0,23$  мм – 6 часов, а при  $d_3 = 0,71$  мм – 14 часов. Эффективность осветления при использовании разрабатываемого фильтрующего элемента в зависимости от диаметра зёрен и скорости фильтрования во времени снижается. Так к концу фильтроцикла (15 часов) их содержание снижается с 8,2 до 0,2 мг/дм<sup>3</sup> при равномерной скорости фильтрации (Патенты РФ № 2551504, № 2498844). Способ позволяет повысить качество подготовки дренажного стока для орошения сельскохозяйственных культур, расширить диапазон использования дренажных стоков, имеющего различный химический состав, упростить процесс монтажа фильтрующих элементов

за счёт применения более лёгкой конструкции, а также снизить дефицит поливной воды в районах формирования и бесконтрольного сброса сточных вод.

11. Определена эффективность использования подготовленных дренажных и сбросных вод, установлена предельно допустимая минерализация поливной воды в зависимости от глубины и минерализации грунтовых вод. Определено, что 15 % площади обслуживаемой оросительной системы можно поливать водой с минерализацией до  $2 \text{ г/дм}^3$ , 55 % – с минерализацией до  $1,5 \text{ г/дм}^3$  и 80 % – с минерализацией до  $1,0 \text{ г/дм}^3$ . На 20 % площади нельзя поливать поливной водой с повышенной минерализацией при непромывном режиме.

12. Проведённое эколого-экономическое обоснование эффективности использования разработанных технических решений и предотвращённый экологический ущерб позволяют говорить о том, что экономический эффект от использования подготовленных дренажных и сбросных вод оценивается в 1,49 млн рублей при себестоимости очистки  $1,4 \text{ руб./м}^3$ . Эффективность повторного использования животноводческих стоков определена в размере 1,29 млн рублей при себестоимости очистки  $2,5 \text{ руб./м}^3$ . Кроме того, проведённая оценка предотвращённого экологического ущерба составляет 1,15 млн рублей. Экономический эффект от использования подготовленных природных вод за счёт снижения износа водопроводящих элементов оросительных систем составляет 3,1 млн рублей.

## **ПРЕДЛОЖЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ**

1. Рекомендуются использовать в фильтрующих сооружениях по подготовке природной воды фильтрующий элемент, который изготавливается согласно СН 525-80 «Инструкция по технологии приготовления полимербетонов и изделий из них» в форме полого цилиндра с размерами  $0,5 \times 0,5 \text{ м}$  (Д×Н). Состав фильтрующего элемента включает в себя гранулированные отходы пластмасс, которые используются в качестве заполнителя с размером  $0,3\text{--}30 \text{ мм}$ , также наполнитель – кварцевая мука с размером фракций менее  $0,15 \text{ мм}$  и вяжущее – полиэфирная смола марки ПН-609 (Патент РФ № 2595694).

2. Подготовка свиноводческих стоков осуществлять путём двухстадийной обработки в аппаратах вихревого слоя с подвижными ферромагнитными частицами (при величине магнитной индукции  $0,1\text{--}0,25 \text{ Тл}$ ) и внесением щелочных коагулянтов (шлам карбида кальция или известковое молоко в количестве по действующему веществу,  $\text{г/дм}^3$ : соответственно  $0,5\text{--}2,0$  или  $0,1\text{--}1,0$ ) и подкисляющего реагента (смесь суспензии дегидраза сульфата кальция с ортофосфорной кислотой в соотношении по объёму  $500:1$  в количестве

(по действующему веществу  $P_2O_5$ ) 6,0–15,0 г/дм<sup>3</sup> с достижением рН 6,5–8,5 (Патент РФ № 2379236).

