

На правах рукописи

Куршин Дмитрий Александрович

**Научное обоснование практического применения биопрепарата «Remedion®»
для очистки сточных вод**

4.2.2. Санитария, гигиена, экология,
ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва - 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский биотехнологический университет» (ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ»)

Научный руководитель: **Абдуллаева Асият Мухтаровна** - доктор биологических наук, доцент, заведующая кафедрой ветеринарно-санитарной экспертизы и биологической безопасности Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский биотехнологический университет» (ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ»).

Официальные оппоненты: **Данилова Надежда Ивановна** - доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры технологии животноводства, кормления и зооигиены Института «Казанская академия ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ);

Петрова Ольга Григорьевна - доктор ветеринарных наук, профессор кафедры инфекционной и незаразной патологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Уральский ГАУ).

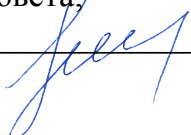
Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО СПбГАУ).

Защита диссертации состоится « 14 » мая 2026 г. в 11-00 ч. на заседании диссертационного совета 24.1.249.03, созданного при ФГБНУ «Федеральный научный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук» по адресу: 123022, г. Москва, Звенигородское шоссе, д. 5.
Телефон: 8 (499) 256-35-81, E-mail: vniivshe@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ВНИИВСГЭ - филиала ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН по адресу: 123022, г. Москва, Звенигородское шоссе, д. 5, и на сайтах: www.viev.ru и www.vak.minobrnauki.gov.ru

Автореферат разослан « _____ » _____ 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор биологических наук _____ Денисова Елизавета Аркадьевна



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Загрязнение окружающей среды сточными водами является одной из важнейших экологических проблем современности (Андриенко П. Е., 2024; Кузнецова Т. В., Манвелова А. Б., 2022; Wanner J., 2021; Анисина О. В., Гринь С. А., 2019; Тюрин В. Г., 2025). Сточные воды, содержащие сложные смеси органических соединений (остатки сырья и продукции), азот, фосфор, пестициды и другие поллютанты, оказывают токсическое воздействие на человека, биоразнообразие и экосистемы (Смирнова И. Р., 2017; Ашихмина Т. В., 2023; Галиев Э. Р., 2023; Sharma P. et al., 2023; Мельник Н. В., Мельник Р. Н., 2019). Рост числа предприятий агропромышленного комплекса приводит к увеличению объёмов и изменению состава контаминантов сточных вод, усложняя задачи их обезвреживания и утилизации (Яценко Е. С. и др., 2021; Гладченко А. А., 2023; Самуйленко А. Я., 2019; Бирюков К. Н., 2025).

Традиционные механические, физико-химические и биологические методы очистки не всегда способны обеспечить полное удаление загрязнителей, особенно в условиях высокой концентрации органических и минеральных веществ, характерных для стоков предприятий АПК (Деньгин В. В., 2023; Астраханцева Е. В. и др., 2023; Zambrano-Gary C. C., 2019; Волчкова Л. А., 2025). В связи с этим активно развиваются инновационные технологии, включая применение бактериальных деструкторов, способных разлагать органические и неорганические загрязнения до безопасных соединений (Барсуков А. С., 2022; Тавадзе Б. Д., 2023; Syed Z. et al., 2023; Кочиш И. И., 2024; Родионова Н. В., 2025).

Современные исследования подтверждают эффективность ассоциативных микробных консорциумов и биопрепаратов для биоремедиации сточных вод различного происхождения (Брындина Л. В., Корчагина А. Ю., 2022; Priya A. K. et al., 2022; Sharma P. et al., 2023; Денисов А. А., 2019; Королева М. В., 2024; Анисина О. В., 2019). Мониторинг состава сточных вод и поддержание биоразнообразия активного ила способствуют устойчивости биологических систем и снижению экологических рисков (Морозова М. А., Седова Д. А., 2023; Bhatnagar A. et al., 2021; Тюрин В. Г., 2025).

Рост доли трудноокисляемых загрязнителей в сточных водах определяет необходимость дальнейших исследований и создания адаптивных бактериальных консорциумов, активных как в аэробных, так и в анаэробных условиях (Салищева О. В., Бурлаченко А. С., 2023; Мельник Н. В., 2019; Попов Н. И., 2022; Бирюков К. Н., 2025). Правильно подобранные микроорганизмы ускоряют биодеградацию поллютантов, сокращают время и энергетические затраты на очистку и снижают эксплуатационные расходы (Зидан О. Д., 2023; Фомина Д. А., Субботина Ю. М., 2020; Мельник Р. Н., 2019).

Внедрение эффективных биотехнологических методов очистки сточных вод способствует улучшению качества водных объектов, снижению заболеваемости

населения и повышению экологической безопасности территорий (Якимова К. П., 2023; Van Drecht G. et al., 2009; Самуйленко А. Я., 2019, Попов П.А., 2024). Уменьшение содержания соединений азота и фосфора предотвращает эвтрофикацию, повышает прозрачность воды и уровень растворённого кислорода, что положительно влияет на устойчивое развитие водных экосистем и экологическое благополучие (Костырев Д. О., 2023; Saini S. et al., 2023).

Степень разработанности темы исследования. Несмотря на значительные успехи в области биологической очистки сточных вод, многие вопросы о механизмах взаимодействия бактериальных деструкторов в составе активного ила и их резистентности требуют дальнейшего изучения. Поддержание биоразнообразия микробных сообществ необходимо для устойчивости биологических систем при колебаниях состава сточных вод. Исследования показывают перспективность интеграции специализированных штаммов бактериальных деструкторов в существующие сообщества активного ила, однако это требует баланса для сохранения функциональной стабильности.

