

На правах рукописи



Минаев Николай Дмитриевич

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗАГРЯЗНЁННЫХ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ
ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА
ТЕРРИТОРИИ САМОТЛОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Специальность 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Ханты-Мансийск – 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном
учреждении высшего образования
«Югорский государственный университет»

Научный руководитель: **Нехорошева Александра Викторовна**
доктор технических наук, доцент, профессор
кафедры химии

Официальные оппоненты: **Серебrenникова Ольга Викторовна**
доктор химических наук, зав. лабораторией
природных превращений нефти Института химии
нефти СО РАН, г. Томск

Страховенко Вера Дмитриевна
доктор геолого-минералогических наук, ведущий
научный сотрудник Института геологии и
минералогии имени В. С. Соболева СО РАН,
г. Новосибирск

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А. А. Трофимука Сибирского
отделения Российской академии наук (ИНГГ СО
РАН), г. Новосибирск

Защита состоится «24» января 2020 г. в 10-00 часов на заседании диссертационного
совета Д 003.008.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки
Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии
наук (ИВЭП СО РАН) по адресу: 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1. Факс: (3852)
240396. E-mail: iwep@iwep.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Институт водных и экологических проблем СО РАН и на
сайте организации <http://iwep.ru>

Автореферат разослан «28» ноября 2019 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим
направлять по адресу Института на имя учёного секретаря Совета

Учёный секретарь
диссертационного совета Д 003.008.01,
кандидат географических наук, доцент



Рыбкина И. Д.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. На протяжении последних десятилетий Ханты-Мансийский автономный округ – Югра (ХМАО-Югра) остаётся важнейшим активно развивающимся промышленным регионом Российской Федерации. По данным департамента недропользования и природных ресурсов ХМАО-Югры, в 2017 г. доля Югры в общероссийской добыче нефти составила 43 %.

Территория ХМАО-Югры представляет слабодренированную плоскую равнину, занятую обширными болотами и озёрами. В округе насчитывается около трехсот тысяч озёр, связанных в единую гидрографическую сеть, наблюдение за экологической ситуацией которых ведётся в пунктах мониторинга поверхностных вод.

Углеводородные загрязнения являются одним из основных негативных факторов, оказывающих антропогенное влияние на водные экосистемы в районах добычи нефти и газа. В то же время определённая часть углеводородных соединений поверхностных и подземных вод формируется за счёт поступления органических соединений из окружающих почвогрунтов и пород, т.е. имеет естественное происхождение. Таким образом, классификация загрязнённых водоёмов по оценке содержания нефтепродуктов с учётом уровня фоновой концентрации углеводородов (УВ) требует детального исследования воды и донных отложений с применением информативных методов анализа. Донные отложения водоёмов представляют собой конечный этап миграции загрязняющих веществ, своеобразный коллектор, а потому и репрезентативный показатель общего экологического состояния.

До настоящего времени существует ряд методологических препятствий, мешающих исследованиям нефтяных углеводородов (НУВ) в донных отложениях. Одним из них является отсутствие утверждённых стандартов концентраций НУВ. Современные стандартные аналитические методы не позволяют отделять техногенные НУВ от естественных нефтеподобных УВ. Также высока изменчивость как количественного, так и качественного химического состава НУВ («пятнистость»), что часто приводит к серьёзным ошибкам в интерпретации результатов анализа. В настоящее время при определении суммарного содержания нефтепродуктов в объектах окружающей среды широко применяется метод ИК-спектрометрии. Существенным недостатком этого метода является неспособность дифференцировать УВ на фоновые и техногенные. При этом вклад фоновых УВ в их суммарное содержание в почвах и донных отложениях увеличивается с повышением содержания в пробах органического вещества (ОВ). Поэтому для корректной оценки уровня нефтезагрязнения донных отложений с высоким содержанием ОВ в большей степени подходит хроматографический метод, в основе которого лежит определение содержания в почвах и донных отложениях индивидуальных компонентов (чётных нормальных алканов с числом атомов углерода в молекуле от 14 до 22), присутствующих в нефтях, но отсутствующих или содержащихся в следовых количествах в природных объектах фоновых территорий. На определяемый в ходе исследования уровень нефтяного загрязнения донных отложений могут влиять биогенные УВ, высокое содержание которых характерно для водных объектов Югры.

Имеющиеся регламентирующие документы по контролю УВ в донных отложениях позволяют произвести определение структурно-группового состава и происхождения нефтяных компонентов ИК-спектрофотометрическим, люминесцентным и газохроматографическим методами, а также определение массовой доли нефтяных компонентов в донных отложениях. В нормативной литературе (РД 52.24.505-2010, РД 52.24.609-2013) представлен ряд подходов и некоторый перечень маркеров, позволяющих выявлять техногенный путь поступления УВ в объекты окружающей среды: определение соотношения между суммами площадей n-алканов с нечётным числом углеродных атомов к чётным или отношения пристан/фитан, заметное преобладание на газовых хроматограммах n-алканов с нечётным числом углерода и др. Из-за отсутствия установленных для донных отложений предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых

концентраций (ОДК) в обязательном порядке необходим отбор проб для определения фоновых концентраций УВ. В результате процесс гидрохимического мониторинга загрязнения донных отложений нефтью и нефтепродуктами осложнён необходимостью применения внутренних стандартов и определения фоновых концентраций УВ. Однако многолетние исследования донных отложений водных объектов по оценке уровня загрязнения нефтью и нефтепродуктами, как правило, ограничиваются оценкой донных отложений в соответствии с критериями, характеризующими состояние донных экосистем, донных биотических сообществ и бентических сообществ поверхностных водных объектов и апробированными на других территориях. Особенности органогенных, органоминеральных и минеральных донных осадков водоёмов не учитываются. Поэтому при использовании данных гидрохимического мониторинга невозможно составить объективную оценку загрязнённости донных отложений и самого водоёма, что, в свою очередь, препятствует разработке эффективных мероприятий по охране и рациональному использованию водных ресурсов в зоне влияния источников нефтяного загрязнения (нефтедобывающих предприятий, объектов транспортировки нефти и нефтепродуктов и т.д.).

Таким образом, крайне важно определить набор соединений-маркеров, однозначно позволяющих установить происхождение УВ в донных отложениях водных объектов региона исследования – техногенное или биогенное, определить ориентировочный фоновый диапазон содержания нефтепродуктов техногенного происхождения в водных объектах с торфяными донными отложениями, разработать схему гидрохимического мониторинга по оценке техногенного нефтяного загрязнения и предложить рекомендации по охране и улучшению состояния объектов исследования.

Объект исследования – поверхностные воды и донные отложения водоёмов на территории Самотлорского месторождения Нижневартовского района ХМАО-Югры.

Предмет исследования – уровень техногенного нефтяного загрязнения.

Степень разработанности. Активное исследование донных отложений озёр началось во второй половине XIX века. Значительный вклад в их изучение внесли П. А. Кропоткин, С. Н. Тюремный, В. Н. Сукачев, В. С. Доктуровский, В. Б. Шестакович, Д. В. Наливкин, Н. М. Книпович, Г. Ю. Верещагин, Н. В. Полонский, Б. В. Перфильев, В. А. Обручев, К. К. Гильзен, В. Н. Таганцев, Ф. К. Дриженко, Н. И. Демидова, М. И. Нейштадт и др. В последние десятилетия проблеме загрязнённости донных отложений водоёмов тяжёлыми металлами, нефтью и нефтепродуктами, способам их очистки были посвящены труды Д. А. Субетто, В. Д. Страховенко, В. В. Дерягина, А. В. Масленниковой, Л. П. Паничевой, Т. А. Кремлевой, Т. В. Соколовой, А. В. Дерягина, В. Н. Удачина, Н. А. Белкиной, В. А. Дауальтера, Т. Л. Шпильмаковой, Д. В. Ивановой, Е. В. Осмелкина и др.

Цель исследования – оценка загрязнения нефтью и нефтепродуктами поверхностных вод и донных отложений водных объектов на территории Самотлорского месторождения Нижневартовского района ХМАО-Югры для обоснования структуры гидрохимического мониторинга этих веществ и разработки рекомендаций по обеспечению гидроэкологической безопасности территории и хозяйственных объектов, экономически эффективного и экологически безопасного водопользования в зоне воздействия объектов нефтедобывающей отрасли.