3. Проводить подготовку свиноводческих стоков с помощью внесения подкисляющего реагента – суспензия фосфогипсовая с дозой 9–35 г/дм<sup>3</sup> до рН 6,5–7,5 и низко основного окси хлорида алюминия марки Аква-Аурат<sup>TM</sup>14 в виде 5–10 % раствора с дозой 3–30 мг/дм<sup>3</sup> по  $Al_2O_3$  (Патент РФ № 2424985).

4. Подготовку животноводческих стоков хозяйств осуществлять путём обработки их 1–5 % раствором полиалюминия гидрохлорида БОПАК-Е при непрерывном перемешивании в течение 2–5 минут (Патент РФ № 2350571).

5. Способ подготовки дренажных и сбросных вод реализовывать в следующей последовательности: использовать сепаратор, который позволит удалить из воды грубые механические примеси с эффектом очистки 70–80 %, и фильтрующий колодец, наполненный фильтрующими элементами на основе отходов угольного производства, изготовленными в форме цилиндра с полостью внутри. Выделенную полость заполняют сорбентом – сорбент на основе рисовой шелухи, который в свою очередь засыпают в мешочки, выполненные из базальтовой ткани ВАТИ ТБК-100 для удобства замены или регенерации отработанного сорбента (Патент РФ № 2551504).

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ**

1. Закономерное возрастание требований к рациональному использованию водных ресурсов и охране окружающей среды потребует применения в оросительных системах замкнутых водооборотных циклов с вовлечением вторичных материалов, прошедших предварительную активацию на молекулярном уровне.

2. Для расширения области применения сточных вод в водохозяйственном комплексе АПК необходимо продолжать исследования по созданию автономных технических и технологических устройств и сооружений, основывающихся на аспектах ресурсосбережения и экологической безопасности производственных циклов.

3. Дальнейшее развитие технологий подготовки природной воды должно быть ориентировано на снижение износа водотранспортирующих и водовыпускных устройств на оросительных системах, а широкое внедрение автономных очистных сооружений на животноводческих комплексах будет способствовать снижению негативного воздействия отходов III класса опасности на природные экосистемы.

**ПУБЛИКАЦИИ, ОТРАЖАЮЩИЕ ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ  
ДИССЕРТАЦИИ НАУЧНЫЕ РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ  
В ВЕДУЩИХ РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ ЖУРНАЛАХ**

1. Домашенко, Ю. Е. Эколого-техническое обоснование применения фосфогипса в процессах фракционирования высококонцентрированных органических сточных вод / Ю. Е. Домашенко, О. А. Суржко // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. – 2008. – Спец. выпуск: Проблемы электрохимии и экологии. – С. 113–115. 0,35/0,25 п.л.

2. Васильев, С.М. Применение метода динамического программирования для решения задачи управления процессом забора оросительной воды [Электронный ресурс] / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко, В. В. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2013. – № 4(12). – 12 с. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/arhive?n=205&id=209>. 0,75/0,25 п.л.

3. Антонова, Н. А. Математическая модель для определения оптимального состава альтернативного фильтрующего элемента в системах капельного орошения [Электронный ресурс] / Н. А. Антонова, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2014. – № 4(16). – С. 105–114. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=292&id=300>. 0,25/0,09 п.л.

4. Экономическое обоснование повторного использования воды на сельскохозяйственных полях орошения / Ю. Е. Домашенко, В. В. Васильев, Н. А. Антонова, С. М. Васильев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 9(131). – С. 57–61. 0,58/0,29 п.л.

5. Домашенко, Ю. Е. Влияние вращающегося электромагнитного поля на активность шлама карбида кальция и фосфогипса при обработке животноводческих стоков / Ю. Е. Домашенко // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4(54). – С. 59–60. 0,23 п.л.

6. Домашенко, Ю. Е. Ресурсосберегающие технологии по подготовке животноводческих стоков для орошения сельскохозяйственных культур [Электронный ресурс] / Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 106(02). – С. 568–579. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/02/pdf/35.pdf>. 0,75/0,53 п.л.