Поэтому возникла необходимость внедрения новых бактериальных деструкторов против широкого спектра загрязнителей для масштабирования исследований до уровня промышленных объектов, сохраняя устойчивость экосистем.

Цель исследований – оценить эффективность применения ассоциаций бактериальных деструкторов в составе биопрепарата «Remedion®» для биологической очистки сточных вод.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- 1) провести анализ традиционных методов очистки сточных вод, анализ научной литературы по вопросам использования ассоциаций бактериальных деструкторов в процессе очистки сточных вод;
- 2) изучить принципы действия и механизмы воздействия бактериальных деструкторов на загрязняющие вещества в сточных водах предприятий агропромышленного комплекса;
- 3) оценить эффективность и потенциал применения различных видов бактериальных ассоциаций в зависимости от типа загрязнителей и условий очистки стоков;
- 4) исследовать возможность оптимизации процесса биологической очистки с использованием бактериальных деструкторов с целью повышения его эффективности и экономической целесообразности;
- 5) разработать рекомендации для практического применения ассоциаций бактериальных деструкторов в системах очистки сточных вод и фильтратов с учетом специфики исходных условий и конечных требований.

Научная новизна работы. На основании проведенных исследований впервые создан и внедрен в практику препарат «Remedion®». Определена и доказана

эффективность смеси отобранных спорообразующих штаммов *Bacillus* и *Raenibacillus* в очистных сооружениях агропромышленного комплекса. Доказана эффективность в удалении жиров и других основных загрязнителей.

Изучена и экспериментально доказана эффективность штаммов *Bacillus* и *Raenibacillus* и определена скорость удаления основных загрязнителей.

Научная новизна подтверждена тремя свидетельствами о депонировании: 191-2-02.1-2842 от 20.12.2024 «Штамм *Bacillus* sp. *Remedion* q.1359 ВКМ В-3897D для биоремедиации», 191-2-02.1-2841 от 20.12.2024 «Штамм *Raenibacillus* sp. *Remedion* r.e.505 ВКМ В-3896D для биоремедиации», 191-2-02.1-2854 от 05.02.2025 «Штамм *Citrobacter* sp. *Remedion* q.1352 ВКМ В-3903D», а также подачей трех заявок на изобретения: № 2025103890, № 2025103891, № 2025103892.

Теоретическая и практическая значимость работы. На основании проведенных исследований разработан препарат, предназначенный для биологической очистки промышленных, агропромышленных, хозяйственно-бытовых, смешанных сточных вод с помощью технологии биоремедиации.

На основании полученных результатов разработана инструкция по применению данного препарата, а также разработаны технические условия для него (ТУ 20.59.52-073-46842767-2022). Результаты исследования используются в учебно-методических материалах при подготовке студентов (бакалавров, специалистов, магистров) и аспирантов.

Методология и методы исследования. Методологической основой исследований явились труды отечественных и зарубежных учёных в области биологической очистки сточных вод и применения бактериальных деструкторов загрязнителей. Исследование включало отбор проб на различных стадиях очистки, селекцию штаммов-деструкторов, лабораторные и полевые эксперименты с последующим масштабированием в биореакторе. В работе использованы молекулярно-генетические (16S рРНК-анализ) и химические методы в соответствии с нормативной документацией (методики ПНД – природоохранные нормативные документы).

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Эффективность применения биопрепарата «Remedion®» для очистки сточных вод очистных сооружений по основным показателям загрязненности (ХПК БПК, взвешенные вещества, органические и неорганические вещества).

2. Результаты практического применения биопрепарата «Remedion®» на различных специализированных очистных сооружениях молокоперерабатывающего предприятия и полигонов ТКО.

3. Универсальность метода применения биопрепарата «Remedion®» в различных типах очистных сооружений, включая молокозаводы, полигоны ТКО и городские системы водоочистки.

Степень достоверности результатов исследований. Достоверность результатов обусловлена использованием в работе сертифицированного

оборудования, современных методов исследований экологии и биобезопасности. Достоверность полученных экспериментальных результатов подтверждается согласованностью с теоретическими оценками и сравнением с аналогичными результатами, полученными другими авторами, а также статистической обработкой результатов. Все исследования, представленные в работе, были выполнены в аккредитованных лабораториях и исследовательских центрах.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы представлены и апробированы на Всероссийских, Национальных и Международных конференциях: Научно-практической конференции с международным участием «Актуальные вопросы дезинфекции» (Москва, 2023); Всероссийской научно-практической конференции памяти учёного-энциклопедиста Д.И. Менделеева (Москва, 2024); Научно-практической конференции с международным участием «Актуальные проблемы ветеринарной медицины, ветеринарно-санитарной экспертизы и биологической безопасности сельскохозяйственной продукции» под девизом «Здоровое животное – безопасная пища – здоровый человек» (Москва, 2022, 2023, 2024, 2025).

Личный вклад автора. Автором самостоятельно выполнена основная часть исследований: определены цель, задачи, объекты и методы исследований; подготовлен обзор литературы; проведены лабораторные и полевые исследования; сформулированы выводы и практические рекомендации. Анализ и отбор штаммов для биопрепарата выполнен совместно с сотрудниками отделения «Медико-биологических исследований» ООО «ИНТЕСЭН-плюс». Технологические параметры обработки загрязнённых объектов рассчитаны совместно с технологами АО «Водоканал-Мытищи». Исследования выполнены в 2022–2025 гг. Личный вклад автора составляет 80 %.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертация соответствует паспорту научной специальности 4.2.2. Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность: пункты 12, 22, 25.

Публикации результатов исследований. Основные материалы диссертационной работы опубликованы в 5 научных работах, в том числе 4 – в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 1 монография, 3 свидетельства о депонировании, 3 заявки на изобретения, 1 инструкция по применению биопрепарата, 1 ТУ на биопрепарат, 1 Методические рекомендации, утвержденные проректором по научной работе ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ».