Достижение поставленной цели предусматривает решение следующих **задач**:

1. Провести анализ состояния поверхностных вод и донных отложений водных объектов на территории Самотлорского месторождения Нижневартовского района ХМАО-Югры по степени их загрязнения нефтью и нефтепродуктами. Выявить закономерности изменения концентрации данных веществ и основные источники их поступления.

2. Определить ориентировочный фоновый диапазон содержания нефтепродуктов в водных объектах с торфяными донными отложениями.

3. Разработать схему гидрохимического мониторинга техногенного нефтяного загрязнения донных отложений озёр в районах нефтедобычи, установить набор соединений-

маркеров, позволяющих однозначно указать происхождение УВ и предложить рекомендации по охране и улучшению состояния объектов исследования.

4. Разработать способ рекультивации техногенно нефтезагрязненных озёр, критерии допустимой нагрузки на водные объекты в зоне воздействия предприятий нефтедобывающей отрасли.

Научная новизна:

1. Установлен ориентировочный фоновый диапазон содержания нефтепродуктов для озёр с торфяными донными отложениями в пределах от 0,6 до 4,7 г/кг. Значительная вариация фоновых значений определяется, в первую очередь, различием торфа по ботаническому составу и степени его разложения как по глубине залегания, так и латерально. При оценке возможного загрязнения техногенными УВ при освоении участка намечаемой деятельности эти значения следует принимать как фоновые.

2. Предложено использовать в качестве маркеров техногенного углеводородного загрязнения озёр с торфяными донными отложениями ванадий и никель, а также соотношения их концентраций (V/Ni) в качестве эффективных показателей для оценки уровней нефтяного загрязнения донных отложений до концентраций ниже 10 000 мг/кг.

3. Впервые выявлены группы соединений-маркеров техногенного нефтяного загрязнения для территории с большой однотипностью водных объектов, что позволяет однозначно устанавливать техногенное происхождение УВ в донных отложениях водных объектов и оценивать их уровень и особенности состава.

4. Обоснована и реализована схема гидрохимического мониторинга техногенного нефтяного загрязнения донных отложений в водных объектах с торфяными донными отложениями, определён комплекс оцениваемых параметров (особенности индивидуального состава УВ, наличие углеводородов-индикаторов, групповой состав нефти и нефтепродуктов).

5. Определён механизм процесса выделения высокотоксичных компонентов нефтяного загрязнения. Процесс избирательного растворения в циклогексане сопровождается соосаждением высокомолекулярных соединений нефти и увеличением подвижности капель нефтяного загрязнения, а снижение полярности образующейся фазы вследствие выпадения в осадок смолисто-асфальтеновых веществ приводит к увеличению адгезии к поверхности капель извлекающих агентов рекультивации.

Теоретическая и практическая значимость работы. Разработана и обоснована схема гидрохимического мониторинга техногенного нефтяного загрязнения донных отложений озёр в районах нефтедобычи.

В диссертационной работе представлены результаты исследований, которые являются базовыми для количественной оценки техногенного воздействия на донные отложения поверхностных водных объектов. Данные по химическому составу природных вод озёр территории ХМАО-Югры, полученные в исследовательской работе, могут быть использованы профильным департаментом субъекта для оценки антропогенного влияния и уровня загрязнения донных отложений водных экосистем региона. Полученные результаты могут быть использованы для разработки регионального норматива предельно-допустимого уровня содержания нефти и нефтепродуктов в донных отложениях поверхностных водных объектов на территории Югры, а также для расчёта допустимых критических нагрузок НУВ на эти объекты соответствующими подразделениями нефтедобывающих компаний, которые отвечают за выполнение и контроль экологических нормативов при добыче. Усовершенствован метод очистки донных осадков от нефти и нефтепродуктов, который основан на способности молекулярного прилипания нефти и нефтепродуктов к поверхности раздела двух фаз – воды и воздуха на этапе размыва донных отложений с использованием водо-воздушной струи. Предложено внести изменения в технологический режим использования водо-воздушной струи, а именно: использовать углеводородную составляющую (н-гексан, циклогексан, изооктан либо смеси данных соединений) в газовой фазе. В результате будет происходить снижение вязкости нефти, увеличение подвижности

капель нефтяного загрязнения и адгезии пузырьков воздуха к поверхности капель нефтяного загрязнения.

Методология и методы исследования. Для оценки состояния загрязнённых нефтью и нефтепродуктами поверхностных вод и донных отложений водных объектов на территории Самотлорского месторождения выполнялись полевые и лабораторные эксперименты с применением современных методов анализа: спектральных (определение содержания V, Ni и углеводородов в донных отложениях) и хромато-масс-спектрометрических, газохроматографических (определение УВ в донных отложениях). Расчет эмпирических зависимостей по оценке техногенного нефтяного загрязнения в донных отложениях производился с использованием параметрических критериев Фишера и Стьюдента.

Положения, выносимые на защиту:

1. Ранжирование донных отложений озёр в районах нефтедобычи по содержанию суммарных УВ в объединённых пробах донных отложений озёр по результатам ИК-спектрометрии с вариациями значений от 1 г/кг до 65 г/кг, по результатам хроматографического определения – от 0,5 г/кг до более 50 г/кг. Общее количество рангов нефтезагрязнённости озёр с учётом результатов количественного химического анализа методом ИК-спектрометрии и методом хроматографии составило 20. Результаты выполненных исследований методом газовой хроматографии – масс-спектрометрии (ГХ-МС) позволили установить присутствие следов нефтезагрязнения даже в пробах с низким содержанием нефтепродуктов, что свидетельствует об информативности этого метода при гидрохимических исследованиях.

2. Ориентировочный фоновый диапазон содержания нефтепродуктов для озёр с торфяными донными отложениями от 0,6 до 4,7 г/кг и возможность его использования для гидрохимического мониторинга исходного состояния водных объектов при определении типа УВ, оценки уровня техногенного углеводородного загрязнения, особенностей состава и глубины проникновения.

3. Схема гидрохимического мониторинга нефтяных и нефтеподобных УВ в донных отложениях без применения внутренних стандартов, но с необходимостью определения набора соединений-маркеров техногенного происхождения УВ: нормальные и метилзамещенные алкилбензолы состава C₁₄-C₂₅, алкилфенантрены состава C₁₅-C₁₇, индекс нечетности n-алканов до C₃₄₍₃₅₎, вариабельность содержания никеля и ванадия (последнее только для объектов с концентрациями нефти ниже 10 000 мг/кг).

4. Предложен метод для очистки донных отложений от нефти и нефтепродуктов, основанный на способности молекулярного прилипания нефти и нефтепродуктов к поверхности раздела двух фаз – воды и воздуха на этапе размыва донных отложений с использованием водо-воздушной струи с добавлением углеводородной составляющей в газовой фазе.

Степень достоверности результатов исследования. Определение гидрохимического состояния водных объектов проводилось на поверенном лабораторном оборудовании в аккредитованной лаборатории. Статистическая обработка результатов испытаний выполнялась с оценкой достоверности корреляционной связи получаемых зависимостей. Результаты исследований верифицировались по данным длительного полевого эксперимента.

Соответствие диссертации Паспорту научной специальности 25.00.27 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия, а именно:

п. 8. «Гидрохимическое состояние водных объектов суши в различных природных условиях, влияние хозяйственной деятельности на химическое загрязнение рек, прудов, озёр и водохранилищ, формирование и изменение качества воды, закономерности процессов самоочищения и вторичного загрязнения природных вод, особенности смешения речных и морских вод».

п. 10. «Разработка научных основ обеспечения гидроэкологической безопасности территорий и хозяйственных объектов, экономически эффективного и экологически

безопасного водопользования и водопотребления, планирования хозяйственной деятельности в областях повышенного риска опасных гидрологических процессов, защиты водных объектов от истощения, загрязнения, деградации, оптимальных условий существования водных и наземных экосистем».