7. Васильев, С. М. Регулирование управленческих процессов в структурированных проблемных ситуациях АПК / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 4. – С. 12–13. 0,24/0,17 п.л.

8. Васильев, С. М. Ретроспективный анализ изменения почвенно-мелиоративных условий орошаемых почв юга Ростовской области / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2016. – № 3(43). – С. 17–24. 0,84/0,42 п.л.

9. Ляшков, М. А. Применение имитационного моделирования при создании планов водораспределения на примере Садковской оросительной системы / М. А. Ляшков, С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4(60). – С. 81–84. 0,47/0,09 п.л.

10. Антонова, Н. А. Обоснование преимуществ модернизации узла водоочистки для капельного орошения и инвестиционной привлекательности / Н. А. Антонова, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 5(61). – С. 54–57. 0,47/0,05 п.л.

11. Антонова, Н. А. Эколого-технологическое обоснование применения отходов терриконов в технологии очистки оросительной воды [Электронный ресурс] / Н. А. Антонова, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2016. – № 1(21). – С. 46–59. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=388&id=392>. 0,88/0,26 п.л.

12. Васильев, С. М. Определение зон разбавления при повторном использовании сточных вод на оросительных системах [Электронный ресурс] / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко, М. А. Ляшков // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2016. – № 2(22). – С. 17–29. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=406&id=408>. 0,81/0,32 п.л.

13. Домашенко, Ю. Е. Моделирование и оценка поступления загрязняющих веществ в коллекторно-дренажный сток [Электронный ресурс] / Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2016. – № 2(22). – С. 112–127. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=406&id=414>. 0,95/0,86 п.л.

14. Домашенко, Ю. Е. Идентификация зависимостей минерализации от ионного состава дренажно-сбросных стоков правобережья Западного Маныча [Электронный ресурс] / Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Научный журнал

Российского НИИ проблем мелиорации. – 2016. – № 3(23). – С. 36–51. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=424&id=427>. 0,95/0,67 п.л.

15. Матвиенко, А. О. Усовершенствованная технология подготовки животноводческих сточных вод с применением нефелинового коагулянта для сельскохозяйственного использования [Электронный ресурс] / А. О. Матвиенко, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2016. – № 4(24). – С. 132–143. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=440&id=449>. 0,75/0,3 п.л.

16. Домашенко, Ю. Е. Исследования по оптимизации коагуляционной обработки животноводческих стоков с применением оксихлоридного коагулянта для целей орошения / Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Природообустройство. – 2016. – № 2. – С. 76–81. 0,7/0,56 п.л.

17. Редина, А. В. Агромелиоративная оценка очищенных животноводческих сточных вод при орошении чернозёмов южных / А. В. Редина, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 6(68). – С. 8–11. 0,35/0,09 п.л.

18. Головина, Н. А. Разработка экологически безопасного фильтрующего элемента для капельного орошения [Электронный ресурс] / Н. А. Головина, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – № 2(26). – С. 144–155. – Режим доступа: [http://www.rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb13-rec486-field6.pdf](http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec486-field6.pdf). 0,75/0,49 п.л.

19. Домашенко, Ю. Е. Эколого-экономическое обоснование использования сточных вод на оросительных системах на основе метода динамического программирования [Электронный ресурс] / Ю. Е. Домашенко, М. В. Власов, С. М. Васильев, А. О. Матвиенко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – № 3(27). – С. 32–42. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=491&id=494>. 0,69/0,09 п.л.

20. Васильев, Д. Г. Исследования процесса фильтрации почв при орошении очищенными сточными водами в условиях Ростовской области [Электронный ресурс] / Д. Г. Васильев, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – № 4(28). – С. 94–105. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=506&id=513>. 0,75/0,45 п.л.

21. Домашенко, Ю. Е. Экологическое и технологическое обоснование подготовки животноводческих стоков хозяйств по выращиванию крупного ро-

гатого скота / Ю. Е. Домашенко // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 2(51). – С. 114–118. 0,58 п.л.