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, собственных исследований, обсуждения полученных результатов, заключения, практических предложений, списка использованной литературы и приложения. Работа изложена на 171 странице компьютерного текста, содержит 11 таблиц и 25 рисунков. Список использованной литературы включает 171 источник, в том числе 20 публикаций иностранных авторов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы исследований

Работа выполнена в период с 2022 по 2025 гг. на кафедре ветеринарно-санитарной экспертизы и биологической безопасности ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)».

В ходе выполнения практической части определяли действие биопрепарата «Remedion®» на содержание загрязняющих веществ в объектах различного происхождения: сточных водах молокоперерабатывающего предприятия, стоках полигона твёрдых коммунальных отходов, биопрудах и иловых картах очистных сооружений, а также хозяйственно-бытовых сточных водах канализационно-очистных станций при пусконаладочных работах и в режиме нормальной эксплуатации.

В работе использовали четыре штамма микроорганизмов, входящие в состав биопрепарата «Remedion®»: *Bacillus* sp. *Remedion q*. 1359 ВКМ В-3897D и *Paenibacillus* sp. *Remedion r.e*. 505 ВКМ В-3896D, *Remedion o*, *Remedion r.pb*. Препарат представляет собой консорциум безопасных, устойчивых к воздействию загрязняющих веществ бактерий-деструкторов, выделенных из природных и антропогенно трансформированных сред. В качестве референтных (эталонных) штаммов для сравнительной оценки деструктивной активности использовали типовые штаммы *Bacillus subtilis* ВКМ В-501Т, *Paenibacillus polymyxa* ВКМ В-514Т, *Bacillus megaterium* ВКМ В-512Т и *Bacillus licheniformis* ВКМ В-511, полученные из Всероссийской коллекции микроорганизмов (ВКМ).

Все микробиологические исследования проводили в помещениях, соответствующих требованиям ГОСТ Р ИСО 14644-1, СП 1.3.2322-08 и СП 2.2.3670-20. Для культивирования использовали питательные среды отечественного производства: мясо-пептонный агар, мясо-пептонный бульон и агар Мюллера-Хинтон II.

В зависимости от цели эксперимента проводили посевы «газоном», «штрихом» и шпателем по методу Дригальского. Для выделения чистых культур определяли морфологические, тинкториальные, культуральные и ферментативные свойства.

В работе использовали следующее оборудование: ламинарный бокс микробиологической безопасности БМБ-II-«Ламинар-С»-1,5 NEOTERIC, микроскоп «Микмед-5» («ЛОМО», Россия), прибор для измерения оптической плотности Densi-La-Meter II (Чехия).

Депонирование используемых штаммов проведено методом идентификации по 16S рРНК в ЦКП «Биоинженерия» Института биоинженерии им. К. Г. Скрабина ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии».

Масштабирование биопрепарата осуществляли в биореакторе собственной конструкции объёмом 200 м³, оборудованном системами аэрации, перемешивания и термостатирования. В процессе культивирования использовали растворённую в воде смесь минеральных солей (3 ± 0,5 г/л) и углеводородсодержащие добавки для

регулирования пенообразования и дополнительного питания. Готовый препарат соответствовал ТУ 20.59.52-073-46842767-2022. Концентрация жизнеспособных клеток в препарате составляла $2 \cdot 10^9$ КОЕ/мл.

Физико-химические исследования сточных вод, активного ила и навоза проводили в независимых аккредитованных лабораториях по методикам ПНД Ф 14.1:2:4.276-2013, ПНД Ф 14.1:2:4.248-2007, ПНД Ф 14.1:2:4.210-2005, ПНД 10.1:2:3.131-2016 и др.

Для оценки эффективности препарата «Remedion®» в агропромышленном комплексе проводили опыты по обработке навоза крупного рогатого скота и свиней. Навоз помещали в пластиковые контейнеры объемом 40 л. В опытные образцы вносили препарат «Remedion®» в дозировке 400 мл на контейнер; контрольные образцы испытывали без внесения препарата. Экспозиция составила 14 сут при естественных температурных условиях с регулярным перемешиванием и аэрацией содержимого. В сравнительном аспекте определяли: температуру, запах, физические свойства массы и наличие яиц гельминтов (на 1-е и 14-е сутки). Наличие яиц гельминтов в пробах определяли в Центре гигиены и эпидемиологии Московской области, а эффективность препарата оценивали по снижению интенсивности запаха, улучшению структуры массы.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Microsoft Excel 2007. Эффективность удаления загрязняющих веществ (Эф.), рассчитывалась по специальной формуле. Все результаты подтверждены независимыми аккредитованными лабораториями.

Результаты исследований получены лично автором. Участие соисполнителей отражено в списке опубликованных работ. За научно-консультативную поддержку выражаю благодарность научному руководителю, доктору биологических наук, доценту, заведующей кафедрой ветеринарно-санитарной экспертизы и биологической безопасности ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» А.М. Абдуллаевой; за помощь в организации и проведении экспериментальной части исследований и опытно-промышленных испытаний выражаю благодарность кандидату биологических наук, доценту, руководителю отделения «Медико-биологические исследования» ООО «ИНТЕРСЭН-плюс» И.В. Медведевой и главному технологу ООО «ВКС» Н.Д. Рябухиной.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты практического применения препарата «Remedion®» для очистки сточных вод очистных сооружений молокоперерабатывающего предприятия

После внесения препарата в сточные воды очистных сооружений молокоперерабатывающего предприятия отмечалось формирование однородной мелкодисперсной хлопьевидной биомассы с частицами равномерного размера 0,3–

0,5 мм. Цвет бактериальной массы варьировался от светло-коричневого до тёмно-коричневого, наблюдалось равномерное устойчивое пенообразование, связанное с активным биохимическим окислением органических загрязнителей. В первые 3–5 сут после внесения препарата содержание растворённого кислорода в воде увеличилось на 15–18 %, что свидетельствует об интенсификации аэробных процессов.