Публикация и апробация результатов. Основные положения диссертации отражены в 13 работах, в том числе 5 – в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ и в 1 патенте на изобретение. Результаты исследования докладывались на научных конференциях: Саранск, 2016; Москва, 2016; Тула, 2016; Ханты-Мансийск, 2016; Томск, 2017 (диплом I степени); Казань, 2017 (1 место в номинации «Творческое мышление года»); Ханты-Мансийск, 2017.

Внедрение результатов исследования. Результаты диссертационного исследования внедрены в производство ЗАО «Научно-исследовательский центр Югранефтегаз», в учебный процесс ФГБОУ ВО «Нижевартовский государственный университет», в производство ООО «Научно-исследовательский центр «СибГеоПроект».

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, 3 глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 185 наименований, в том числе на иностранном языке, и 6 приложений. Работа изложена на 180 страницах машинописного текста и включает 18 рисунков и 34 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования; сформулированы цели и задачи исследования; показаны научная новизна, практическая и теоретическая значимость; описаны методология и методы исследования; представлены положения, выносимые на защиту; обоснована степень достоверности полученных результатов; указаны количество публикаций по теме исследования, апробация результатов; внедрение результатов исследования; структура и объём работы.

В первой главе «Литературный обзор» рассмотрены современное экологическое состояние водных объектов отдельных гидрографических районов Российской Федерации; типизация исследований донных отложений озёр России и Западной Сибири; классификации донных отложений озёр; характеристика основных классов УВ; рассматривается проблема определения нефтяных загрязнений донных отложений водных объектов; методы мониторинга нефтяных загрязнений донных отложений водных объектов; способы рекультивации и восстановления техногенно нефтезагрязнённых озёр.

В настоящее время большинство исследований связано с проблемой загрязнённости донных отложений тяжёлыми металлами, нефтью и нефтепродуктами, а также способами их очистки.

С 2002 г. по сегодняшний день проводились исследования донных отложений озёр России в таких регионах, как Южный, Средний Урал, Западная Сибирь, Восточная Сибирь и др. По итогам проведённого анализа исследований по проблематике изучения загрязнённости донных отложений водных объектов на современном этапе следует констатировать, что многие химические, биологические, физические факторы влияют на способность донных отложений накапливать и концентрировать техногенно-внесённые вещества. На образование различного рода смесей и ассоциатов с компонентами донных отложений (поровая вода, сульфиды, карбонаты, органический материал и т.д.) и процессы преобразования и трансформации форм загрязняющих веществ в донных отложениях (адсорбция, комплексообразование, вовлечение внутрь минеральной решетки, диффузия и т.д.) влияет химический состав водного объекта и донных отложений. Представлены характеристики основных классов УВ, таких как парафиновые (алканы), нафтеновые (циклоалканы) и арены.

Рассмотрена проблема определения нефтяных загрязнений донных отложений водных экосистем, связанная с отсутствием нормативно закреплённого методического обеспечения с чётко обозначенными химическими структурами и количественными соотношениями, гарантирующими однозначный ответ на вопрос о происхождении УВ в воде и донных отложениях.

Показано, что в настоящее время для очистки воды и донных отложений озёр от НУВ применяются механический, химический, физико-химический и биологический методы. Анализ возможностей существующих методов очистки позволил утверждать, что сегодня имеется насущная потребность в разработке более эффективных технологий очистки водоёмов от нефтезагрязнений.

Во второй главе «Характеристика объектов и методов исследования» представлены физико-географическое описание района, климат, основные источники загрязнения исследованных озёр и методы исследования.

В административном отношении Нижневартовский район расположен в ХМАО-Югре Российской Федерации. В рамках данной работы рассматривается территория Самотлорского нефтяного месторождения, которая расположена в 30 км к северо-востоку от г. Нижневартовска, в районе озера Самотлор (рисунок 1).

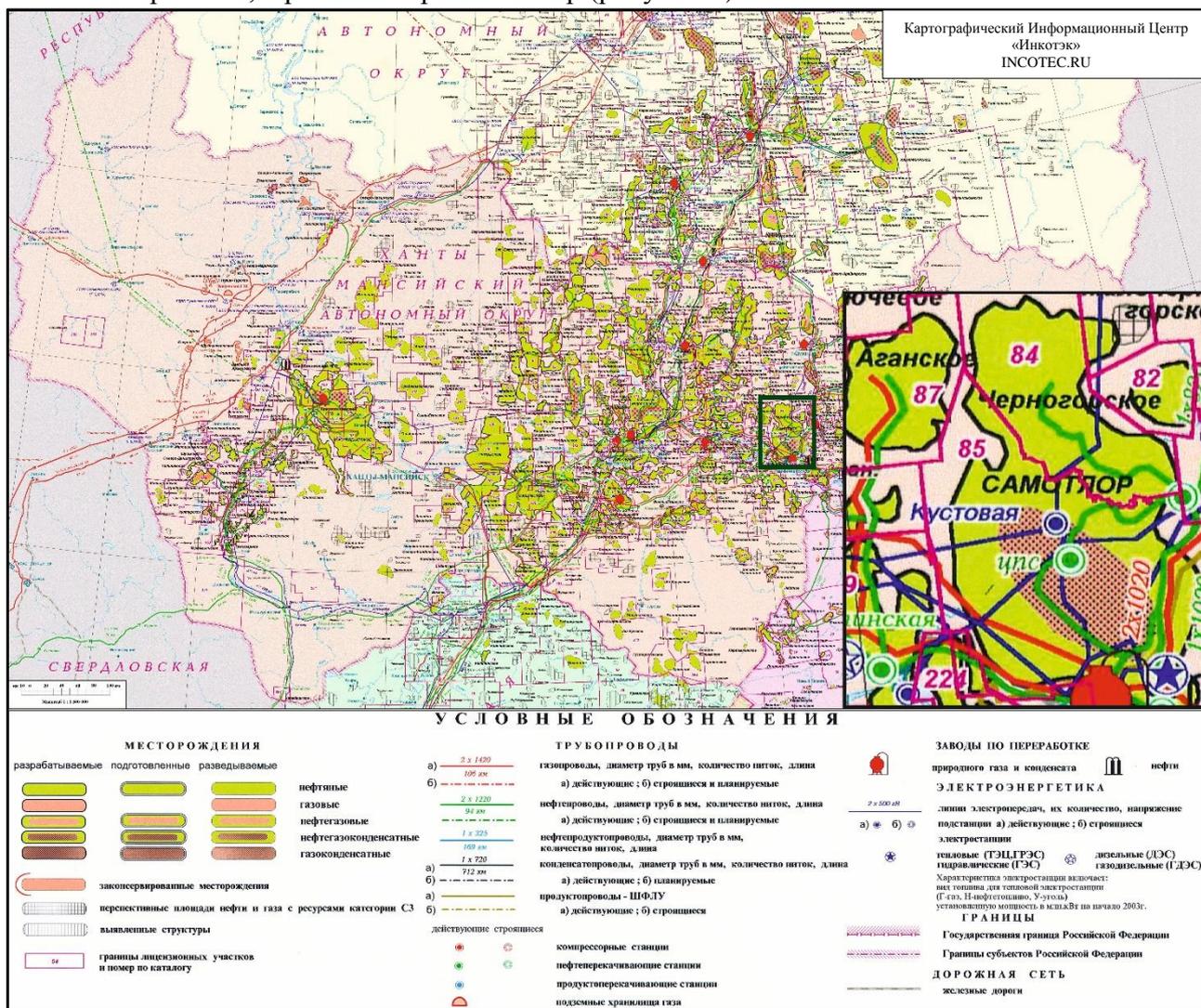


Рисунок 1 – Карта территории Самотлорского месторождения (фрагмент карты «месторождения нефти и газа Западной Сибири»)

Территория Самотлорского месторождения представляет собой озёрно-аллювиальную равнину, которая сложена с поверхности преимущественно среднесуглинистыми покровными отложениями, представленными озёрно-слоистыми глинами, песчаными толщами и легкосуглинистыми алевролитами. Наличие обширных песчаных плёсов отмечается в долинах рек. Категория грунта – вторая. Слабо пересеченный рельеф местности представляет собой слаборасчленённую моренную равнину с пологими положительными и

отрицательными формами рельефа, которые в значительной степени разрушены денудационными процессами. Абсолютные отметки составляют в среднем $+81 \div 93$ с понижениями в области речных долин до $+45 \div 70$ м.

