

На правах рукописи



Перминова Владислава Владимировна

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ОЧИСТКИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ОЗЕР
(НИЖНЕВАРТОВСКИЙ РАЙОН, ХМАО-ЮГРА)**

1.5.15. Экология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Научный руководитель:

доктор биологических наук, доцент
Воробьев Данил Сергеевич

Официальные оппоненты:

Сулейманов Руслан Римович, доктор биологических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, лаборатория почвоведения Уфимского Института биологии – обособленного структурного подразделения УФИЦ РАН, главный научный сотрудник

Шепелев Игорь Иннокентьевич, доктор технических наук, Общество с ограниченной ответственностью «Экологический Инжиниринговый центр», директор

Холмогорова Надежда Владимировна, кандидат биологических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный университет», кафедра экологии и природопользования, доцент

Защита состоится 25 октября 2023 г. в 11 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета «НИ ТГУ.1.5.02», созданного на базе Института биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства (Биологического института) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36 (Научная библиотека ТГУ, малый конференц-зал).

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке и на официальном сайте федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» www.tsu.ru.

Материалы по защите диссертации размещены на официальном сайте ТГУ: <https://dissertations.tsu.ru/PublicApplications/Details/ff6e2ff9-bfe0-4a46-8a17-bdbe620679e1>

Автореферат разослан «__» сентября 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат биологических наук,
доцент



Франк Юлия Александровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Гидрологическая сеть Среднего Приобья находится под мощным техногенным прессом в связи с освоением с середины XX века нефтегазовых месторождений, сопровождавшимся залповыми выбросами при авариях на нефтепроводах, не поддающимися точному подсчету. Как следствие произошло отклонение в солевом и биогенном режиме водных объектов, особенно пойменных и внутриболотных озер, находящихся на территориях активной нефтедобычи. Донные отложения представляют собой важный и специфический объект исследования, способный отражать информацию о нефтяном загрязнении водного объекта при внешнем благополучии: отсутствии нефтяной пленки, радужных нефтяных разводов, низком или допустимом содержании нефтяных углеводородов в воде. Однако при механическом воздействии, а также при повышении температуры придонных слоев воды донные отложения становятся источником вторичного загрязнения водного объекта. Информация о нефтезагрязнениях, локализованных на дне водных объектов, является наиболее объективной для целей экологического мониторинга.

Скрытый характер загрязнений донных отложений водных объектов и, как правило, отсутствие достоверной информации об их объемах и давности, в совокупности представляют существенную проблему при оценке степени загрязнения, проектировании мероприятий по очистке водных объектов и принятии управленческих решений. В настоящее время при оценке нефтяного загрязнения донных отложений водных объектов пользуются только концентрацией углеводородов нефти в составе донных отложений (в воздушно-сухом состоянии). Химический анализ проб на содержание соединений углеродов нефти является надежным методом, но методически недостаточным для оценки загрязненности донных отложений водных объектов. При исходных данных в виде концентрации загрязнений, невозможно оценить объемы нефти и нефтепродуктов, которые находятся на дне водного объекта.

Контроль за качеством водной среды посредством химических и физико-химических методов является общепринятым подходом, но результаты анализа только лишь отдельных химических элементов не могут быть достаточными для заключения о действии антропогенных факторов на природную среду. В современной комплексной системе оценки экологического состояния водных объектов важную роль играет биодиагностический подход, учитывающий влияние загрязнений на гидробионтов. Донные беспозвоночные, а именно макрозообентос, широко используются для анализа экологического состояния водоемов и водотоков в Российской Федерации и в мировой практике. Однако результаты мониторинга состояния беспозвоночных гидробионтов не отображаются в ежегодных отчетах об экологическом состоянии водных объектов. Поэтому изучение и обнародование данных о состоянии донной экосистемы в условиях нефтезагрязнения является важной задачей, способствующей накоплению уникального материала для целей экологического мониторинга и прогнозирования экологических рисков.

Степень разработанности темы исследования. Озерные системы ХМАО-Югры изучены менее подробно, чем речные, и сосредоточены в основном на территориях лицензионных участков и особо охраняемых природных территориях. Проблеме загрязненности озерных систем региона посвящены немногочисленные работы российских исследователей: Ю. Ф. Овечкин, О. В. Гетер, Д. В. Пислегин, А. В. Соромотин, Н. Д. Минаев, А. В. Нехорошева, О. С. Кузьменко, Е. В. Гаевая, Е. В. Захарова, Л. В. Михайлова, Н. Ю. Степанова, А. А. Кудрявцев, Г. Х. Абдуллина, А. А. Тигеев, Л. В. Яныгина, Е. Н. Крылова, Т. И. Романова, В. А. Самарин, Д. В. Усламин, О. А. Алешина, С. Н. Гашев, А. В. Градова.

На территории ХМАО исследования донных отложений водных объектов сфокусированы на определении степени загрязненности тяжелыми металлами, нефтью и нефтепродуктами, в том числе идентификации происхождения нефтезагрязнений. Наиболее значимые работы отражены в тематических обзорах, посвященных истории изучения донных отложений озер России в период с 2000 по 2015 гг., что отражено в работах Н. Д. Минаева и соавторов. Определение качественных и количественных характеристик нефтяного загрязнения донных отложений водных объектов является частью работ, посвященных установлению фоновых концентраций и разработке нормативов содержания нефти и нефтепродуктов, чему посвящены работы Л. В. Михайловой и Н. Ю. Степановой.

В донных отложениях нефтяные углеводороды находятся в условиях, сдерживающих процессы их деструкции – дефицит кислорода, низкая температура придонной воды, отсутствие фотоокисления, что определяет длительность цикла самовосстановления водных экосистем. Из монографий и тематических обзоров авторов В. П. Мурыгина, Н. С. Гайдамака, М. А. Гладченко, К. И. Лопатин, А. Д. Смирнов, Т. Ю. Коршунова, О. Н. Логинов известно, что наиболее разработанными являются технологии сбора нефти с поверхности водоемов, а очистка донных отложений водных объектов от нефти и нефтепродуктов признается одной из самых сложных, трудоемких и недостаточно разработанных задач. Прошедшие апробацию технологии очистки характерных для Самотлорского месторождения торфяных донных отложений в России являются пока крайне малочисленными, так как предложенное решение может быть осуществлено только при соответствии требованиям государственной экологической экспертизы. Соответственно, также единичны исследования реакции гидробионтов и их сообществ, в частности макрозообентоса, на применение технологий очистки донных отложений природных водоемов и водотоков.