22. Васильев, С. М. Влияние поверхностного стока урбанизированных территорий на химический состав коллекторно-сбросных вод [Электронный ресурс] / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко, А. А. Кисиль // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2018. – № 1(29). – С. 31–48. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=526&id=529>. 1,12/0,34 п.л.

23. Найденов, С. В. Обзор водооборотных систем на основе гидромелиоративного рециклинга [Электронный ресурс] / С. В. Найденов, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2018. – № 2(30). – С. 95–111. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=542&id=548>. 1,06/0,32 п.л.

### **Публикации в международных реферативных базах данных**

24. Vasilyev, S. M; Domashenko, Yu. E. Scientific Rationale for the Use of Wastewater as an Alternative Source of Irrigation under Water Deficit / S. M. Vasilyev, Yu. E. Domashenko // Journal of Environmental Management and Tourism, [S.l.], v. 7, n. 4, p. 632-638, feb. 2016. URL: <http://journals.aserspublishing.eu/jemt/article/view/716>. Date accessed: 28 sep. 2017. doi: [https://doi.org/10.14505//jemt.v7.4\(16\).10](https://doi.org/10.14505//jemt.v7.4(16).10) (Scopus). 0,47/0,24 п.л.

25. Domashenko, Yu. Agroecological Substantiation for the Use of Treated Wastewater for Irrigation of Agricultural Land / Yu. Domashenko, S. Vasilyev // J. Ecol. Eng. 2018; 19(1):48–54. – DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/79567> (Scopus, Web of Science). 0,47/0,24 п.л.

### **Монографии**

26. Основные принципы и методы эксплуатации магистральных каналов и сооружений на них: монография / под общ. ред. В. Н. Щедрина. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. – 361 с. 41,98/0,83 п.л.

27. Охрана окружающей среды от негативного воздействия хозяйственной деятельности: научная монография; под ред. Д. В. Елисеева. – Новосибирск: СибАК, 2015. – 260 с. 16,25/1,8 п.л.

28. Актуальные задачи биологии и экологии в региональном контексте: монография / Ю. М. Домашенко, Н. И. Кулик, М. В. Ларионов, С. Е. Мазина, А. Р. Сукиасян. – Новосибирск: Изд. АНС СибАК, 2016. – 124 с. 7,75/1,86 п.л.

29. Домашенко, Ю. Е. Проблемы и перспективы использования сточных вод для орошения: монография / Ю. Е. Домашенко; Российский научно-

исследовательский институт проблем мелиорации. – Новочеркасск: Лик, 2017. – 212 с. 13,1 п.л.

### Патенты на изобретения

30. Пат. 2379236 Российская Федерация, МПК С 02 F 1/58. Способ подготовки животноводческих сточных вод для сельскохозяйственного использования / Домашенко Ю. Е., Дорошко В. Н.; заявитель и патентообладатель Домашенко Ю. Е., Дорошко В. Н. – № 2009114816/05; заявл. 06.06.08; опубл. 20.01.10, Бюл. № 2. – 8 с.

31. Пат. 2350571 Российской Федерации, МПК С02F 11/14, С02F 1/52, С02F 103/20. Способ подготовки жидких отходов животноводческих хозяйств по выращиванию крупного рогатого скота для сельскохозяйственного использования / Домашенко Ю. Е., Суржко О. А.; заявитель и патентообладатель Южно-Российский государственный технический университет. – № 2007127042/15, заяв. 16.07.2007; опубл. 27.03.2009, Бюл. № 9. – 5 с.

32. Пат. 2424985 Российской Федерации, С02F 1/58, С02F 103/20, С05F 3/00. Способ подготовки жидких отходов свиноводческих хозяйств для сельскохозяйственного использования / Домашенко Ю. Е., Суржко О. А.; заявитель и патентообладатель Домашенко Ю. Е., Суржко О. А. – № 2009114816/05, заяв. 13.04.2009; опубл. 27.07.2011, Бюл. № 21. – 6 с.