По данным лабораторного контроля выявлено достоверное снижение основных индикаторных показателей загрязнения (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты дифференциального сравнения содержания загрязняющих веществ (ЗВ) до и после применения препарата «Remedion®»

№ п/п	Наименование показателя ЗВ	Ед. изм.	Содержание ЗВ до применения препарата	Содержание ЗВ после применения препарата	Эффективность очистки, %
1	Железо общее	мг/дм ³	4,67	0,13	97
2	Жиры	мг/дм ³	336	25	93
3	БПК ₅	мгО ₂ /дм ³	2270	573	75
4	Нефтепродукты	мг/дм ³	2,94	0,90	69
5	Взвешенные вещества	мг/дм ³	1280,0	467,6	63
6	Фосфаты	мг/дм ³	28,05	17,80	37
7	ХПК	мгО ₂ /дм ³	3080	2200	29

Эффективность удаления загрязняющих веществ составила, %: железо – 97, жиры – 93, БПК₅ – 75, нефтепродукты – 69, взвешенные вещества – 63, фосфаты – 37, ХПК – 29. При этом концентрация железа снизилась с 0,61 до 0,02 мг/дм³, жиров – с 14,3 до 1,0 мг/дм³, БПК₅ – с 19,8 до 5,0 мг/дм³, нефтепродуктов – с 3,8 до 1,2 мг/дм³, взвешенных веществ – с 37,5 до 13,9 мг/дм³, фосфатов – с 4,1 до 2,6 мг/дм³, ХПК – с 52,3 до 37,0 мг/дм³. После биологической обработки исчез характерный фекальный и гнилостный запах, вода приобрела светло-жёлтый цвет, визуально стала прозрачнее, запах слабый или отсутствовал полностью.

Несмотря на общую высокую эффективность, выявлено различие в степени воздействия препарата на разные типы загрязнителей. Максимальные показатели очистки характерны для соединений органической природы – жиров и веществ, определяющих БПК₅ (снижение на 75 %), а также для ионов железа (97 %), участвующих в химическом осаждении. Снижение по показателям фосфатов (37 %) и ХПК (29 %) было менее выраженным, что можно объяснить устойчивостью фосфорорганических соединений и ограниченной биоусвояемостью

трудноокисляемых фракций органики.

Таким образом, применение биопрепарата «Remedion®» обеспечило снижение концентрации основных загрязняющих веществ в сточных водах более чем в 3 раза, улучшение физико-химических показателей и устранение запаха. Препарат проявил высокую активность в отношении жировых и органических соединений, подтверждая целесообразность его использования в системах биологической очистки сточных вод предприятий агропромышленного комплекса.

Результаты апробации биопрепарата для очистки фильтратов полигонов твёрдых коммунальных отходов

Лабораторную апробацию биопрепарата «Remedion®» для очистки фильтратов полигонов твёрдых коммунальных отходов (ТКО) проводили на полигоне Краснодарского края. Испытания выполнялись с целью оценки эффективности биоремедиации в отношении комплекса неорганических и органических загрязнителей, характерных для фильтрационных стоков объектов размещения отходов. Рабочие растворы препарата вносили в образцы фильтрата в аэробных условиях при постоянном перемешивании. Обработку проводили шестикратным внесением препарата с интервалами 2–8 сут, обеспечивая равномерную активность бактериальных клеток в объёме среды. Дозировка вычислялась на основании данных химического анализа исходного фильтрата.

Дифференциальное сравнение показателей до и после обработки (табл. 2) показало значительное сокращение концентрации загрязняющих веществ при использовании «Remedion®». Эффективность удаления составила, %: нитраты – 96, кремний – 94, общее железо – 82, нефтепродукты – 70, общая минерализация – 61, хлориды – 54, БПК₅ – 53, ХПК – 21. Концентрация нитратов снизилась с 36,1 до 1,5 мг/дм³, кремния – с 7,3 до 0,4 мг/дм³, общего железа – с 2,2 до 0,4 мг/дм³, нефтепродуктов – с 9,8 до 2,9 мг/дм³, а показатель БПК₅ уменьшился с 17,6 до 8,3 мг/дм³. После обработки наблюдалось осветление пробы, снижение мутности и устранение характерного запаха фильтрата.

Таблица 2 – Содержание загрязняющих веществ (ЗВ) в образце фильтрата полигона ТКО до и после применения препарата «Remedion®»

№ п/п	Наименование показателя ЗВ	Ед. изм.	Содержание ЗВ до применения препарата	Содержание ЗВ после применения препарата	Эффективность очистки, %
1	Нитраты	мг/дм ³	2,5	0,1	96
2	Кремний	мг/дм ³	154,00	9,25	94
3	Железо общее	мг/дм ³	19,40	3,44	82
4	Нефтепродукты	мг/дм ³	27,0	8,0	70

5	Общая минерализация (сухой остаток)	мг/дм ³	22 250	8770	61
6	Хлориды	мг/дм ³	3779	1730	54
7	БПК ₅	мг О ₂ /дм ³	6400	3030	53
8	ХПК	мг О ₂ /дм ³	11 566	9100	21

Полученные результаты подтверждают эффективность введения препарата «Remedion®» в фильтрационные воды полигонов ТКО. Высокие показатели очистки по азотсодержащим соединениям, нефтепродуктам и железу свидетельствуют о выраженной биодеструктивной активности препарата и его комплексном действии на широкий спектр загрязнителей. Биотехнологический метод обработки обеспечивает снижение биологической нагрузки, уменьшение общей минерализации и соответствует требованиям экологической безопасности. Применение препарата «Remedion®» целесообразно рассматривать как эффективную, экономически и экологически оправданную альтернативу физико-химическим способам очистки фильтратов на полигонах ТКО.