Для климата в районе Самотлорского месторождения характерны продолжительная зима, короткие переходные сезоны, длительное залегание снежного покрова (200-210 дней), короткий безморозный период (100-110 дней), поздние весенние и ранние осенние заморозки, короткое лето (70-100 дней). Средняя температура воздуха самого холодного месяца года – января – варьирует от $-22,0^{\circ}\text{C}$ до $-24,0^{\circ}\text{C}$, средняя температура самого теплого месяца – июля – изменяется соответственно от $+16,0^{\circ}\text{C}$ до $+17,0^{\circ}\text{C}$. Средняя годовая амплитуда температур изменяется на территории района от $+36^{\circ}\text{C}$ до $+41^{\circ}\text{C}$. Средняя годовая температура воздуха имеет отрицательные значения $-3,5^{\circ}\text{C}$. Абсолютный минимум (-59°C) отмечается в декабре, абсолютный максимум ($+34^{\circ}\text{C}$) – в июле. В летний период в отдельные дни почти ежегодно температура воздуха повышается до $+30^{\circ}\text{C}$ + 34°C . Снежный покров появляется в первой декаде октября. В отдельные годы снег может выпадать уже в сентябре. Устойчивый снежный покров образуется в среднем в третьей декаде октября. Средняя годовая скорость ветра 2-5 м/с.

Координаты мест отбора проб донных отложений определялись с помощью GPS-приёмника, замер глубины озера осуществлялся с помощью эхолота. Обследованные озёра имеют вторичное происхождение, т.е. образовались после заболачивания данной территории. Питание преимущественно за счёт осадков – дождя и снега – и фильтрации с площади болотного массива по направлению стока. Водотоков нет, водный баланс достигается за счёт процессов испарения и инфильтрации.

Исследование озёр и отбор проб проводился в период 2014-2018 гг. В ходе выполнения работ для каждого озера были обследованы: акватория, включая слой плавающей нефти; поверхностные воды; донные отложения; прибрежная территория.

Для каждого из трёх озёр донные отложения были исследованы в 70-80 равномерно распределённых точках, для каждого из 25 озёр – в 10 точках (рисунок 2). Отбор проб донных отложений производился по сетке опробования всей площади объекта обследования со стратификацией по глубине в четыре слоя через 25 см. Также был произведен дополнительный отбор проб из 12 точек (три точки на озере K1289, три точки на озере K2099 и шесть точек на озере K40) на глубину до 3 м и из двух точек с близких по типу фоновых (незагрязнённых) озёрных объектов со стратификацией по глубине в три слоя через 25 см (всего шесть проб).

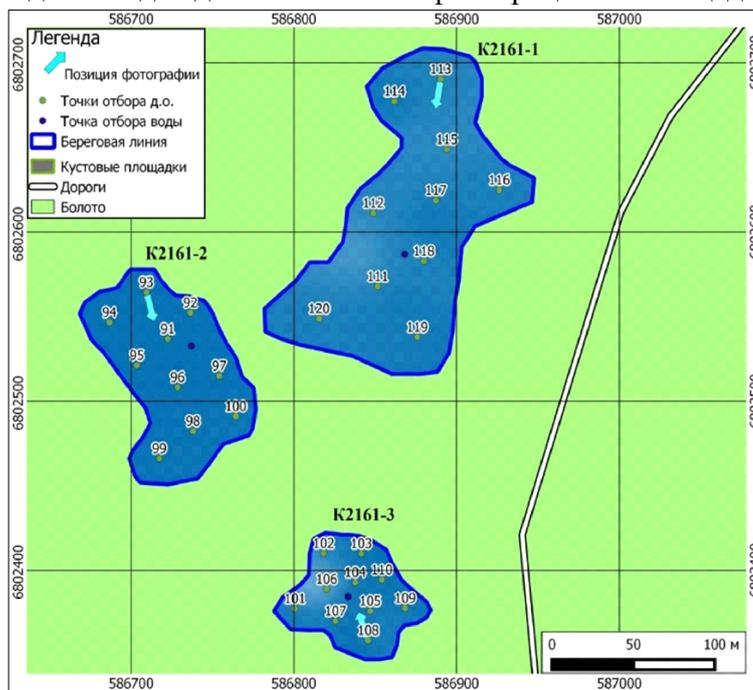


Рисунок 2 – Схема точек отбора на примере трёх озёр (K2161-1, K2161-2, K2161-3)

В третьей главе «Результаты и их обсуждение» приводятся результаты исследования, обоснование групп-веществ индикаторов нефтяного загрязнения, обоснование схемы гидрохимического мониторинга, способы очистки донных отложений и рекомендации по рекультивации и восстановлению техногенно нефтезагрязнённых озёр.

По результатам проведённого натурного обследования 28 озёр на территории Самотлорского месторождения составлены карты-схемы, получены пробы донных

отложений и поверхностных вод. Выполнен количественный химический анализ проб донных отложений и поверхностных вод методами ИК-спектрометрии и газо-жидкостной хроматографии, в результате чего определено содержание нефтепродуктов техногенного происхождения и их пространственное распределение в поверхностном слое донных отложений исследованных озёр. Составлен реестр и инвентаризационные карты нефтезагрязнённых озёр, в основу которых положено ранжирование по степени загрязнения техногенными нефтепродуктами донных отложений, нефтепродуктами поверхностных вод, по удалённости от автодорог и кустовых площадок, а также занимаемой площади.

В ходе ИК-спектрального исследования фоновых образцов торфяных донных отложений, стратифицированных по глубине (в три слоя через 25 см) был определён ориентировочный фоновый диапазон содержания нефтепродуктов для озёрных объектов ХМАО-Югры, который варьирует от 0,8 до 3,8 г/кг. Такая значительная вариация фоновых значений определяется в основном различием торфа по ботаническому составу, степени разложения как по глубине залегания, так и латерально. Учитывая 25 % погрешность ИК-спектрального метода определения нефтепродуктов, следует отметить, что варьирование фонового диапазона становится ещё более значительным – от 0,6 до 4,7 г/кг. Полученные результаты согласуются с данными научной литературы по фоновому содержанию нефтепродуктов для органогенных донных отложений.

Для подбора наиболее оптимальной стратегии анализа были проведены предварительные эксперименты с пробами донных отложений с территории выборочных нефтезагрязнённых озёр. ИК-спектральный анализ проб донных отложений показал в поверхностном слое (глубина 0-25 см) значительное превышение ориентировочного максимума фоновой концентрации нефтепродуктов. В более глубоких слоях донных отложений (25-50 и 50-75 см) концентрации нефтепродуктов на порядок ниже, чем в поверхностном слое. При этом концентрации большей части проб этих слоёв попадают в ориентировочный диапазон варьирования концентрации нефтепродуктов (минимальное и максимальное значение, полученное при анализе фоновых проб) для данного типа объектов, либо близки к нему. Таким образом, в ходе исследования выборочной группы образцов донных отложений объектов было установлено, что на анализ с применением метода ГХ-МС следует направлять все образцы с концентрацией нефтепродуктов (определённой стандартным ИК-спектральным методом) ниже максимальной фоновой, установленной для объектов – озёр вторичного происхождения с торфяными донными отложениями – на уровне 4,7 г/кг (верхней границы с учетом относительной погрешности 25 % отн.). При этом если в вышележащем слое донных отложений рассматриваемой точки опробования следы техногенного нефтяного загрязнения не обнаружены, анализ методом ГХ-МС нижележащего слоя донных отложений этой же точки не требуется.

Проведенные исследования методом ГХ-МС выборочной группы образцов донных отложений позволили выявить группы веществ – «индикаторов» техногенного нефтяного загрязнения:

1 группа – нормальные и метилзамещённые алкилбензолы состава C₁₄-C₂₅ (идентификация в сопоставлении с образцом нефтезагрязнения – обнаружен/не обнаружен). Данные компоненты в схожем составе и относительном распределении были идентифицированы во всех пробах донных отложений (как органогенного, так и минерального типа) с концентрацией нефтепродуктов более 4,7 г/кг. В то же время исследования методом ГХ-МС донных отложений фоновых объектов показало отсутствие данных компонентов в составе проб. При анализе более заглубленных проб (с глубины до 3 м) в нескольких точках, обследуемых нефтезагрязнённых озёр концентрации нефтепродуктов, изменялись в диапазоне 1,3-3,3 г/кг (без определенного градиента снижения или увеличения с глубиной), при этом алкилбензолы в составе данных глубинных проб не были обнаружены. Таким образом, в качестве одного из основных признаков нефтяного техногенного загрязнения рассматривалась идентификация в донных отложениях алкилбензолов.