33. Пат. 2498844 Российская Федерация, МПК В 01 D 35/00. Фильтрующий элемент, применяемый в сфере очистки природных вод / Антонова Н. А., Домашенко Ю. Е.; заявители Антонова Н. А., Домашенко Ю. Е. – № 2011147979/05; заявл. 24.11.2011; опубл. 27.05.2013. – 5 с.

34. Пат. 2551504 Российской Федерации, МПК С09F 9/02. Способ подготовки дренажных и сбросных вод для орошения сельскохозяйственных культур / Щедрин В. Н., Васильев С. М., Домашенко Ю. Е., Антонова Н. А.; заявитель и патентообладатель Российский НИИ проблем мелиорации – № 2013144559/05; заявл. 03.10.2013; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 10. – 7 с.

35. Пат. 2551505 Российской Федерации, МПК С09F 1/52. Способ подготовки жидких отходов свиноводческих комплексов и ферм для сельскохозяйственного использования / Васильев С. М., Домашенко Ю. Е.; заявитель и патентообладатель Российский НИИ проблем мелиорации. – № 2013131344/05; заявл. 08.07.1013; опубл. 27.05.2015, Бюл. № 15. – 6 с.

36. Пат. 2618099 Российская Федерация. МПК С05F 3/00 Способ получения комплексного органоминерального удобрения / Щедрин. В. Н., Васи-

льев С. М., Домашенко Ю. Е., Ляшков М. А.; заявитель и патентообладатель Российский НИИ проблем мелиорации. – № 2015135768; заявл. 24.08.2015; опубл. 02.05.2017. Бюл. № 13. – 4 с.

37. Пат. 2595694 Российская Федерация. МПК В01Д 39/04 Фильтрующий элемент для напорных фильтров, используемый для очистки природных вод / Щедрин. В. Н., Васильев С. М., Домашенко. Ю. Е.; заявитель и патентообладатель Российский НИИ проблем мелиорации. – № 2015109123/05; заявл. 16.03.2015; опубл. 27.08.2016. Бюл. № 24. – 4 с.

38. Пат. 2645573 Российская Федерация. МПК С09F 1/58, С09F 11/14, В09В 3/00, С05F 3/00, С05F 5/00, С05F 103/20 Способ подготовки продуктов гидросмыва свиноводческих комплексов и ферм для сельскохозяйственного использования / Редина А. В., Васильев С. М., Домашенко Ю. Е.; заявитель и патентообладатель Российский НИИ проблем мелиорации. – № 2017107695, заявл. 07.03.2017; опуб. 21.02.2018, Бюл. № 6. – 6 с.

39. Пат. 2645555 Российская Федерация. МПК С09F 1/58, С09F 11/14, В09В 3/00, С05F 3/00, С05F 5/00, С05F 103/20. Способ подготовки животноводческих стоков свиноводческих комплексов и ферм для сельскохозяйственного использования / Матвиенко А. О., Васильев С. М., Домашенко Ю. Е.; заявитель и патентообладатель Российский НИИ проблем мелиорации. – № 2016131969, заявл. 03.08.2016; опуб. 21.02.2018, Бюл. № 6. – 7 с.

40. Пат. 2654763 Российская Федерация. МПК С02F 9/08, С02F 1/28, D01В 36/00, С02F 1/40. Способ подготовки сбросных и дренажных вод для сельскохозяйственного использования / Васильев Д. Г., Васильев С. М., Домашенко Ю. Е.; заявитель и патентообладатель Российский НИИ проблем мелиорации. – № 2017101951, заявл. 20.01.2017; опуб. 22.05.2018, Бюл. № 15. – 7 с.