Результаты практического применения биопрепарата «Remedion®» на этапе пусконаладочных работ

Опытно-промышленные испытания (ОПИ) биопрепарата «Remedion®» для биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод проводили на коммунальных очистных сооружениях посёлка г. о. Мытищи в период пусконаладочных работ (апрель 2024 г.). Очистные сооружения производительностью 2500 м³/сут включали первичные и вторичные отстойники, аэротенки-денитрификаторы и нитрификаторы, биореакторы доочистки с ершовой загрузкой и песчано-гравийные фильтры. На этапе запуска функционировала только механическая очистка, тогда как формирование активного ила требовало длительного времени, поэтому для обеспечения биологического процесса использовали биопрепарат «Remedion®».

Препарат вносили в два этапа. На первом этапе вводили четыре штамма в отдельные технологические зоны: *Remedion o* – 100 л в первичный отстойник, *Remedion r* – 100 л в аэротенк-денитрификатор, *Remedion r.pb* – 100 л в аэротенк-нитрификатор и *Remedion q* – 100 л во вторичный отстойник. На втором этапе дозу увеличивали вдвое (по 200 л каждого штамма), распределяя препарат аналогично.

Отбор промежуточных проб проводили через 1 сут после каждого внесения, итоговые пробы – через 3 сут после первого этапа и 1 сут после второго. Контрольные пробы брали перед началом ОПИ.

Результаты анализа (табл. 3) показали высокую эффективность биопрепарата

по большинству исследованных показателей. Эффективность снижения загрязнителей, %: БПК₅ – 98 (с 200 до 3,4 мг О₂/дм³); АПАВ – 95 (с 2,1 до 0,109 мг/дм³); нефтепродукты – 88; взвешенные вещества – 88; ХПК – 82; нитрит-ионы – 80; аммоний – 73; фосфаты – 67; общее железо – 58; нитраты – 45; хлориды – 10. После обработки наблюдались снижение мутности и запаха, стабильное насыщение воды кислородом и осветление сточных вод.

Таблица 3 – Максимальная эффективность биоремедиации хозяйственно-бытовых сточных вод препаратом «Remedion®» в период ПНР на КОС

№ п/п	Наименование показателя ЗВ	Ед. изм.	Содержание ЗВ до применения препарата	Содержание ЗВ после применения препарата	Эффективность биоремедиации, %
1	БПК ₅	мгО ₂ /дм ³	200	3,4	98
2	АПАВ	мг/дм ³	2,1	0,109	95
3	Нефтепродукты	мг/дм ³	2,6	0,3	88
4	Взвешенные вещества	мг/дм ³	165	19	88
5	ХПК	мгО ₂ /дм ³	500	89	82
6	Нитрит-ион	мг/дм ³	0,670	0,135	80
7	Аммоний-ион	мг/дм ³	85	23	73
8	Фосфор фосфатов	мг/дм ³	7	2,3	67
9	Железо общее	мг/дм ³	0,6	0,25	58
10	Нитрат-ион	мг/дм ³	0,85	0,47	45
11	Хлорид-ион	мг/дм ³	77	69	10

Таким образом, применение биопрепарата «Remedion®» в ходе пусконаладочных работ обеспечило эффективную биоремедиацию сточных вод и позволило сократить время запуска биологической очистки. Препарат продемонстрировал высокую эффективность в отношении органических и углеводородных загрязнителей и может быть рекомендован для использования на КОС в сочетании с физико-химическими методами для достижения полного комплекса очистки.

Результаты применения биопрепарата «Remedion®» для интенсификации биологической очистки сточных вод активным илом

Опытно-промышленные испытания биопрепарата «Remedion®» с целью интенсификации работы активного ила проводили на канализационных очистных сооружениях одного из городских поселений г. о. Мытищи (Московская область). Испытания направлены на повышение устойчивости и активности гидробионтов, ускорение окисления органических соединений и улучшение удаления биогенных загрязнителей в процессе биоремедиации.

Биопрепарат вносили в аэротенки-денитрификаторы в один этап с равномерным распределением по объёму локусов при непрерывном перемешивании. Использовали четыре штамма в объеме 100 л каждого: *Remedion o*, *Remedion r*, *Remedion r.pb* и *Remedion q*. Внесённые культуры мигрировали в аэробные зоны нитрификации по замкнутому циклу возвратного ила. Отбор проб сточных вод выполняли до и после внесения препарата, итоговые пробы – через 1 сут после окончания опытов.

После внесения препарата наблюдалось активное пенообразование в аэротенках, обусловленное выделением биосурфактантов, синтезируемых бактериями в процессе разложения органических загрязнителей. В аэробных условиях пенообразование усиливалось с ростом концентрации растворённого кислорода.