Наличие в Ханты-Мансийском автономном округе действующих нормативных документов, регламентирующих оценку загрязненности нефтью и нефтепродуктами донных отложений водных объектов, является одним из немногочисленных примеров успешной межведомственной коммуникации специалистов. Введение на региональном уровне норматива допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в донных отложениях после проведения восстановительных работ на водных объектах стимулирует

недропользователей не только выполнять обязанность по принятию оперативных мер, направленных на ликвидацию загрязнения, закрепленную в нормах закона, но и искать оптимальные подходы к реабилитации акваторий, характеризующихся значительной давностью нефтезагрязнений. Так называемое «историческое наследие» или «исторический ущерб» представляет собой не столько результат длительной эксплуатации нефтяных месторождений, отразившийся на состоянии донных отложений, сколько варварского покорения природы и присвоение ресурсов, без оглядки на судьбу этой уникальной территории. На данном этапе развития техники и технологий более невозможно игнорировать хроническое загрязнение донных отложений природных водотоков и водоемов, в частности перспективным видится учет данного типа нефтезагрязнений при разработке индикаторов нагрузки на окружающую природную среду регионов.

Таким образом, задача по разработке и внедрению технологии очистки донных отложений водных объектов от нефти и нефтепродуктов неразрывно связана с проектированием восстановительных работ и контролем экологического состояния очищаемых природных сред. Актуальность работы заключается в восполнении существующего пробела знаний в отношении донных отложений природных водных объектов, в расширении подходов при оценке нефтяного загрязнения донных отложений, в накоплении уникального материала о донных макробеспозвоночных озера для целей экологического мониторинга и прогнозирования экологических рисков, а также во внедрении технологий очистки донных отложений на реальных водных объектах.

Цель работы – технологическое обоснование эффективности применения эрлифтной технологии очистки донных отложений водоемов от нефти и нефтепродуктов на территории активной нефтедобычи.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Провести испытания эрлифтной технологии очистки донных отложений водоемов от нефти и нефтепродуктов по патенту № 2570460 на модельном водном объекте в Нижневартовском районе ХМАО-Югры и оценить ее эффективность по гидрохимическим и гидробиологическим показателям.
2. Изучить особенности процесса восстановления донных отложений озера после проведения очистки от нефти и нефтепродуктов эрлифтной технологией.
3. Разработать и применить способ определения массы нефти и нефтепродуктов в составе донных отложений водных объектов.
4. Провести оценку экологического состояния донных отложений нефтезагрязненных водоемов в пределах лицензионного участка в Нижневартовском районе ХМАО-Югры.

Научная новизна. Впервые научно обоснованы технологические решения по эффективной очистке донных отложений водных объектов от нефти и нефтепродуктов, основанные на принципе флотации и эрлифта, без изъятия основной массы донных отложений с точки зрения состояния бентосных сообществ нефтезагрязнений озера на территории ХМАО-Югры. Установлено, что после применения эрлифтной технологии очистки донных

отложений от нефти и нефтепродуктов достоверно увеличивается видовое разнообразие, численность и биомасса организмов макрозообентоса, что свидетельствует о запуске процесса самовосстановления очищенного от нефти водоема. Получены приоритетные данные по количественным характеристикам состояния бентосных сообществ 101 нефтезагрязненного озера на территории лицензионного участка в Нижневартовском районе ХМАО-Югры, ранее не подвергавшихся полному гидробиологическому обследованию. Предложен способ для определения массы нефти на единицу площади донных отложений, позволяющий ассоциировать загрязнения не только с массовой концентрацией нефти и нефтепродуктов, но и с площадью водоема, что существенно упрощает технико-экономическое обоснование очистки. Способ успешно применен при проведении инженерно-экологического обследования и разработке проектов очистки 101 нефтезагрязненного озера в Нижневартовском районе ХМАО-Югры.

Теоретическая значимость. Данные, полученные в результате исследования реального применения эрлифтной технологии очистки донных отложений водных объектов от нефти и нефтепродуктов, восполняют существующий пробел знаний в отношении донных отложений природных водных объектов. Предложенный способ определения массы нефти на дне водных объектов обращает внимание на аспекты нормирования содержания этих загрязнителей и неопределенный правовой статус донных отложений водоемов в российском природоохранном законодательстве. Работа вносит вклад в развитие гидробиологии и экологии в области изучения озер, находящихся в условиях хронического загрязнения донных отложений нефтью и нефтепродуктами, с использованием бентосных сообществ как индикаторов антропогенного пресса.

Практическая значимость. Результаты диссертационного исследования могут быть использованы для разработки мероприятий по очистке и восстановлению водных объектов, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, оценке экологического состояния водных объектов в регионах нефтедобычи, а также для количественного определения нефти на дне водоемов. Результаты работы использованы в отчетах по результатам научно-исследовательских работ, проведенных по заказу АО «Самотлорнефтегаз». Результаты диссертации используются при организации учебного процесса студентов кафедры ихтиологии и гидробиологии, а также в хозяйственной деятельности научно-производственной лаборатории инженерных изысканий и технологий природопользования Томского государственного университета.

Методология и методы исследований. В рамках научного исследования применялись традиционные научно-обоснованные методики, включающие классические методы сбора и обработки гидробиологических материалов, расчета и анализа гидробиологических параметров; стандартизированные методы химического и физико-химического анализа проб донных отложений водных объектов; методы оценки качества вод и донных отложений; анализ научной, научно-технической и нормативно-правовой документации.

Применялись инновационные опытно-экспериментальные методики, защищаемые охранными документами.

Положения, выносимые на защиту:

1. Применение эрлифтной технологии очистки донных отложений водоемов от нефти и нефтепродуктов по патенту № 2570460 позволяет достоверно снижать содержание нефти и нефтепродуктов в донных отложениях до уровня регионального норматива – 4 г/кг (органогенные отложения), вне зависимости от начального уровня загрязнения.

2. Применение эрлифтной технологии очистки донных отложений водоемов от нефти и нефтепродуктов активизирует процессы самовосстановления, что отражается на повышении продуктивности и увеличении количественных (численность, биомасса) и качественных (разнообразие экологических групп) показателей донной фауны.

3. Предложен способ определения массы нефти и нефтепродуктов в составе донных отложений водных объектов, охраняемый патентом № 2711119, и доказана его применимость для расчета количественного содержания массы нефти и нефтепродуктов на единицу площади донных отложений водоемов.

4. Исследованные водные объекты на территории активной нефтедобычи Нижневартовского района ХМАО-Югры находятся под действием хронического нефтяного загрязнения, 85 % озер не соответствуют требованиям регионального норматива, утвержденного Постановлением Правительства Ханты-Мансийского автономного округа – Югры № 432-п.

Личный вклад автора. Результаты диссертационного исследования получены автором лично и при его непосредственном участии, в том числе автор принимал участие в планировании исследований, внес творческий вклад в создание результатов интеллектуальной деятельности. Самостоятельно выполнены обработка гидробиологического материала, оценка экологического состояния водных объектов по комплексу показателей, патентно-информационный поиск и анализ научной литературы, статистический анализ и интерпретация полученных результатов, сформулированы выводы диссертационной работы.