### **Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ**

41. Свидетельство № 2013619747 Российская Федерация. Программа расчётов площадей орошения при минимизации затрат по возделыванию культур на собственных водных ресурсах, привлекаемых извне водных ресурсах, выращиванию поголовья скота / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, П. В. Калинин, Ю. Е. Домашенко; заявитель и правообладатель ООО «Южный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации». – № 2013617974; заявл. 05.09.2013; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 14.10.2013. – [1] с.

42. Свидетельство № 2013619748 Российская Федерация. Водохозяйственное районирование территориальных единиц с применением методов компонентного анализа: свидетельство об офиц. регистрации программы для ЭВМ / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, П. В. Калинин, Ю. Е. Домашенко; заявитель и правообладатель ООО «Южный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации». – № 2013617973; заявл. 05.09.2013; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 14.10.2013. – [1] с.

43. Свидетельство № 2013619749 Российская Федерация. Программа по прогнозированию урожайности ведущих сельскохозяйственных культур: свидетельство об офиц. регистрации программы для ЭВМ / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, П. В. Калинин, Ю. Е. Домашенко; заявитель и правообладатель ООО «Южный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации». – № 2013617974; заявл. 05.09.2013; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 14.10.2013. – [1] с.

44. Свидетельство № 2014662254 Российская Федерация. Определение численных значений параметров к прогнозу местных размывов / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, П. В. Калинин, Ю. Е. Домашенко, Н. А. Антонова; заявитель и правообладатель ФГБНУ «РосНИИПМ» – № 2014617143; заявл. 22.07.2014; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 26.11.2014. – [1] с.

45. Свидетельство № 2014611401 Российская Федерация. Водохозяйственное развитие территориальных единиц с применением факторного анализа / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, П. В. Калинин, Ю. Е. Домашенко; заявитель и правообладатель ООО «Южный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации». – № 2013619793; заявл. 05.09.2013; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 14.10.2013. – [1] с.

46. Свидетельство № 2014619576 Российская Федерация. Определение допустимых (неразмывающих) скоростей потока / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, П. В. Калинин, Ю. Е. Домашенко, Н. А. Антонова; заявитель и правообладатель ФГБНУ «РосНИИПМ» – № 2014617144; заявл. 22.07.2014; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 18.09.2014. – [1] с.

47. Свидетельство № 2015660475 Российская Федерация. Программа для формирования планов водораспределения на уровне оросительной системы / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко, М. А. Ляшков; заявитель и правообладатель ФГБНУ «РосНИИПМ» – № 2015617706; заявл. 24.08.2015; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 01.10.2015. – [1] с.

48. Свидетельство № 2015660479 Российская Федерация. Программа для расчёта затрат, необходимых для производства продукции при планировании водопользования / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко, Н. А. Антонова; заявитель и правообладатель ФГБНУ «РосНИИПМ» – № 2015617707; заявл. 24.08.2015; зарегистрир. в реестре программ для ЭВМ 01.10.2015. – [1] с.

49. Свидетельство № 2015660543 Российская Федерация. Программа для расчёта распределения водных ресурсов на уровне речного бассейна / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко, М. А. Ляшков; заявитель и правообладатель ФГБНУ «РосНИИПМ» – № 2015617669; заявл. 20.08.2015; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 02.10.2015. – [1] с.

50. Свидетельство № 2018661566 Российская Федерация. Расчёт закономерностей процесса фильтрации через цилиндрический фильтрующий элемент / Ю. Е. Домашенко, М. В. Власов, С. М. Васильев; заявитель и правообладатель ФГБНУ «РосНИИПМ» – № 2018618624; заявл. 13.08.2018; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 10.09.2018. – [1] с.

51. Свидетельство № 2018661847 Российская Федерация. Расчёт норм жидких органических удобрений для различных сельскохозяйственных культур / С. М. Васильев, А. Н. Бабичев, В. А. Монастырский, В. И. Ольгаренко, Ю. Е. Домашенко, Гонзалез-Гольего Майя Рубэновна, Д. А. Нецепляев; заявитель и правообладатель ФГБНУ «РосНИИПМ» – № 2018619455; заявл. 05.09.2018; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 19.09.2018. – [1] с.