Таблица 4 – Эффективность биоремедиации хозяйственно-бытовых сточных вод биопрепаратом «Remedion®», в качестве добавки-интенсификатора процесса биологической очистки на КОС

№ п/п	Наименование показателя ЗВ	Ед. изм.	Остаточное содержание ЗВ до применения препарата	Остаточное содержание ЗВ после применения препарата	Эффективность биоремедиации, %
1	ХПК	мгО ₂ /дм ³	55	8	85
2	Нефтепродукты	мг/дм ³	0,19	0,04	79
3	Железо общее	мг/дм ³	0,24	0,06	75
4	Аммоний-ион	мг/дм ³	0,75	0,23	69
5	БПК ₅	мгО ₂ /дм ³	3,80	1,22	68
6	АПАВ	мг/дм ³	0,11	0,05	55
7	Фосфат-ион (по Р)	мг/дм ³	4,73	4,00	15

8	Сульфат-ион	мг/дм ³	39	35	10
9	Взвешенные вещества	мг/дм ³	10,4	9,8	6

Согласно данным химического анализа (табл. 4), применение препарата «Remedion®» обеспечило существенное улучшение показателей качества сточных вод. Эффективность снижения загрязнителей составила, %: ХПК – 85, БПК₅ – 68, нефтепродукты – 79, общее железо – 75, аммоний – 69, АПАВ – 55, фосфаты – 15, сульфаты – 10, взвешенные вещества – 6. После обработки отмечены осветление воды, снижение мутности и устранение остаточного запаха.

Таким образом, биопрепарат «Remedion®» проявил высокую эффективность в ускорении процессов биологического окисления и минерализации органических загрязнений, повышая стабильность и активность микробного сообщества активного ила.

Результаты испытаний биопрепарата «Remedion®» при очистке каскадных биопрудов

Опытно-промышленные испытания биопрепарата «Remedion®» для очистки каскадных биопрудов доочистки централизованных систем водоотведения (ЦСВО) проводили на одном из коммунальных очистных сооружений г. о. Мытищи (Московская область) на четырёх каскадных аэрируемых биопрудах при фактической производительности 1200 м³/сут. В состав очистных сооружений входят две технологические очереди, включающие песколовки, двухкоридорные аэротенки-вытеснители и вторичные отстойники. Биопрепарат вносили в два этапа по специально разработанной схеме. Оценивали эффективность технологии биоремедиации для повышения степени очистки сточных вод и восстановления биологического потенциала изношенных систем, эксплуатируемых более 30 лет.

Этап 1 (19.08.2022): залповое равномерное внесение в аэротенки-нитрификаторы – 1,5 м³ *Remedion r* и 1,5 м³ *Remedion q*.

Этап 2 (26.08.2022): повторное внесение тех же штаммов по 2,0 м³ каждого вида. Введение препарата осуществляли равномерным распылением по поверхности аэротенков с дальнейшей миграцией раствора в каскадные биопруды.

Перед проведением испытаний выполнены лабораторные анализы сточных вод биопрудов для определения исходных концентраций загрязняющих веществ и расчёта оптимальной дозы препарата. В процессе проведения ОПИ отбирались промежуточные пробы для оценки динамики снижения содержания загрязнителей и практической эффективности применения биоремедиации.

Сравнительный анализ химического состава сточных вод до и после применения препарата показал существенное повышение эффективности доочистки по основным нормируемым показателям (табл. 5). В биопруде № 3, являющемся завершающим звеном каскада, эффективность удаления загрязнителей составила, %: взвешенные вещества – 80, ХПК – 74, нитрат-ион – 72, нефтепродукты – 65, АПАВ – 57. После обработки зафиксированы снижение мутности и цветности сточных

вод, полное устранение посторонних запахов и отсутствие пленки нефтепродуктов на поверхности.

Таблица 5 – Результаты дифференциального сравнения нормируемых показателей загрязняющих веществ в сточных водах биопруда № 3 до и после применения препарата «Remedion®»

№ п/п	Наименование показателя ЗВ	Ед. изм.	Содержание ЗВ до применения биопрепарата	Содержание ЗВ после применения биопрепарата	Эффективность биоремедиации, %
1	Взвешенные вещества	мг/дм ³	158	31	80
2	Химическое потребление кислорода (ХПК)	мгО ₂ /дм ³	1384	359	74
3	Нитрат-ионы	мг/дм ³	5,7	1,6	72
4	Нефтепродукты	мг/дм ³	3,4	1,2	65
5	АПАВ	мг/дм ³	1,70	0,73	57

Таким образом, применение биопрепарата «Remedion®» на стадии доочистки каскадных биопрудов обеспечило значительное снижение концентрации загрязняющих веществ, восстановление окислительно-биологической активности водной экосистемы и приведение показателей качества к нормативам сточных вод рыбохозяйственного назначения.

Результаты испытаний биопрепарата «Remedion®» для очистки иловых отложений от тяжёлых металлов

Эффективность биопрепарата «Remedion®» при очистке иловых отложений с иловых карт от тяжёлых металлов оценивали на иловых картах очистного сооружения г. о. Мытищи (Московская область). Испытания проводили на пробах осадков сточных вод (объём 4 л), с использованием различных концентраций препарата: 2,5 % (100 мл), 5 % (200 мл) и 10 % (400 мл) на образец. Были апробированы три технологии обработки: полив, полив с рыхлением и полив с укрыванием. Наиболее высокая эффективность зафиксирована при методе полива с укрыванием, обеспечивающем равномерное распределение препарата и создание стабильных анаэробных условий.

В ходе испытаний количественным химическим анализом (КХА) определяли содержание Ва, К, Со, Мп, Сu, Ni, Рb, Cr, Zn и В до и после обработки. Сравнительные данные приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты дифференциального сравнения нормируемых показателей загрязняющих веществ в образцах ила до и после применения

препарата «Remedion®» в концентрации 10%

№ п/п	Наименование показателя ЗВ	Ед. изм.	Содержание ЗВ до применения биопрепарата	Содержание ЗВ после применения биопрепарата	Эффективность биоремедиации, %
1	Барий (Ba)	мг/кг	184	131	29
2	Калий (K)	%	0,31	0,35	0
3	Кобальт (Co)	мг/кг	3,58	2,76	23
4	Марганец (Mn)	мг/кг	115	85,9	26
5	Медь (Cu)	мг/кг	204	157	24
6	Никель (Ni)	мг/кг	14,5	12,3	16
7	Свинец (Pb)	мг/кг	20,8	15,7	25
8	Хром общий (Cr)	мг/кг	23,8	20,9	13
9	Цинк (Zn)	мг/кг	2190	1660	25
10	Бор (B)	мг/кг	29,2	25,5	13

По результатам анализов установлено, что при 2,5 %-й концентрации препарата степень снижения содержания отдельных элементов составила: К, Cu и Zn – 25–30 %, Co и Mn – около 20 %, а Cr и B – менее 10 %. При 5 %-й концентрации эффективность очистки по калию и кобальту достигала 20–30 %, по меди – около 24 %, по хрому – 8 %, тогда как количество бария и бора оставалось практически без изменений. При 10 %-й содержании препарата наилучшие результаты также отмечены для меди и калия (25–30 %), тогда как никель и бор удалялись на уровне около 10 %.