Степень достоверности результатов исследования. Обоснованность и достоверность результатов исследований подтверждается значительным по объему собранным материалом, длительным периодом исследований, применением апробированных научно-обоснованных методик. Определение гидрохимического состояния водных объектов проводилось на современном лабораторном оборудовании в аккредитованной лаборатории. Статистическая обработка результатов экспериментальных работ выполнялась с оценкой нормальности распределения и достоверности корреляционной связи получаемых зависимостей.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований представлены в виде устных докладов на 5 международных научных собраниях: 23-я XV Международная школа-конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Инноватика-2019» (Томск, 2019); XXIV Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы

экологии» (Тула, 2020); XXVII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» (Москва, 2020); XXII Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы экологии и природопользования» (Москва, 2021); Международный молодежный научный форум «Ломоносов-2022» (Москва, 2022).

Публикации. По материалам диссертационного исследования опубликовано 10 работ, в том числе 4 статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (из них 1 статья в зарубежном научном журнале, входящем в Web of Science, 2 статьи в российском научном журнале, входящем в Scopus), 1 статья в сборнике материалов конференции, представленном в издании, входящем в Scopus, 4 публикации в сборниках материалов международных научных и научно-практических конференций, форума; получен 1 патент Российской Федерации.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованных источников и литературы, включающего 202 наименования, в том числе на иностранном языке, и 4 приложения. Работа изложена на 134 страницах машинописного текста и включает 11 рисунков и 13 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе «Природные условия и экологические особенности района исследования» рассмотрены основные характеристики рельефа, почв, гидрологической сети Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (рисунок 1). Описаны климатические особенности и тенденции изменения климата в Нижневартовском районе. Учитывая ресурсодобывающую направленность ХМАО-Югры, рассмотрен актуальный вопрос эмиссии парниковых газов и углеродного регулирования региона. Затронут вопрос антропогенной трансформации болот, в частности прокладка просек по низкому рямю и прохождение тяжелой техники, что приводит к значительному увеличению эмиссию метана и снижает поглощение углекислого газа, превращая нарушенные участки болот в источник парниковых газов. Сделан вывод о том, что исключительно важно поддерживать углерододепонирующую способность болот, путем снижения антропогенной нагрузки на болотные экосистемы, особенно в Нижневартовском районе, где 42 % территорий болотных ландшафтов заняты лицензионными участками недр.

Во второй главе «Анализ проблемы загрязнения и состояния водных объектов ХМАО-Югры» проведен аналитический обзор литературы о техногенной трансформации ландшафтов и особенностях загрязнения водных объектов на примере Самотлорского месторождения. Рассмотрены процессы

трансформация нефти и нефтепродуктов в донных отложениях пресных водоемов. Показано, что с течением времени происходит естественное накопление вещества в донных отложениях и нефтезагрязненные участки оказываются погребенными под этими «новыми» слоями донных отложений. Погребенные нефтезагрязненные участки донных отложений оказываются в условиях, еще больше сдерживающих процессы деструкции нефти, из-за затруднительного доступа кислорода и развития в них глеевых и глеево-сероводородных процессов. Проанализированы эффекты нефтяного загрязнения и реакции донных беспозвоночных при оценке экологического состояния водных экосистем. Проанализировано индикаторное значение макрозообентоса и опыт оценки нефтяного загрязнения озерных экосистем. Обобщены результаты изучения реакции бентофауны озер на применение механических способов очистки донных отложений. Сделан вывод, что, несмотря на снижение антропогенной нагрузки, в результате проведения работ по очистке донных отложений водных объектов, причем как с изъятием донных отложений, так и без изъятия, бентические сообщества восстанавливаются очень медленно. С целью минимизации негативных эффектов необходимо подбирать технологии извлечения токсикантов без дополнительной техногенной нагрузки на хрупкие донные биотические сообщества. При планировании проведения работ по очистке донных отложений следует учитывать сезонность развития гидробионтов.

В третьей главе «Отечественные технологии очистки загрязненных донных отложений пресных водных объектов естественного происхождения» представлены результаты поиска научно-технической документации по заданной тематике. Патентная документация является эксклюзивным источником информации, так как заявка на патент проходит тщательную экспертизу на соответствие условиям патентоспособности: новизна, наличие изобретательского уровня и промышленная применимость. Информация, содержащаяся в патентной заявке, как правило, является наиболее полной и достоверной, а также не публикуется до получения даты приоритета. Изложен анализ уровня техники и опыта применения технологий очистки донных отложений, описан опыт применения собственных технических решений для очистки донных отложений водотоков. С целью очистки толщи воды в водотоках от нефти и нефтепродуктов разработано устройство «Барьер», охраняемое патентом на полезную модель № 200965. Принцип работы устройства заключается в создании водо-воздушной завесы по дну водотока поперек течения от береговой линии одной стороны до противоположной, как показано на рисунке 1. Углеводороды нефти улавливаются пузырьками воздуха и поднимаются на поверхность воды.

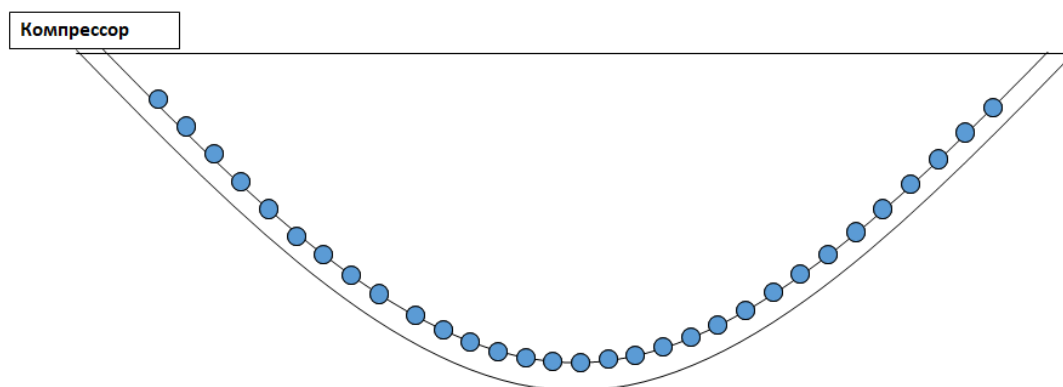


Рисунок 1 – Схема размещения устройства «Барьер» по патенту РФ № 200965 по дну водотока

Описанные разработки являются результатом творческого труда коллектива авторов Томского государственного университета, были применены при очистке донных отложений ручья Малый Войвож, притока р. Ухты, протекающей в Республике Коми (рисунки 2,3,4).

Раскрыты особенности и выявлены необходимые параметры, которые следует учитывать при проектировании работ по очистке донных отложений водных объектов от нефти и нефтепродуктов, в частности, характеризующихся как «историческое наследие», то есть при условии неизвестного объема разлитых нефти и нефтепродуктов, в сложных инфраструктурных и неблагоприятных климатических условиях севера.

Сделан вывод, что при очистке донных отложений этап извлечения углеводородов нефти со дна водного объекта является определяющим эффективностью технологии, соответственно при анализе экономических выгод следует первостепенное внимание уделять техническим возможностям и трудоемкости реализации данного этапа. При оценке эффективности применения технологии очистки донных отложений водных объектов от нефти и нефтепродуктов следует учитывать, что в отличие от водных масс донные отложения статичны, поэтому при равных значениях снижения концентрации, но разных площадях водных объектов, затраты и длительность работ будет увеличиваться, что окажет прямое влияние на значение показателя эффективности – отношение изменения концентрации нефтепродуктов к общим понесенным затратам и продолжительности восстановительных работ.