2 группа – алкилфенантрены состава C₁₅-C₁₇ (идентификация в сопоставлении с образцом нефтезагрязнения – обнаружен/не обнаружен). Обнаружение данных соединений в пробах может быть использовано в качестве маркеров нефтяного загрязнения.

3 группа – нормальные алканы до C₃₄₍₃₅₎ (сопоставление с образцом нефтезагрязнения рассчитываемых параметров состава n-алканов – индекс нечетности n-алканов, соотношение высоко- и низкомолекулярных гомологов). Индекс нечетности n-алканов фоновых проб значительно отличался от проб донных отложений с концентрацией нефтепродуктов выше фонового максимума – от 8,6 до 12,6 для фоновых проб и от 1,4 до 2,4 для проб с концентрацией выше 4,7 г/кг.

Содержание суммарных УВ в объединённых пробах донных отложений озёр по результатам ИК-спектрометрии колеблется в пределах от 1 062 мг/кг (озеро К2161-2) до 65 123 мг/кг (озеро К326).

С учётом значений фонового (на уровне 4 000 мг/кг) и суммарных содержаний нефтепродуктов в донных отложениях озёр были рассчитаны содержания нефтепродуктов техногенного (нефтяного) происхождения. При этом порядок ранжирования озёр был аналогичным их ранжирования по суммарному содержанию нефтепродуктов в донных отложениях. Это указывает на отсутствие в донных отложениях семи исследованных озёр (К2161-3, К888-1, К326-327-1, К896-128, К352, К888-2, К2161-2) заметного количества УВ техногенного (нефтяного) происхождения или их присутствие на незначительном уровне. В донных отложениях остальных озёр УВ техногенного (нефтяного) происхождения присутствуют в различных концентрациях от 423 мг/кг (озеро К2161-3) до 61 123 мг/кг (озеро К326). При этом углеводороды техногенного (нефтяного) происхождения в высоких концентрациях (более 10 000 мг/кг) содержатся в донных отложениях 11 озёр (К326, К884-1, К884-2, К884-3, К899, К327, К326-327-2, К896-130, К895-1, К895-2).

Массовая доля нефтепродуктов в объединённых пробах донных отложений озёр по результатам хроматографического определения колеблется в широких пределах от 0,05 % (мас.) и менее (озера К2161-2, К888-2, К352, К896-128, К326-327-1, К888-1, К896-132) до более чем 5,00 % (мас.) для озера К326. При этом нефтепродукты в концентрациях более 0,1 % (мас.) содержатся в донных отложениях 12 озёр (К895-2, К895-1, К896-130, К326-327-2, К327, К899, К884-3, К884-2, К884-1, К326).

Сравнивая результаты количественного химического анализа нефтепродуктов в донных отложениях методами ИК-спектрометрии и хроматографии, можно наблюдать некоторые различия в характере их ранжирования, что объясняется естественными колебаниями уровня фонового содержания УВ в донных отложениях, а также степенью деградации нефтепродуктов, которыми загрязнены исследованные озёра. Для более корректного ранжирования озёр по степени загрязнения нефтепродуктами донных отложений был составлен их суммарный рейтинг, учитывающий результаты количественного химического анализа (КХА) как методом ИК-спектрометрии, так и методом хроматографии (таблица 1).

Таблица 1 – Итоговое ранжирование озёр по степени загрязнения нефтепродуктами донных отложений

Шифр озера	Ранг по ИКС	Ранг по ГЖХ	Итоговый ранг
К326	1	1	1
К884-1	2	2	2
К40	3	3	3
К884-2	4	3	4
К327	6	4	5
К899	6	5	6

При этом общее количество рангов нефтезагрязнённости, на которые разделились исследованные озёра, составило 20.

Результаты исследований донных отложений обследуемых озёр показали необходимость определения «металлических маркеров» нефти (никеля и ванадия) для выявления нефтезагрязнённых проб для объектов с концентрациями нефти до 10 000 мг/кг. На рисунке 3а представлен график зависимости содержания никеля от общей

Продолжение таблицы 1

Шифр озера	Ранг по ИКС	Ранг по ГЖХ	Итоговый ранг
К884-3	5	6	6
К326-327-2	7	8	7
К895-2	9	7	8
К896-130	8	10	9
К896	10	9	10
К895-1	9	11	11
К896-135	11	12	12
К896-133	12	14	13
К1289	13	14	14
К2099	14	14	15
К2161-1	14	14	
К896-136	16	13	16
К896-134	16	15	17
К896-132	15	16	
К896-129	17	15	18
К2161-3	18	15	19
К2161-2	18	16	20
К888-2	18	16	
К352	18	16	
К896-128	18	16	
К326-327-1	18	16	
К888-1	18	16	

концентрации нефти для верхнего слоя донных отложений в озере К40. Как следует из рисунка, прослеживается корреляционная зависимость этих двух параметров, подтверждаемая удовлетворительным значением величины достоверности аппроксимации, равным 0,84.

Аналогичная ситуация представлена на рисунке 3б с графиком зависимости для аналогичного слоя донных отложений озера К40. Значение величины достоверности аппроксимации содержания ванадия в пробе от общей концентрации нефти до 10 000 мг/кг равно 0,88.

Определено, что с увеличением глубины залегания загрязнённых донных отложений значение величины достоверности аппроксимации сохраняется в пределах от 0,75 до 0,9, что свидетельствует о сохранении удовлетворительной зависимости. Границы колебаний концентраций V, Ni варьируются между горизонтальными слоями донных отложений в пределах одного озера (в предельном варианте между крайними пробами) и отличаются до 10 раз.

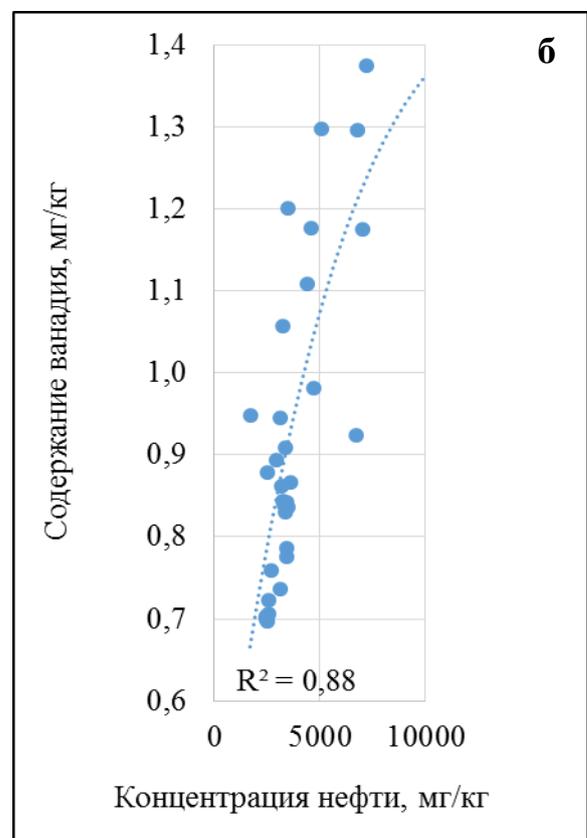
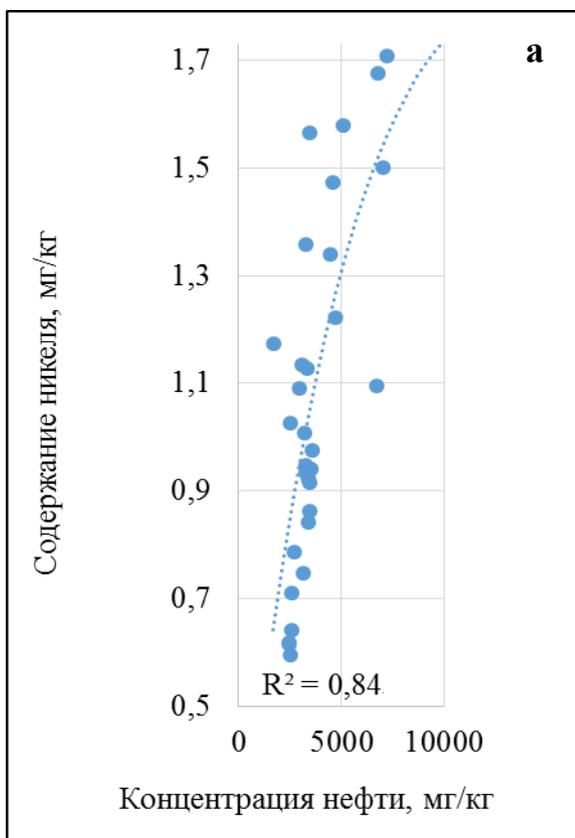