Таким образом, увеличение дозы биопрепарата не всегда приводило к росту эффективности очистки. Для металлов с высокой химической активностью, таких как калий, медь и цинк, отмечалось устойчивое снижение концентраций при всех применённых дозах, что связано с их высокой биодоступностью для спорообразующих бактерий *Bacillus* и *Paenibacillus*. Микроорганизмы связывали и осаждали ионы этих элементов, снижая их подвижность в иловой массе. В то же время для хрома и бора эффективность биоремедиации не превышала 10–12 %, что указывает на их устойчивость к биологическому разложению. Полученные результаты показывают, что применение биопрепарата «Remedion®» способствует детоксикации иловых отложений и снижению концентраций ряда тяжёлых металлов

до 30 %. Эффективность биоочистки определяется не только дозой препарата, но и физико-химическими свойствами металлов, а также параметрами среды.

Результаты испытаний биопрепарата «Remedion®» при обработке навоза крупного рогатого скота и свиней

Для оценки эффективности биопрепарата «Remedion®» в снижении запаха и улучшении санитарно-гигиенических характеристик навоза крупного рогатого скота (КРС) и свиней проводили практические испытания биопрепарата в условиях животноводческих комплексов Московской области. Образцы навоза были отобраны: крупного рогатого скота – на племзаводе «Ульянино», свиней – на комплексе «Машкино».

Для опытов свежий навоз равномерно распределяли в пластиковые контейнеры объёмом 40 л. Контейнер № 1 (опытный) содержал навоз с добавлением 400 мл биопрепарата «Remedion®», который вносили методом распыления с последующим перемешиванием. Контейнер № 2 (контрольный) был без добавления препарата. Контейнеры с вентиляционными крышками выдерживали в течение 14 сут в защищённых условиях; перемешивание выполняли каждые 2 сут, проветривание проводили ежедневно. В процессе эксперимента контролировали температуру, запах, цвет, текстуру массы и наличие яиц гельминтов (1-е и 14-е сутки).

В опытных образцах свиного навоза уже со 2–3-х суток отмечено снижение интенсивности запаха, появление пенообразной плёнки и осветление поверхности, в то время как контрольный образец оставался тёмным и с резким неприятным запахом. К 8–10 суткам опытная масса стала светлее, запах – слабым; к 14-м суткам запах практически не определялся. Контрольные пробы, напротив, сохраняли зловонный запах, повышенную влажность и тёмную окраску.

При обработке навоза КРС положительные изменения наблюдались с 2-х суток: в опытных образцах фиксировалось осветление массы и уменьшение интенсивности запаха. К 6-м суткам отмечено отсутствие запаха, появление рыхлой структуры и исчезновение насекомых. Контрольные образцы сохраняли тёмный цвет, резкий запах и служили местом размножения мух. К 12–14-м суткам в обработанных пробах установлено оседание массы, формирование однородной структуры, тогда как контрольные пробы оставались плотными и зловонными. Микроскопические исследования показали снижение числа яиц гельминтов в обработанных образцах.

Таким образом, препарат «Remedion®» способствует ускоренному разложению органических веществ, снижению интенсивности запаха и изменению структуры навозной массы уже через 2–3 сут после внесения. К 14-м суткам интенсивность запаха уменьшалась до почти полного исчезновения, поверхность массы осветлялась, а влажность снижалась. Эффект связан с биодеструктивной активностью спорообразующих бактерий (*Bacillus* и *Paenibacillus*), продуцирующих ферменты (протеазы, липазы, целлюлазы), которые ускоряют разложение органических веществ и уменьшают образование летучих зловонных соединений. Повышение температуры и изменение pH в результате брожения создаёт условия,

неблагоприятные для развития патогенной микробиоты и паразитов. Полученные результаты подтверждают применимость препарата «Remedion®» для биологической обработки навоза КРС и свиней в условиях агропромышленного производства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. Проведенный анализ механических, физико-химических и биологических методов очистки сточных вод позволил выявить не только основные тенденции, достижения и проблемы в данной области, но и установить, что традиционные технологии имеют ограниченную эффективность при удалении сложных загрязнителей, таких как фармацевтические препараты, отходы животноводства, тяжелые металлы, нефтепродукты и стойкие органические соединения.

2. Изучены механизмы воздействия бактериальных деструкторов на органические и неорганические загрязнители. Были выявлены основные механизмы, с помощью которых эти микроорганизмы способствуют разложению загрязнителей и очистке воды, что позволяет предложить эффективные методы биоремедиации для решения экологических проблем, связанных с загрязнением водных ресурсов. Использование специализированных штаммов микроорганизмов позволяет разлагать сложные загрязняющие вещества, включая жиры, масла и тяжелые металлы, до безопасных соединений.

3. Проведены лабораторные и полевые испытания препарата «Remedion®» на различных объектах очистки сточных вод. Установлено, что его применение позволяет достигать высокой степени очистки (до нормативных показателей) по биохимической потребности в кислороде (БПК), химической потребности в кислороде (ХПК) и содержанию взвешенных веществ.