Рисунок 2 – Применение вибрационной установки по патенту РФ № 203838



Рисунок 3 – Результат обработки дна вибрационной установкой по патенту РФ № 203838. Поднимающиеся со дна нефтезагрязнения растекаются в радужные пленки

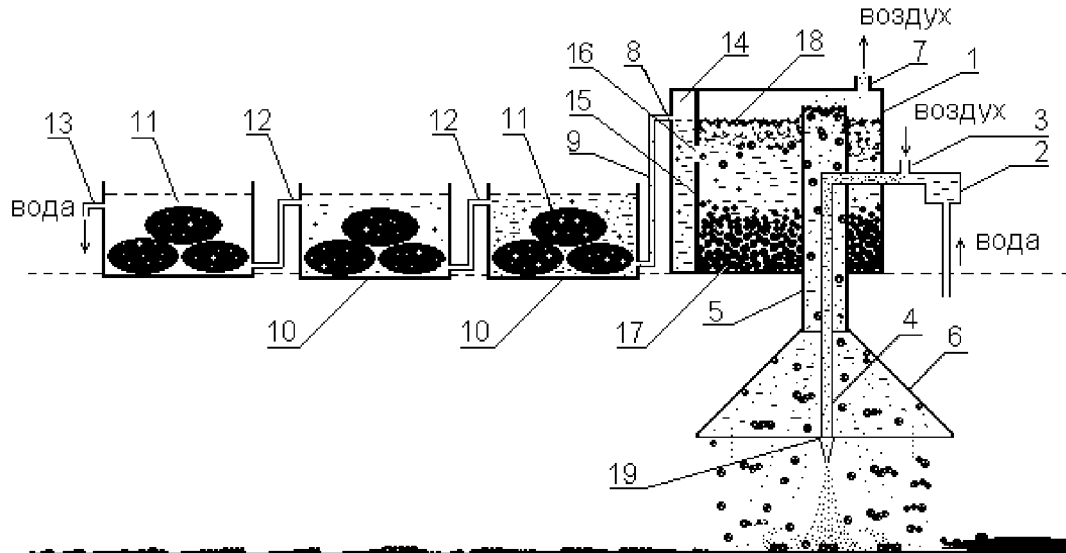


Рисунок 4 – Применение устройства «Барьер» по патенту РФ № 200965 на водотоке

В четвертой главе «Программа, характеристика объектов и методов исследования, объем выполненных работ» изложены основные этапы исследования. Объекты исследования – 101 нефтезагрязненный водный объект на территории активной нефтедобычи. На этапе комплексного гидроэкологического обследования 101 озера отобрано 484 пробы донных отложений, которые проанализированы на содержание нефти и нефтепродуктов, содержание органического вещества и 458 проб на наличие макрозообентоса. Проведен сравнительный анализ содержания нефти и нефтепродуктов в пробах донных отложений с региональным нормативом. Проведена оценка экологического состояния водных объектов по гидробиологическим показателям. Испытания эрлифтной технологии очистки донных отложений водоемов от нефти и нефтепродуктов (далее – эрлифтной технологии очистки донных отложений) проведены на модельном объекте, в качестве которого послужило нефтезагрязненное озеро без названия с присвоенным обозначением «№ 28».

Испытания эрлифтной технологии очистки донных отложений состояли из предварительного гидроэкологического обследования, применения технологии очистки, гидроэкологического мониторинга и производственного контроля; спустя 12 месяцев после проведения очистки донных отложений

состоялся мониторинг восстановления озера. Примененная эрлифтная технология очистки донных отложений водоемов от нефти и нефтепродуктов является результатом творческого труда сотрудников Томского государственного университета и охраняется патентом на изобретение. На рисунке 5 представлена схема способа и устройства по патенту № 2570460.



Фиг. 1

Рисунок 5 – Схема, описывающая устройство по патенту РФ № 2570460

Цифрами на схеме обозначены: 1 – приемная емкость; 2 – водяной насос; 3 – воздушный эжектор; 4 – канал подачи водо-воздушной смеси; 5 – эрлифтный канал; 6 – заборный колпак; 7 – воздухоотводящий патрубок; 8 – водоотводящий патрубок; 9 – гибкая труба; 10 – емкости для локализации нефти; 11 – фильтрующий материал; 12 – переливная труба; 13 – патрубок слива очищенной воды; 14 – гидрозатвор; 15 – перегородка; 16 – отверстие для перелива воды; 17 – гидрофобные нефтяные фракции; 18 – всплывающий слой загрязнений.

Эрлифтная технология очистки донных отложений состоит из этапов размыва донных отложений водо-воздушной смесью под давлением, контролируемого подъема нефти и нефтепродуктов со дна и сбор нефтесодержащей смеси с поверхности водоема. Для осуществления этапов применяли эрлифтную установку – устройство, содержащее канал подачи водо-воздушной смеси, заборный колпак и эрлифтный канал, емкости для локализации нефти, оснащенные фильтрующими материалами. Эрлифтную установку размещали на плавательном судне, обеспечивающем транспортировку по поверхности водоема (рисунок 6).



Рисунок 6 – Демонстрационный образец эрлифтной установки на плавающем судне

По результатам предварительного гидроэкологического обследования модельный объект поделили на сектора очистки. Движение плавательного судна осуществляли от края сектора к середине, расстояние между осями обрабатывания составляло не более 1 м. Заборный колпак и эрлифтный канал опускали ко дну водоема, подавали водо-воздушную смесь под давлением. В процессе размыва донных отложений агрегаты нефти покрывались пузырьками воздуха и через полость эрлифтного канала поднимались на поверхность. На поверхности проводили сбор нефтесодержащей смеси в приемную емкость, где происходило разделение нефтесодержащей смеси на газ, сопутствующую воду и фракции нефти. Гидрофобные нефтяные фракции накапливали в емкости для локализации нефти. Заполненную емкость для локализации нефти транспортировали к береговой площадке, где осуществлялась перекачка нефти в емкость мобильной вакуумной установки с транспортировкой в приемный пункт для отходов. На рисунке 7 показан процесс перелива нефтесодержащей смеси из эрлифтного канала в емкость для локализации нефти.