Рисунок 3 (а, б) – Графики зависимости содержания никеля и ванадия в пробе от общей концентрации нефти для объектов с концентрациями нефти до 10 000 мг/кг

Считаем нужным отметить, что значения variability содержания никеля и ванадия, их суммарная концентрация меняются в зависимости от стратиграфии донных отложений водоёма. Таким образом, вышеизложенные данные свидетельствуют о том, что концентрации ванадия и никеля в донных отложениях, содержание нефти в которых менее 10 000 мг/кг, могут быть использованы в качестве индивидуальных индикаторов техногенного загрязнения водных объектов в целом. Помимо этого, данные маркерные показатели (соотношение V/Ni) помогут указывать на источник загрязнения водоёма.

Результаты исследования 28 нефтезагрязнённых водных объектов на территории Нижневартовского района ХМАО-Югры позволили сформировать схему гидрохимического мониторинга техногенного нефтяного загрязнения в донных отложениях озёр (рисунок 4) в районах нефтедобычи и выделить комплекс аналитических параметров (особенности индивидуального состава УВ, групповой состав нефти и нефтепродуктов, наличие углеводородов-индикаторов, доказывающих техногенное происхождение водорастворимого органического вещества), позволяющих идентифицировать загрязнение донных отложений нефтью и НУВ, оценивать его уровень и особенности состава, что в свою очередь дает возможность предоставить корректную информацию по суммарному содержанию УВ и глубине проникновения техногенного нефтяного загрязнения в донные отложения.



Рисунок 4 – Схема гидрохимического мониторинга техногенного нефтяного загрязнения в донных отложениях озёр в районах нефтедобычи

Данные сведения позволяют построить достоверную пространственную модель нефтезагрязнённого слоя донных отложений, оценить его объём и представить рекомендации для рекультивационных и иных восстановительных работ водных объектов региона исследования и регионов с аналогичным типом почво-грунтов.

Выполненные исследования расширяют возможности использования метода газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием для аналитического контроля нефтяных и нефтеподобных УВ в сложных природных объектах – донных отложениях. Предлагаемая схема позволяет проводить оперативный контроль анализируемых объектов с высокой достоверностью выводов.

Для очистки донных отложений озёр от нефти и нефтепродуктов в данной работе предлагается использовать способ обработки низкокипящим парафиновым углеводородным растворителем C₅-C₉ высоковязкой или остаточной нефти.

С целью подтверждения применимости данного способа для очистки донных отложений и повышения эффективности технологий извлечения остаточной нефти из донных отложений с применением углеводородных растворителей проводилось изучение процесса осаждения асфальтенов сборной нефти в результате смешивания с н-гексаном и некоторыми другими углеводородами. При этом предполагалось, что жидкий нефтепродукт над образовавшимся осадком должен иметь физические свойства, отличные от исходной нефтяной коллоидной системы.

Результаты измерения плотности нефти и примененных реагентов, а также показателей преломления жидкой фазы, выделенной после экспозиции в течение 40 часов из смесей нефти с индивидуальными и смешанными алифатическими углеводородами, использовались для построения графических зависимостей плотности жидкой фазы от количества реагента в нефти (рисунок 5). Для всех типов испытанных реагентов плотность жидкой фазы линейно понижается с увеличением содержания реагента в смеси с нефтью и стремится к значению плотности чистого реагента. Полученные результаты хорошо согласуются с известными свойствами показателя преломления для идеальных систем, у которых процесс смешения компонентов протекает без изменения их объёма и поляризуемости. При этом угол наклона линейной зависимости для циклогексана существенно отличается от остальных реагентов, что объясняется относительно высокой плотностью чистого циклогексана.

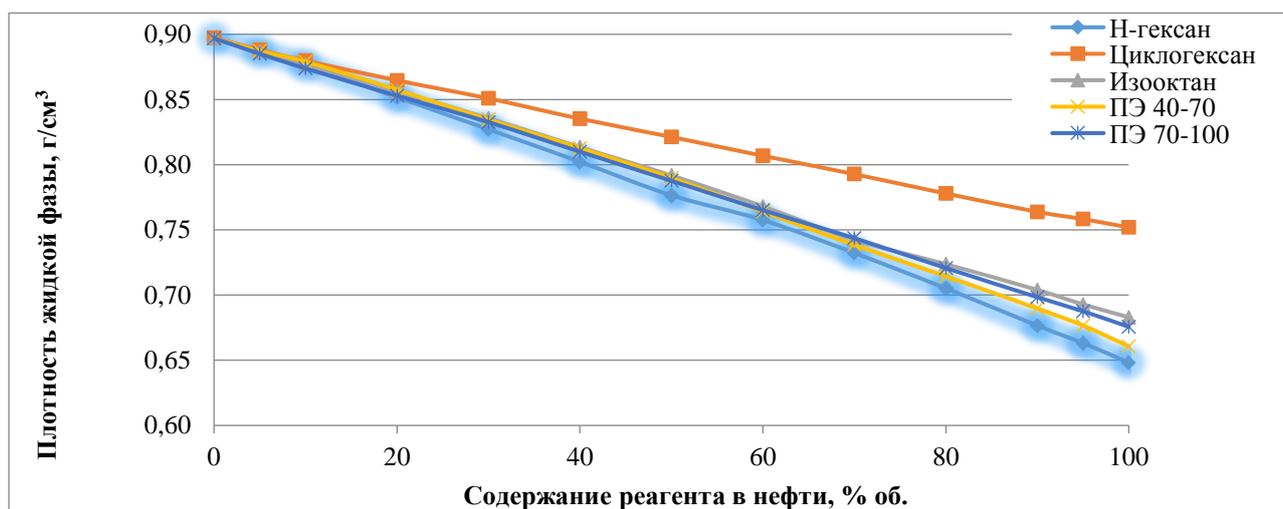


Рисунок 5 – Зависимость плотности жидкой фазы в смесях с углеводородными осадителями от их содержания

Проведённые эксперименты указывают на наличие в исследуемой нефти не менее двух групп асфальтенов, не растворимых в н-гексане, которые отличаются между собой растворимостью в циклогексане, а также различным содержанием ароматических

фрагментов и сульфоксидных групп. При этом наличие в нефти группы асфальтенов, не растворимых в циклогексане, вероятнее всего, является причиной ее высокой вязкости, что можно объяснить формированием в нефти из молекул асфальтенов объемной сетки (каркаса), в ячейках которой в условиях ограниченной подвижности находятся прочие компоненты нефти. Обнаруженное свойство в дальнейшем может быть использовано при разработке промышленной технологии извлечения из донных отложений нефтяного загрязнения.

Таким образом, было установлено, что при воздействии реагентов на капли дисперсной нефтяной системы возникает значительное понижение вязкости нефти при смешивании с алифатическими УВ, которое в первую очередь обусловлено осаждением группы асфальтенов с повышенным содержанием ароматических фрагментов и сульфоксидных групп, которые являются избирательно нерастворимыми в циклогексане. Совместно с асфальтенами из нефти соосаждаются высокомолекулярные соединения нефти, которые, вероятно, размещаются в ячейках объемной сетки, образуемой молекулами асфальтенов за счет сил межмолекулярного взаимодействия. Возникает увеличение подвижности капель нефтяного загрязнения вследствие снижения вязкости и уменьшения средней молекулярной массы соединений, входящих в состав извлекаемой из донных отложений нефтяной дисперсной системы (НДС). Выпадение в осадок смолисто-асфальтеновых веществ из состава НДС позволяет снизить полярность образующейся фазы, что приводит к увеличению адгезии к поверхности капель извлекающих агентов рекультивации.