4. Результаты исследования подтвердили, что использование бактериальных деструкторов способствует поддержанию и восстановлению биоразнообразия микробных сообществ активного ила. Это повышает устойчивость биологических систем очистки к изменению условий среды и состава сточных вод.

5. Впервые продемонстрирована возможность успешного внедрения биопрепарата «Remedion®» на очистных сооружениях различных типов (молокоперерабатывающие предприятия, полигоны ТКО, городские очистные системы). Это подтверждает универсальность и экономическую целесообразность его использования.

6. Разработаны конкретные рекомендации по дозированию, режиму внесения и условиям применения бактериальных деструкторов, которые позволяют повысить эффективность очистки и минимизировать эксплуатационные затраты.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для улучшения качества очистки сточных вод очистных сооружений необходимо использовать биопрепарат «Remedion®» в концентрациях от $2 \cdot 10^9$ до

$2 \cdot 10^{12}$ КОЕ/мл, в непрерывном режиме и в аэробных условиях, либо автономно, либо в присутствии активного ила в течение 1–5 сут при постоянном перемешивании. Для каждого объекта следует составлять индивидуальный регламент обработки с учетом его местоположения, технических характеристик и уровня загрязнения.

2. Для улучшения качественного и количественного содержания микроорганизмов активного ила на очистных сооружениях и предупреждения потери его биоразнообразия, а также для создания более эффективных и экологически чистых технологий очистки сточных вод целесообразно использовать биопрепарат «Remedion®».

3. Для ускорения накопления активного ила в аэротенках и поддержания качества очистки сточных вод рекомендуется применять биопрепарат «Remedion®» в ходе пусконаладочных работ на очистных сооружениях.

4. С целью снижения на иловых картах в очистных сооружениях концентрации тяжелых металлов для обработки ила целесообразно использовать биопрепарат «Remedion®» методом орошения и накрывания.

5. Для биологической обработки навоза в агропромышленном комплексе рекомендуется применять биопрепарат «Remedion®» в дозе, обеспечивающей концентрацию микроорганизмов 10^9 – 10^{10} КОЕ/мл, равномерно распределяя его методом опрыскивания с перемешиванием. Экспозиция составляет 10–14 сут при регулярном проветривании и перемешивании.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Исследования применения бактериальных ассоциаций в биоремедиации способствуют развитию экологически безопасных технологий очистки сточных вод и рациональному использованию водных ресурсов. Разработка и оптимизация консорциумов микроорганизмов-деструкторов позволяет создавать эффективные биопрепараты для разложения широкого спектра загрязнителей. Использование современных методов – метагеномики, метаболомики и биоинформатики – расширяет возможности изучения микробных сообществ сточных вод и прогнозирования их поведения. Совершенствование состава бактериальных консорциумов и условий их работы повышает устойчивость систем очистки и обеспечивает экологическую безопасность. Перспективы дальнейших исследований связаны с созданием стабильных и высокоэффективных биотехнологий, минимизирующих воздействие на окружающую среду и улучшающих качество очищенной воды.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

БПК – биохимическая потребность в кислороде.

ХПК – химическая потребность в кислороде.

ТКО – твердые коммунальные отходы.

КОС – коммунальные очистные сооружения.

ПАВ – поверхностно-активные вещества.

АПАВ – анионные поверхностно-активные вещества

ПАУ – полиароматические углеводороды.
ПНД – природоохранные нормативные документы.
КОЕ/мл – колониеобразующие единицы на миллилитр.

**Список работ, опубликованных по теме диссертации
В изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России**

1. **Куршин Д.А.,** Абдуллаева А.М., Рябухина Н.Д. Медведева И.В. Применение биопрепарата «Remedion» для комплексной биоремедиации каскадных биопрудов доочистки очистных сооружений // Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии». – 2023. – № 1(45). – С. 77-83. – DOI 10.36871/vet.san.hyг.ecol.202301011.
2. **Куршин Д.А.,** Абдуллаева А.М., Рябухина Н.Д. Медведева И.В. Применение препарата Remedion для комплексной очистки стоков на очистных сооружениях молокоперерабатывающего предприятия // Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии». – 2024. – № 4(52). – С. 566-574. – DOI 10.36871/vet.san.hyг.ecol.202404012.
3. **Куршин Д.А.,** Абдуллаева А.М., Рябухина Н.Д. Медведева И.В. Применение технологии биоремедиации для комплексной очистки фильтратов полигонов твердых коммунальных отходов препаратом Remedion // Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии». – 2025. – № 1(53). – С. 132-138. – DOI 10.36871/vet.san.hyг.ecol.202501017.
4. **Куршин Д.А.,** Абдуллаева А.М., Семенов В.Г., Рябухина Н.Д. Медведева И.В. Интенсификация биологической очистки сточных вод на очистных сооружениях // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. – 2025. – № 1(32). – С. 100-106. – DOI 10.48612/vch/k3ea-g8zx-x29z.

Другие научные труды и монографии

1. **Куршин Д.А.,** Абдуллаева А.М., Юсупова Г.Р., Рябухина Н.Д. Медведева И.В. Опытнo-промышленные испытания препарата «REMEDIION®» для биологической очистки сточных вод // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2025. – Т. 261, № 1. – С. 147-155. – DOI 10.31588/2413_4201_1883_1_261_147.
2. **Куршин Д.А.,** Абдуллаева А.М., Рябухина Н.Д., Медведева И.В., Карева Е.И. Применение биопрепарата «REMEDIION» для очистки сточных вод.: Монография. – М.: Изд. дом «Научная библиотека», 2025. – 191 с.