Рисунок 7 – Фрагмент процесса перелива всплывших нефтезагрязнений из эрлифтного канала в приемную емкость

Расчет количества нефтезагрязнений, аккумулированных в донных отложениях, проводили способом, предложенным авторским коллективом Томского государственного университета и охраняемым патентом на изобретение № 2711119. После определения концентрации (массовая доля) нефтяных углеводородов в анализируемой пробе донных отложений – C_x (г/кг), производили сравнение данного показателя с региональным нормативом допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в донных отложениях – C_f (г/кг). Если значение $C_x > C_f$, то в донных отложениях с высокой вероятностью присутствуют нефтяные углеводороды антропогенного происхождения. Производили расчет содержания нефти во всей пробе донных отложений (C_0 , г), которое равно поделенному на 1000 произведению массы всей пробы донных отложений из точки n (M_n , г) и разницы между массовой концентрацией нефтяных углеводородов по результатам измерений (C_x , г/кг) и массовой концентрацией нефти по установленному нормативу допустимого содержания нефти в донных отложениях (C_f , г/кг). Расчет нефтезагрязнений на единицу площади донных отложений (C_s , г/м²) производили путем деления содержания нефти во всей пробе донных отложений из точки n (C_0 , г) на площадь захвата орудием донных отложений при взятии пробы (S_n , м²). После определения C_s – массы нефтезагрязнений на единицу площади в каждой точке n , находили среднюю арифметическую величину данного показателя для водного объекта.

Отбор проб донных отложений проводили согласно ГОСТ 17.1.5.01-80. Для отбора проб донных отложений пользовались дночерпателем Петерсена с площадью захвата 0,025 м². Суммарное содержание нефтепродуктов определяли методом инфракрасной спектрофотометрии по ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 (ИК-фотометрия) в аккредитованной гидрохимической лаборатории АО «Томскгеомониторинг». В соответствии с ГОСТ 27800-93 определяли содержание органического вещества гравиметрическим методом (потери при прокаливании, ППП). Анализировали также водородный показатель водной вытяжки по ГОСТ 26423-85 и содержание хлорид-иона в водной вытяжке по ГОСТ 26425-85. ГОСТ 17.1.3.07-82 определяет программу оценки качества воды по гидробиологическим показателям. Рассчитывали численность и биомассу животных (в пересчете на 1 м²), число таксонов (экологических групп) бентосных организмов, а также индекс удельного биотического разнообразия по формуле Шеннона. Классы качества воды по гидробиологическим показателям определяются правилами контроля качества воды водоемов и водотоков по ГОСТ 17.1.3.07-82. По величине биомассы зообентоса определяли биологическую продуктивность донных ценозов согласно шкале, предложенной С. П. Китаевым (1984). О состоянии водных объектов судили по соотношению численности олигохет и численности всего бентоса, включая олигохет, применяли олигохетный индекс Гуднайта и Уитли.

В пятой главе «Результаты и обсуждение» представлены результаты исследования» представлены результаты исследования. Предварительное гидроэкологическое обследование показало, что дно было озера № 28 неравномерно загрязнено углеводородами нефти. Минимальная концентрация нефти и нефтепродуктов составила 2,2 г/кг. Высокие концентрации – 157 г/кг и 250 г/кг. Рекордно высокое значение, 342 г нефтепродуктов на 1 кг донных отложений. Среднее содержание нефтепродуктов в донных отложениях озера составило $101827,00 \pm 22908,72$ мг/кг. Проведен анализ состояния донных бентических сообществ. Во всех пробах бентоса обнаружено не было. По показателям биомассы бентоса, озеро № 28 характеризуется очень низким классом трофности донных ценозов по шкале Китаева (альфа-олиготрофный класс). Используемые для оценки качества донных отложений индексы Гуднайта-Уитли и Шеннона отражают очень низкое качество донных отложений озера, что обусловлено сильным нефтяным загрязнением донных отложений – VI класс качества (очень грязные).

Период очистки донных отложений озера № 28 площадью 1,26 га составил 46 дней, среднесуточное время работы флотационной установки (без учета техобслуживания и технического перерыва) составило семь часов в день. Средняя площадь обработки донных отложений в минуту – 2,5 м², а средняя

площадь обработки донных отложений в день – 1050 м² (при среднем направленном воздействии струи под углом 45° и на расстоянии 1,5 м от дна водоема). Основная масса нефти, извлеченной из донных отложений озера, подверглась деструкции микроорганизмами в приповерхностном слое воды и испарилась с водной поверхности. При сборе нефти отмечено, что нефть из донных отложений на 97–99 % представлена жидкими (не битуминизированными) фракциями.

Периодический отбор и количественный химический анализ проб донных отложений, выполненные в рамках производственного экологического контроля, позволили оценить эффективность испытаний. Итоговая концентрация нефтепродуктов в донных отложениях в среднем по озеру составила $1982,94 \pm 147,19$ мг/кг при значении критерия оценки содержания нефтепродуктов в донных отложениях после проведения испытаний равным 4 г/кг (рисунок 8).

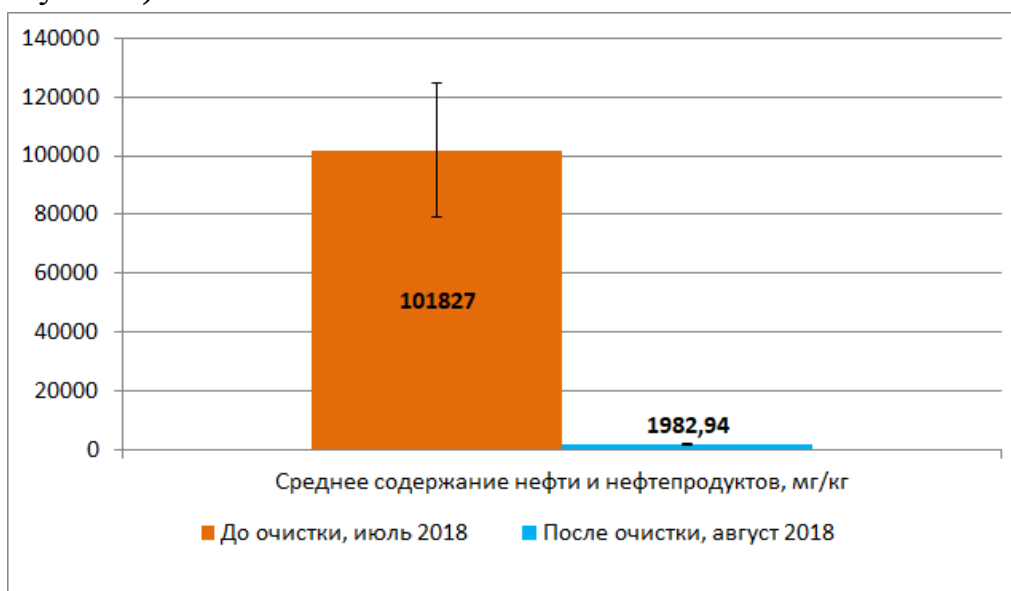


Рисунок 8 – Среднее содержание нефти и нефтепродуктов до и после очистки донных отложений озера № 28

Проведена статистическая обработка данных о содержании нефти и нефтепродуктов в пробах донных отложений до очистки и после очистки. С целью проверки на нормальность распределения применили тест Колмагорова-Смирнова. Данные о загрязнении озера № 28 до очистки характеризуются ненормальным распределением ($D=0,2788$, $p<0,05$), поэтому применен непараметрический критерий для малых независимых выборок U-критерий Манна-Уитни, который подтвердил, что показатели концентрации нефти и нефтепродуктов после очистки эрлифтной технологией достоверно ниже изначальных значений ($p<0,01$).