В качестве приемлемого, минимально безопасного для экосистемы водоёма технологического решения рекультивационных мероприятий нами предложена установка, которая действует на основе принципа флотации – способности молекулярного прилипания нефти к поверхности раздела двух фаз – воздуха и воды. Схема установки показана на рисунке 6 (а, б).

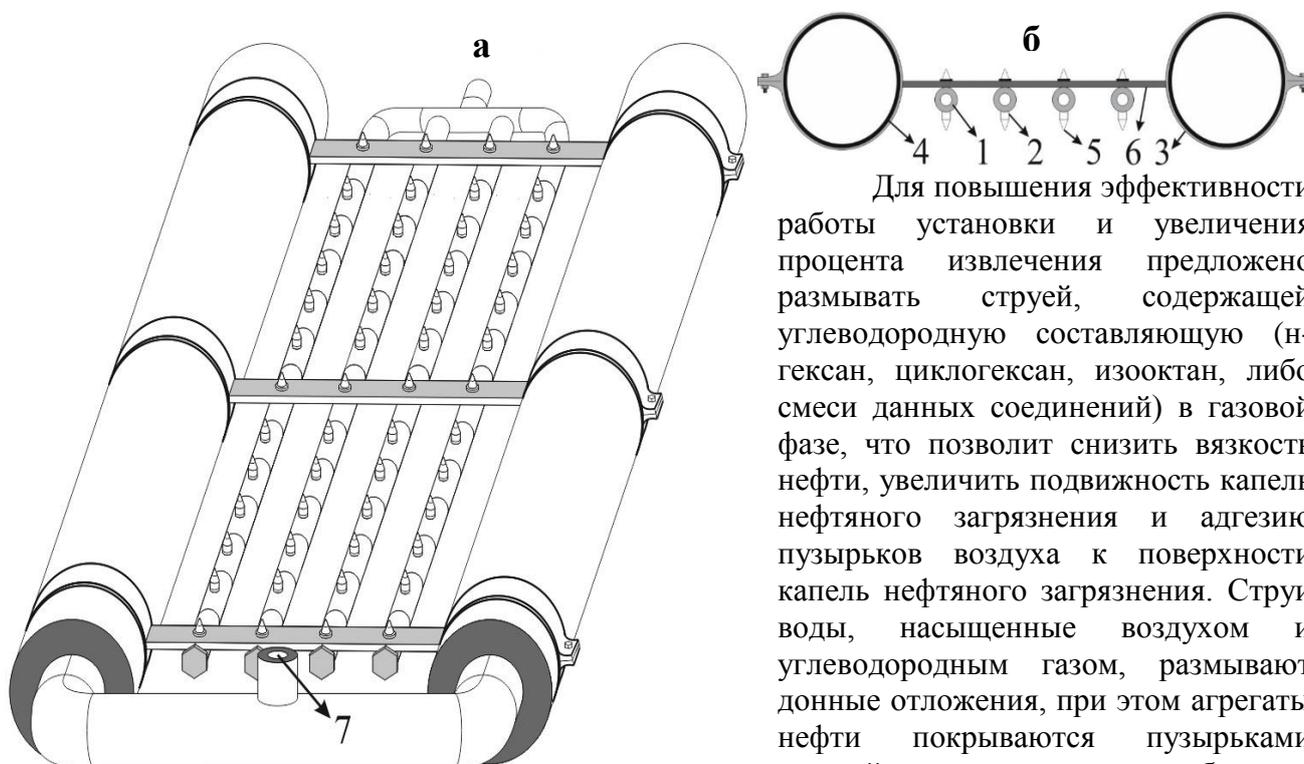
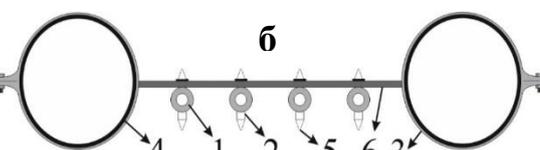


Рисунок 6 (а, б) – Схема установки для отчистки донных отложений от нефти и нефтепродуктов поднимаются на поверхность водоёма, где устанавливаются боновые заграждения.



Для повышения эффективности работы установки и увеличения процента извлечения предложено размывать струей, содержащей углеводородную составляющую (н-гексан, циклогексан, изооктан, либо смеси данных соединений) в газовой фазе, что позволит снизить вязкость нефти, увеличить подвижность капель нефтяного загрязнения и адгезию пузырьков воздуха к поверхности капель нефтяного загрязнения. Струи воды, насыщенные воздухом и углеводородным газом, размывают донные отложения, при этом агрегаты нефти покрываются пузырьками газовой смеси, приобретают положительную плавучесть и в восходящем эрлифтном потоке

Процесс работы на установке:

1. Два балластных рукава 4 («Стандарт» 150 мм, длина 20 м), закольцованных между собой, заполняются воздухом с помощью компрессора.

2. Далее осуществляется досборка установки с закреплением напорных шлангов 1 (наружный $d=28$ мм, внутренний $d=12$ мм) с фитингами 2 ($d=12$ мм 4-х сторонний) в единую конструкцию с балластными рукавами 4 с использованием металлических профильных квадратных труб 6 (длина 362 мм), создающих каркас конструкции.

3. Собранная конструкция транспортируется с берега водоёма на его поверхность, оставаясь на плаву за счёт воздуха под давлением в балластных рукавах 4.

4. Далее при помощи водяного насоса подается вода в балластные рукава 4. Воздух из балластных рукавов через клапан 7, шланг в закольцованной части, выведенный на поверхность водоёма, и кран, установленный на конце шланга, вытесняется водой. Тем самым установка постепенно опускается на дно водоёма.

5. Компрессором под давлением подаётся смесь воды, воздуха, газов и через распылители 5 осуществляется их распыление: снизу – в донные отложения, а сверху – в толщу воды.

6. После завершения работы в балластные рукава 4 подается воздух. Вода вытесняется воздухом через шланг с краном, и установка поднимается на поверхность.

7. Цикл повторяется.

По результатам исследования водных объектов были построены послойно концентрационные таблицы распределения техногенного нефтяного загрязнения донных отложений и выявлены зоны максимального концентрирования в слоях техногенного загрязнения, требующего срезки. В таблице 2 представлены данные по объёму донного техногенного нефтяного загрязнения, подлежащего срезке (на примере трёх объектов).

По результатам исследований, удаление части второго, третьего и четвёртого слоёв донных отложений для озёр не рекомендовано к изъятию. Это связано с незначительным градиентом концентраций нефтепродуктов между последующими слоями и отсутствием превышения фоновых концентраций УВ биогенного (естественного) происхождения, содержание которых достигает 2000-5000 мг/кг в среднем по региону.

Таблица 2 – Объём донного техногенного нефтяного загрязнения, подлежащего срезке (на примере трёх объектов)

Название куста рядом с озером	Площадь, га	Слой, м	Объем/масса донного техногенного нефтяного загрязнения, подлежащего срезке, м ³ /т	Содержание сухого остатка в вынимаемом объеме донного техногенного нефтяного загрязнения, подлежащего срезке, т	Содержание золы в сухом остатке вынимаемом объеме донного техногенного нефтяного загрязнения, подлежащего срезке, т
К40	1,561	0 – 0,25	3903/4020	430	86,4
		0,25 – 0,50	1327/1433	262	83,9
		0,50 – 0,75	546/612	141	53,7
		1,00 – 1,25	312/368	105	45,6
К1289	1,102	0 – 0,25	2755/2838	219	26,1
К2099	1,146	0 – 0,25	2865/2951	224	9,9

Кроме этого, в ходе проведения пробоотбора на всех обследуемых озёрах было обнаружено, что непосредственно над донными отложениями часто встречаются сгустки нефтеподобного вещества, части которого при контакте с пробоотборным инструментом поднимаются на поверхность водоёма и образуют на воде нефтяную пленку, что непременно

должно быть учтено при разработке схемы рекультивационных работ. После изъятия верхнего слоя донных отложений потребуется осуществить удаление нефтяной пленки с поверхности водоёмов.