#### **Статьи в других изданиях**

52. Домашенко, Ю. Е. Перспективы использования вторичных водных ресурсов в агропромышленном комплексе России / Ю. Е. Домашенко // Донская аграрная научно-практическая конференция «Инновационные пути развития агропромышленного комплекса: задачи и перспективы»: Всероссийский сб. науч. тр. / Роль мелиорации, лесного и водного хозяйства в развитии аграрного сектора / ФГБОУ ВПО АЧГАА. – зерноград, 2012. – С. 15–18. 0,17 п.л.

53. Домашенко, Ю. Е. Исследование агромелиоративных свойств продуктов реагентного фракционирования жидких отходов свиноводческих хозяйств / Ю. Е. Домашенко // Мелиорация и водное хозяйство: мат. науч.-практ. конф. «Современное состояние и перспективы развития мелиоративного, лесомелиоративного и водохозяйственного комплексов Юга России» (Шумаковские чтения совместно с заседанием секции РАСХН) 27-28 сент. 2012 г., г. Новочеркасск

/ ФГБОУ ВПО НГМА. – Вып. 10. – Новочеркасск: Лик, 2012. – С. 229-232. 0,23 п.л.

54. Матвиенко, А. О. Технологии по подготовке животноводческих стоков для целей орошения / А. О. Матвиенко, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – Вып. 54. – С. 93–97. 0,23/0,06 п.л.

55. Домашенко, Ю. Е. Теоретическое обоснование применения сточных вод для орошения сельскохозяйственных угодий / Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев, А. В. Редина // Сборник научных докладов IX-ой Международной (13-ой Всероссийской) конференции молодых учёных и специалистов «Инновационные технологии и экологическая безопасность в мелиорации» / [Сост. А. И. Буткеева]; ФГБНУ ВНИИ «Радуга». – Коломна: ИП Лавренов А. В., 2016. – С. 36–41. 0,64/0,12 п.л.

56. Матвиенко, А. О. Исследования реагентного фракционирования животноводческих стоков оксихлоридным коагулянтом для целей орошения / А. О. Матвиенко, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 4(64). – С. 109–112. 0,41/0,04 п.л.

57. Васильев, С. М. Обоснование режима орошения очищенными сточными водами животноводческих хозяйств / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко, А. В. Редина // Мелиорация и водное хозяйство. Пути повышения эффективности и экологической безопасности мелиораций земель Юга России: материалы Всероссийской научно-практической конференции (Шумаковские чтения), Новочеркасск, 07–24 ноября 2017 г. – Вып. 15. – Ч. 1. – Новочеркасск: Лик, 2017. – С. 38–43. 0,35/0,14 п.л.

58. Редина, А. В. Моделирование качества подземных вод на орошаемых массивах в условиях чрезвычайной экологической ситуации / А. В. Редина, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Эколого-мелиоративные аспекты рационального природопользования: материалы Международной научно-практической конференции, г. Волгоград, 31 января – 03 февраля 2017 г. – Волгоград: ВолГАУ, 2017. – Т. 3. – С. 393–397. 0,25/0,06 п.л.

59. Васильев, Д. Г. Оценка пригодности дренажно-сбросных вод для орошения с учётом почвенно-мелиоративных условий / Д. Г. Васильев, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Бюллетень науки и практики. – 2018. – № 3. – Т. 4. – С. 63–68. – DOI: 10.5281/zenodo.1197906. 0,7/0,21 п.л.

---

Автореферат  
Подписано в печать 18.02.2019 г.  
Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 2,88. Уч.-изд. л. 3,0. Тираж 100 экз. Заказ

---

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии НИМИ Донской ГАУ  
346428, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, 111