Для оценки состояния биотического сообщества озера № 28 провели итоговый гидроэкологический мониторинг, включающий анализ состояния макрозообентоса. Отобранные пробы зообентоса отразили неоднородность распределения гидробионтов. В профундали озера организмов зообентоса выявлено не было. В прибрежной части озера выявлено массовое развитие олигохет и фитофильных групп бентоса, включая личинок стрекоз, хирономид и личинок мокрецов, бабочек, жуков-плавунцов. Средняя численность организмов составляет 960 экз./м²; биомасса 5,9 г/м². Литоральная зона озера по состоянию организмов бентоса относится к зоне умеренного загрязнения (II–III класс чистоты). По показателям биомассы зообентоса, профундаль озера характеризуется очень низким классом трофности донных ценозов по шкале Китаева (альфа-олиготрофный класс), а литоральная зона – высокие показатели биомассы и относится к самому высокому, гипертрофному классу (биомасса свыше 40 г/м²). Средний показатель по озеру по состоянию организмов бентоса отражает IV класс чистоты (загрязненные). Положительная динамика очевидна, так как до проведения испытаний озеро характеризовалось как очень грязное (VI класс качества вод) на основании биоиндикационных показателей донных ценозов. Результаты гидроэкологического обследования озера № 28, выполненного на стадии завершения испытания технологии очистки донных отложений, свидетельствуют о положительном эффекте восстановительных работ, особенно выраженном в отношении макрозообентоса.

Мониторинг восстановления донной экосистемы озера № 28 состоялся спустя 12 месяцев после применения эрлифтной технологии очистки донных отложений. Отмечены организмы бентоса – олигохеты в профундальной (глубинной) части озера (на 2-х станциях из 5), где ранее присутствие бентосных организмов не зафиксировано. Отмечена положительная динамика развития организмов бентоса, что отражается на значении биомассы и биоиндикационных интегральных показателях. Аналогичные результаты получены при очистке оз. Щучье Республика и руч. Малый Войвож (республика Коми) эрлифтной технологией очистки (рисунок 9).

Таким образом, несмотря на низкую остаточную концентрацию нефтяных углеводородов в донных отложениях сообщества макрозообентоса восстанавливаются очень медленно, незначительно наращивая численность. При последующем мониторинге следует учитывать, что восстановление донной экосистемы может занять более длительный период времени.

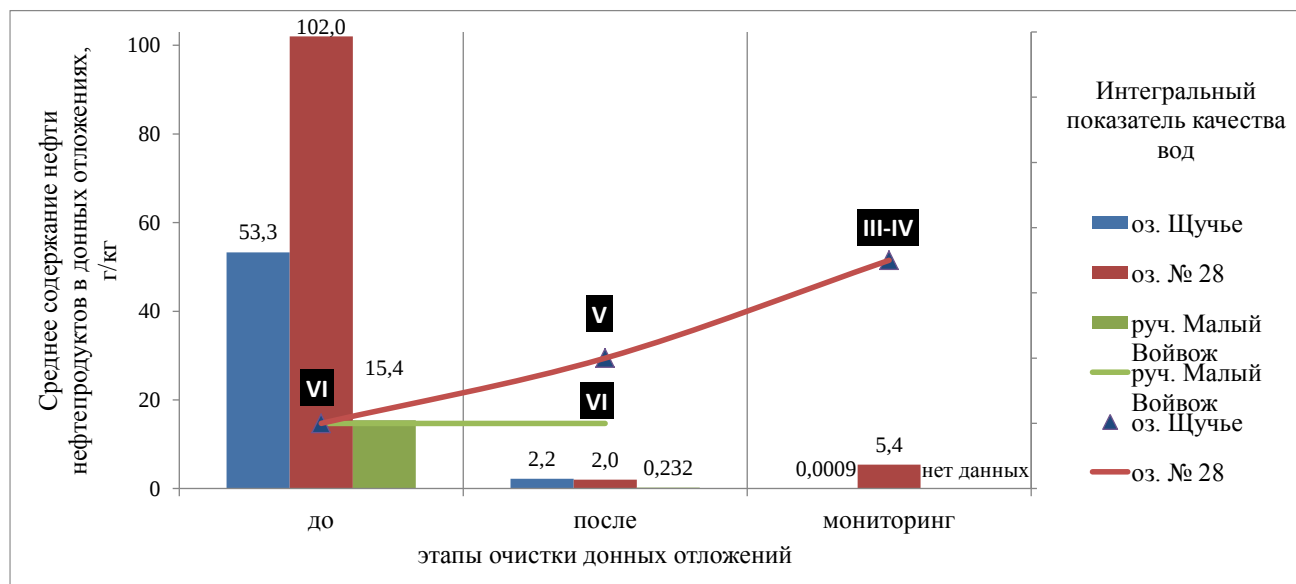


Рисунок 9 – Динамика загрязненности водных объектов, подвергнутых эрлифтной очистки донных отложений от нефти и нефтепродуктов

Получены приоритетные данные по количественным характеристикам состояния бентосных сообществ 101 нефтезагрязненного озера на территории лицензионного участка в Нижневартовском районе ХМАО-Югры, ранее не подвергавшихся полному гидробиологическому обследованию. Преобладали озера с органогенными донными отложениями (83,8 % проб с содержанием органического вещества 60–100 %). Макрозообентос обнаружен в пробах из 77 водных объектов, представлен беспозвоночными следующих таксономических групп: комары-звонцы сем. Chironomidae, комары-мокрецы сем. Ceratopogonidae, комары толстохоботные сем. Chaoboridae, ручейники отр. Trichoptera, малощетинковые черви кл. Oligochaeta и круглые черви кл. Nematoda, моллюски двустворчатые кл. Bivalvia и брюхоногие кл. Gastropoda, водяные клещи гр. Hydracarina, поденки отр. Ephemeroptera, веснянки отр. Plecoptera и стрекозы отр. Odonata. Средние количественные показатели макрозообентоса во всех обследованных озерах с органогенными донными отложениями составили 328 экз./м² и 1,62 г/м². Из 12 экологических групп макрозообентоса наибольшей встречаемостью в 38,0 % проб характеризовались личинки комаров-звонцов, олигохеты – 9,6 % проб и личинки хаоборусов – 5,9 % проб. Остальные экологические группы зообентоса встречались намного реже: стрекозы – в 3,5 % проб, нематоды – в 2,2 % проб, двустворчатые моллюски – в 1,7 % проб. По количественным показателям лидирующие позиции занимали личинки хирономид 86 % численности (290±50 экз./м²) и 56 % биомассы (920±220 мг/м²), значителен вклад личинок стрекоз (33 % биомассы, 550±230 мг/м²). Таким образом, биомасса бентоса всех обследованных озер на 89 % сформирована этими двумя группами макрозообентоса: личинки хирономид и личинки

стрекоз. Комары-звонцы отмечены в пробах при максимальном содержании углеводов нефти до 200 г/кг, олигохеты – 249,2 г/кг. Олигосапробы, такие как ручейники, поденки и веснянки, обнаружены в пробах донных отложений с содержанием углеводов нефти до 17,2 г/кг. В пробах с концентрацией нефти и нефтепродуктов свыше 280 г/кг бентос не зафиксирован. По состоянию бентосных сообществ, большинство обследованных озер относится к водоемам с низкой продуктивностью донных отложений (олиготрофные) и высоким уровнем загрязнения (полисапробным, VI класс).