ВЫВОДЫ

1. Приоритетными загрязнителями природной воды и донных отложений озёр в районах нефтедобычи являются нефть и нефтепродукты, за содержанием которых необходимо вести постоянный контроль. По результатам изучения состояния природной воды и донных отложений озёр в районах нефтедобычи определено содержание суммарных углеводородов в объединенных пробах донных отложений озёр по результатам ИК-спектрометрии с вариациями значений от 1 г/кг до 65 г/кг, хроматографического определения – от 0,5 г/кг до более 50 г/кг. Общее количество рангов нефтезагрязнённости озёр с учётом результатов количественного химического анализа методом ИК-спектрометрии и методом хроматографии составило 20. Результаты выполненных исследований методом ГХ-МС позволили установить присутствие следов нефтезагрязнения даже в пробах с низким содержанием нефтепродуктов, что свидетельствует об информативности этого метода при экологических исследованиях.

2. Определен ориентировочный фоновый диапазон содержания нефтепродуктов для озёр с торфяными донными отложениями от 0,6 до 4,7 г/кг. Рекомендовано увеличение значения регионального норматива на уровне 4 г/кг и использование его для геохимической характеристики исходного состояния водных объектов на территории лицензионных участков.

3. Предложена схема гидрохимического мониторинга техногенного нефтяного загрязнения в донных отложениях озёр в районах нефтедобычи, выделен комплекс аналитических параметров (особенности индивидуального состава УВ, групповой состав нефти и нефтепродуктов, наличие углеводородов-индикаторов). Установлены соединения-маркеры, позволяющие однозначно указать происхождение углеводородов в водных объектах с торфяными донными отложениями (нормальные и метилзамещенные алкилбензолы состава $C_{14}-C_{25}$, алкилфенантрены состава $C_{15}-C_{17}$, индекс нечётности n -алканов до $C_{34(35)}$), содержание никеля и ванадия для объектов с концентрациями нефти до 10 000 мг/кг. Установлено, что прибрежная территория большинства из обследованных озёр (75 %) была загрязнена нефтепродуктами с концентрациями более 60 000 мг/кг. Перемещение уровня воды в весенне-осенний период провоцирует вторичное загрязнение нефтепродуктами поверхностных вод и донных отложений. Вследствие этого, крайне необходимыми являются работы по очистке от нефти и нефтепродуктов прибрежной территории.

4. Предложен метод для очистки донных отложений техногенно нефтезагрязнённых озёр и критерии допустимой нагрузки водных объектов в зоне воздействия предприятий нефтедобывающей отрасли. Сформированы рекомендации по рекультивации и восстановлению техногенно нефтезагрязнённых озёр на основе применения послойных пространственных моделей нефтезагрязнённости донных отложений с расчётом загрязнённых объёмов донных отложений и выбора технологии рекультивационных и восстановительных работ водных объектов региона исследования и регионов с аналогичным типом почво-грунтов.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Статьи в научных журналах РФ, рекомендованных ВАК:

1. Минаев, Н. Д. Оценка состояния донных отложений озёр на современном этапе и ретроспектива вопроса / Н. Д. Минаев, А. В. Нехорошева, О. С. Кузьменко, С. В. Нехорошев, М. Г. Кульков // Экологические системы и приборы. – 2016. – № 5. – С. 34-40.

2. Нехорошева, А. В. Схема аналитического контроля нефтяных и биогенных углеводородов в донных отложениях с использованием метода газовой хроматографии-масс-

спектрометрии / А. В. Нехорошева, **Н. Д. Минаев**, С. В. Нехорошев // Химия в интересах устойчивого развития. – 2017. – Т.25. – № 5. – С. 533-539.

3. Минаев, Н. Д. К вопросу о периодизации истории изучения донных отложений озёр России / Н. Д. Минаев // Разведка и охрана недр. – 2018. – № 3. – С. 59-66.

4. Минаев, Н. Д. Особенности методического подхода и перспективы идентификации нефтяного загрязнения донных отложений водных экосистем / Н. Д. Минаев, А. В. Нехорошева, С. В. Нехорошев // Экологические системы и приборы. – 2018. – № 6. – С. 17-27.

5. Нехорошев, С. В. Изучение процесса самоорганизации нефтяной системы на поверхности твёрдого тела в неравновесных условиях действия паров n-гексана / С. В. Нехорошев, Ю. В. Коржов, С. А. Орлов, А. В. Нехорошева, О. С. Кузьменко, **Н. Д. Минаев** // Мир нефтепродуктов. – 2018. – № 8. – С. 25-32.

Патенты:

6. Способ стимулирования добычи высоковязкой или остаточной нефти : патент 2693208 С2 Российская федерация : МПК E21B 43/16 (2006.01), C09K 8/94 (2006/01) / Коржов Ю. В., Орлов С. А., Углев В. В., Нехорошев С. В., Кульков М. Г., Кузьменко О. С., Козлов И. В., **Минаев Н. Д.**, Кузина М. Я. ; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Югорский государственный университет». – № 2017143090 ; Заявл. 08.12.2017. Оpubл. 01.07.2019.– 16 с.

Статьи, опубликованные в других изданиях:

7. Минаев, Н. Д. Хроматографические методы анализа и их роль при изучении нефтегазовых донных отложений / Н. Д. Минаев // Инновационная наука : прошлое, настоящее, будущее : сборник статей международной научно-практической конференции. – Саранск. – 2016. – С. 252-259.

8. Минаев, Н. Д. Характеристика основных этапов истории изучения донных отложений озёр / Н. Д. Минаев // Евразийский Союз Ученых. – 2016. – № 28-3. – С. 45-47.

9. Минаев, Н. Д. Стратегия аналитического контроля нефтяных и нефтеподобных углеводородов в донных отложениях с использованием метода газовой хроматографии – масс-спектрометрии / Н. Д. Минаев // Современные проблемы экологии : доклады XVI Международной научно-технической конференции «Современные проблемы экологии». – Тула. – 2016. – С. 13-14.

10. Минаев, Н. Д. Физико-химические аспекты образования нефтяных техногенных осадков в водоёмах региона и их рекультивация / Н. Д. Минаев, С. В. Нехорошев, А. В. Нехорошева, Д. М. Тихонова // Пути реализации нефтегазового потенциала Ханты-Мансийского автономного округа – Югры : сборник докладов двадцатой научно-практической конференции. – Ханты-Мансийск. – 2017. – Т.2. – С. 7-9.

11. Минаев, Н. Д. Разработка флотационной технологии очистки нефтезагрязнённых донных отложений водоемов / Н. Д. Минаев, Д. М. Тихонова // Булатовские чтения (2018) : сборник статей II Международной научно-практической конференции. – Краснодар. – 2018. – Том 5. – С. 190-194.

12. Минаев, Н. Д. Обзор существующих классификаций донных отложений озёр / Н. Д. Минаев // Земля. – 2017. – № 1. С. 18-25.

13. Минаев, Н. Д. Опыт применения ИК-спектрометрии на примере нефтезагрязнённых донных отложений озёр Самотлорского месторождения / Н. Д. Минаев, Х. Б. о. Таги-заде, Д. С. Нехорошева // Успехи современной науки. – 2017. – Т.2. – № 8. – С. 173-178.

14. Нехорошев, С. В. Современные химико-аналитические методы получения исходных данных для построения геоинформационных моделей / С. В. Нехорошев, А. В. Нехорошева, **Н. Д. Минаев**, Х. Б. о. Таги-заде // Геоинформационные технологии в решении задач рационального природопользования : материалы III всероссийской научно-практической конференции. – Ханты-Мансийск. – 2017. – С. 100-102.

Подписано в печать 14.11.2019 г.
Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Объём 1.05 печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 17

Типография «Югорский формат»
г. Ханты-Мансийск, ул. Лопарева 15
тел.: (3467) 91-20-19