Для оценки влияния нефтезагрязнений на развитие донных сообществ проведен корреляционный анализ между структурными показателями, такими как число таксонов макрозообентоса, численность и биомасса (общие показатели и отдельных таксонов) и среднем содержанием нефти и нефтепродуктов в озерах с различным типом донных отложений (органогенные, смешанные). Достоверной связи между средним содержанием углеводов нефти в донных отложениях озер и количественными показателями зообентоса (в том числе по отдельным таксономическим группам) не обнаружено.

Методом корреляции Спирмена для смешанного типа грунтов установлена слабая прямая корреляционная связь между содержанием нефти и нефтепродуктов в пробе и численностью макрозообентоса $r=0,245$ ($p<0,05$). Предположительно, при некоторых концентрациях нефти и нефтепродуктов увеличивается активности микроорганизмов, возрастает доля органического вещества, необходимого для развития макрозообентоса. Предположительно, сила связи $r<0,7$ может указывать на то, что на количественные показатели макрозообентоса подвержены влиянию других физико-химических и экологических факторов, таких как глубина водного объекта, площадь зарастания, гранулометрический состав донных отложений и так далее. Принимая во внимание особенности нефтяного загрязнения в донных отложениях, наличие бентосных организмов, в том числе крайне чувствительных к нефтяному загрязнению, при высоких концентрациях нефти и нефтепродуктов можно объяснить хроническим характером загрязнения донных отложений. Как известно, со временем малорастворимые агломераты нефти на дне водных объектов теряют токсичность, кроме того, покрываются наносами донных отложений. Вероятно, мощности образовавшегося наноса донных отложений достаточно для обитания донных беспозвоночных, избегая прямого соприкосновения с нефтезагрязнениями. По содержанию нефти и нефтепродуктов в донных отложениях все обследованные озера относятся к категории экстремально загрязненных. В проанализированных пробах донных отложений минимальное значение суммарного содержания нефти и нефтепродуктов составило $1524,00 \pm 381,00$ мг/кг (зафиксировано в одной из

проб донных отложений, отобранных из озера № 72), а максимальные значения – $310640,00 \pm 77660,00$ мг/кг и $337273,00 \pm 84318,00$ мг/кг. Результаты анализа проб донных отложений обследованных озер показали, что даже минимальные обнаруженные концентрации нефти и нефтепродуктов значительно превышают текущий допустимый уровень, который составляет 20 мг/кг.

Расчет количества нефтезагрязнений, аккумулированных в донных отложениях, проводили для 458 проб, по результатам которых выявлено, что среднее количество нефти на 1 м^2 органогенных донных отложений составило 41,5 г. В озерах, в которых донные отложения классифицируются как смешанные и минеральные, минимальное значение – $0,1 \text{ г/м}^2$; максимальное значение массы нефти в одной из точек обследования составляет $1536,6 \text{ г/м}^2$, а среднее значение загрязнения – $185,8 \text{ г/м}^2$. Установив площадь исследуемых водоемов, провели пересчет полученных значений, например, масса нефтепродуктов в озере № 89 равна 12,73 т (площадь озера 15,36 га), в озере № 24 – 8,23 тонн (площадь озера немного больше 1 га). Минимальное значение $0,1 \text{ г/м}^2$ зафиксировано в безымянном озере № 51. Максимальные значения загрязнения, равные $841,5 \text{ г/м}^2$, характерны для безымянного озера № 89.

По результатам обследования 11 % водоемов не подлежат очистке, так как их площадь менее 1 га, а 85 % не соответствуют требованиям действующего регионального норматива «Допустимое остаточное содержание нефти и нефтепродуктов в донных отложениях после проведения восстановительных работ на водных объектах Ханты-Мансийского автономного округа - Югры», введенного в действие постановлением Правительства Ханты-Мансийского автономного округа – Югры № 432-п. В исследованных водных объектах под длительным воздействием нефти и нефтепродуктов донные беспозвоночные сформировали устойчивые сообщества, характеризующиеся однообразным видовым составом толерантных организмов (олигохетно-хинономидный комплекс), низкими значениями численности и биомассы. Предположительно, после проведения работ по очистке водоемов от нефтяного загрязнения произойдет смена трофического статуса озер с постепенным повышением класса трофности, медленное повышение значений численности и биомассы, видового разнообразия макрозообентоса. Проведенный мониторинг состояния сообществ макрозообентоса водных объектов с учетом полученных данных в качестве «отправной точки» позволит отследить процессы трансформации их экосистем. Сделан вывод о том, что при разработке проектов очистки водных объектов следует учитывать обязательный мониторинг состояния водных объектов, восстановления бентофауны, в среднесрочной и долгосрочной перспективе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проведенного исследования была испытана эрлифтная технология очистки донных отложений водоемов от нефти и нефтепродуктов по патенту № 2570460 на модельном нефтезагрязненном водном объекте. Также проведено комплексное гидробиологическое исследование 101 водного объекта, расположенных на территории лицензионного участка в Нижневартовском районе ХМАО-Югры, включающее применение разработанного способа определения массы нефтезагрязнений на единицу площади донных отложений водных объектов, охраняемого патентом № 2711119. По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Применение эрлифтной технологии очистки донных отложений водоемов от нефти и нефтепродуктов обеспечило достоверное снижение ($p < 0,01$) концентрации нефти и нефтепродуктов в донных отложениях от среднего значения $101827,00 \pm 22908,72$ мг/кг до $1982,94 \pm 147,19$ мг/кг за один летний сезон, без изъятия основной массы донных отложений, без внесения химических реагентов и биологических агентов.

2. По завершении применения эрлифтной технологии очистки донных отложений состояние донных отложений безыменного озера по гидрохимическим и гидробиологическим показателям соответствовало требованиям регионального норматива, утвержденного Постановлением Правительства Ханты-Мансийского автономного округа – Югры № 432-п.

3. Применение эрлифтной технологии очистки донных отложений водоемов от нефти и нефтепродуктов способствует активизации процессов самовосстановления биологического разнообразия водного объекта, что отражается в постепенном увеличении численности и биомассы, разнообразия экологических групп бентоса, повышении интегрального показателя качества донных отложений: 2017 год до очистки – VI класс (очень грязные), непосредственно после очистки 2018 год – IV класс чистоты (загрязненные), спустя 12 месяцев после очистки – III–IV класс (умеренно загрязненные).

4. Разработанный способ определения массы нефти и нефтепродуктов в составе донных отложений водных объектов позволил провести расчет количественного содержания массы нефти и нефтепродуктов на единицу площади донных отложений для 101 нефтезагрязненного озера на территории лицензионного участка в Нижневартовском районе ХМАО-Югры, согласно которому среднее содержание нефти на 1 га донных отложений составило $0,963 \pm 0,243$ т/га.

5. Вследствие хронического загрязнения нефтью и нефтепродуктами более 70 % обследованных озер на территории активной нефтедобычи Нижневартовского района ХМАО-Югры по гидробиологическим показателям относятся к водоемам с низкой продуктивностью (олиготрофные) и высоким уровнем загрязнения (полисапробным, VI класс).

6. По показателю суммарного содержания нефтепродуктов и состоянию сообществ макрозообентоса 85 % донных отложений водоемов не соответствуют требованиям регионального норматива, утвержденного Постановлением Правительства Ханты-Мансийского автономного округа – Югры № 432-п. Данные водоемы относятся к категории водных объектов, требующих проведения мероприятий по очистке донных отложений.

Перспективными видятся направления, посвященные совершенствованию технических решений для внедрения эрлифтной технологии очистки донных отложений на реальных водных объектах, а также адаптация способа определения массы нефтезагрязнений на дне водного объекта под другие типы загрязнений, включая пластиковое.

Благодарности. Выражаю глубокую благодарность научному руководителю доктору биологических наук, доценту Данилу Сергеевичу Воробьеву за помощь на всех этапах исследования, чуткое руководство и поддержку. Выражаю признательность коллективу научно-производственной лаборатории инженерных изысканий и технологий природопользования НИ ТГУ за помощь в сборе материала, коллективу кафедры ихтиологии и гидробиологии НИ ТГУ за консультации и плодотворное обсуждение результатов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-34-90076.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Воробьев Д. С. Методические аспекты нового способа определения массы нефти на единицу площади донных отложений водных объектов / Д. С. Воробьев, **В. В. Перминова** // Экология и промышленность России. – 2020. – Т. 24, № 12. – С. 28–31. – DOI: 10.18412/1816-0395-2020-12-28-31. – 0,55 / 0,27 а.л.

Scopus: Vorobiev D. S. Methodological aspects of a new method for determining the mass of oil per unit area of bottom sediments of water bodies / D. S. Vorobiev, V. V. Perminova // Ecology and Industry of Russia. – 2020. – Vol. 24, № 12. – P. 28–31.

2. **Перминова В. В.** Методологические аспекты нового метода определения массы нефти в донных отложениях водных объектов / В. В. Перминова, Д. С. Воробьев, Ю. А. Франк // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2022. – Т. 30, № 1. – С. 92–99. – 0,6 / 0,2 а.л.

3. **Перминова В. В.** Комплексная очистка от нефти ручья Малый Войвож (Республика Коми) и ее влияние на экологическое состояние донных отложений / В. В. Перминова, Ю. А. Франк, К. В. Стрюк, А. Г. Коптелов, Д. С. Воробьев // Экология и промышленность России. – 2022. – Т. 26, № 7. – С. 38–42. – DOI: 10.18412/1816-0395-2022-7-38-42. – 0,59 / 0,12 а.л.

Scopus: **Perminova V. V.** Integrated Clean up of Oil from the Maly Voyvozh Stream (Komi Republic) and its Impact on the Ecological State of Bottom Sediments / V. V. Perminova, Yu. A. Frank, K. V. Stryuk, A. G. Koptelov, D. S. Vorobiev // Ecology and Industry of Russia. – 2022. – Vol. 26, № 7. – P. 38–42.

4. Frank Y. A. Cleaning of oil-polluted bottom sediments of the boreal lake, Samotlor oil field, North Russia: case report / Y. A. Frank, D. S. Vorobiev, O. E. Merzlyakov, F. R. Sataev, A. A. Trifonov, E. O. Kopylov, K. V. Stryuk, E. A. Kalinovskaya, S. V. Gronskiy, O. V. Chibrikov, **V. V. Perminova**, Y. V. Branevskiy, S. P. Kulizhskiy, T. S. Hunter // Water Science and Technology. – 2020. – Vol. 82, № 12. – P. 3062–3073. – DOI: 10.2166/wst.2020.555. – 0,81 / 0,06 а.л. (*Web of Science*).

Патент Российской Федерации:

5. Патент 2711119 Российская Федерация, МПК E02B 15/00. Способ определения массы нефтезагрязнений на единицу площади донных отложений водных объектов / Воробьев Д. С. (RU), **Перминова В. В.** (RU), Покровский О. С. (RU); патентообладатель: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (ТГУ, НИ ТГУ) (RU). – № 2019113925, заявл. 08.05.2019, опубл. 15.01.2020, Бюл. № 2. – 7 с.

Публикация в сборнике материалов конференции, представленной в издании, входящем в Scopus:

6. **Perminova V.** Application of a new method for determining the mass of oil per unit area of bottom sediments of water bodies / V. Perminova, D. Vorobiev, Yu. Frank, V. Perminov // ES3 Web of Conferences. – 2021. – Vol. 265 : Actual Problems of Ecology and Environmental Management (APEEM 2021). Moscow,

Russia, April 22–24, 2021. – 2021. – Vol. 265. – Article number 02014. – 4 p. – URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/41/e3sconf_apeem2021_02014/e3sconf_apeem2021_02014.html (access date: 17.05.2023). – DOI: 10.1051/e3sconf/202126502014. – 0,23 / 0,06 а.л.

Публикации в прочих научных изданиях:

7. Перминова В. В. Мобильное приложение для оценки загрязненности донных отложений водных объектов / В. В. Перминова, Д. С. Воробьев, Е. А. Калиновская // Инноватика–2019 : сборник материалов XV Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск, 25–27 апреля 2019 г. – Томск, 2019. – С. 418–419. – 0,12 / 0,04 а.л.

8. Перминова В. В. Восстановление бентофауны озера после очистки дна от нефти (Нижневартовский район ХМАО-Югры) / В. В. Перминова // Современные проблемы экологии : доклады XXIV Международной научно-практической конференции. Тула, 17 февраля 2020 г. – Тула, 2020. – С. 122–125. – 0,21 а.л.

9. Перминова В. В. Макрозообентос нефтезагрязненных озер Самотлорского месторождения / В. В. Перминова // Ломоносов-2020 : материалы международного молодежного научного форума. Москва, 10–27 ноября 2020 г. – Москва, 2020. – 2 с. – URL: https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2020_2/data/19223/117293_uid346400_report.pdf (дата обращения: 17.05.2023). – 0,09 а.л.

10. Перминова В. В. Опыт внедрения собственных разработок по очистке донных отложений водных объектов от нефти / В. В. Перминова // Ломоносов-2022 : материалы международного молодежного научного форума. Москва, 12–22 апреля 2022 г. – Москва, 2022. – 1 с. – URL: https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2022/data/25897/146688_uid346400_report.pdf (дата обращения: 17.05.2023). – 0,06 а.л.

Издание подготовлено в авторской редакции.
Отпечатано на участке цифровой печати
Издательства Томского государственного университета
Заказ № 7543 от «29» августа 2023 г. Тираж 100 экз.
г. Томск Московский тр.8, тел. 53-15-28, publish.tsu.ru