

На правах рукописи



Ахмадиев Артур Константинович

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕАБИЛИТАЦИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ПРИ
ОСВОЕНИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ РЕСУРСОВ
(НА ПРИМЕРЕ ЧЕРНОМОРСКО-КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА)**

Специальность: 1.6.21. – Геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва - 2024

Работа выполнена на кафедре экологии и природопользования ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель:

Экзарьян Владимир Нишанович - доктор геолого-минералогических наук, профессор, заслуженный эколог РФ, заведующий кафедрой экологии и природопользования ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ).

Официальные оппоненты:

Полякова Елена Викторовна – доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории глубинного геологического строения и динамики литосферы Института геодинамики и геологии ФГБУН Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук (ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН).

Григорьева Ия Юрьевна - кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры инженерной и экологической геологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Геологический факультет.

Ведущая организация:

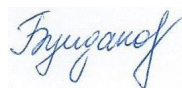
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов» (ФГБУ ИМГРЭ), г. Москва.

Защита состоится «23» января 2025 года в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 24.1.054.01 на базе ФГБУН Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук по адресу: 109004, Москва, ул. Николоямская, д 51.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГЭ РАН по адресу: 101000, Москва, Уланский пер., д 13, стр. 2. и на интернет-сайте: <https://geoenv.ru/>

Автореферат разослан «__» _____ 2024 г.

Учёный секретарь диссертационного совета,
кандидат географических наук



Е. В. Булдакова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Проблема нефтяного загрязнения, несмотря на технические достижения горно-геологической отрасли, остаётся одной из ключевых геоэкологических задач. Непосредственному негативному воздействию нефти и её производных подвержена верхняя часть геологической среды. По данным государственного доклада о состоянии и охране окружающей среды в Российской Федерации на 2021 г. на территории страны насчитывается порядка 600 тыс. га нарушенных вследствие деятельности нефтегазовых компаний земель. При этом рекультивации подверглись около 42 тыс. га, что составляет порядка 7% техногенно-нарушенных территорий. Как правило, большинство случаев загрязнения связано с утечками из нефтегазопроводов, самой добычей, а также обустройством нефтепромысла. Так, например, в 2017 было зафиксировано 3429 фактов разлива нефти и нефтепродуктов. При этом наибольший объем разлитой нефти зафиксирован в Южном федеральном округе (ЮФО) – 8775 м³ (Т. В. Минникова и др., 2019). Показательны и 2018-2023 гг., за данный период времени произошло более 3 тыс. случаев загрязнения и более десятка аварий ежегодно.

Особо стоит обратить внимание на регионы, где нефтедобыча ведётся уже на протяжении многих десятилетий. Одним из таких является Черноморско-Каспийский регион России (ЧКР). Сам регион является «родиной» углеводородной отрасли нашей страны. Несмотря на то, что его активное освоение началось ещё в конце XIX - начале XX веков, углеводородный потенциал региона не исчерпан. В его пределах выделяется ряд наиболее осваиваемых областей и перспективных в нефтегазоносном смысле. К первым относятся нефтегазовые области Кубани, Чечено-Ингушетии, Краснодарского, Ставропольского края, Калмыкии. Ко вторым – акватории Азовского и Чёрного морей в границах России, Северный и Средний Каспий (В.И. Попков, 2023). В их пределах располагается порядка 300 месторождений. Реализуются такие международные инфраструктурные проекты как Баку-Новороссийск, Тенгиз-Новороссийск, Турецкий поток, Каспийский трубопроводный консорциум и др., что свидетельствует о высокой техногенной нагрузке со стороны отрасли на регион, на реальную возможность роста степени загрязнения природной среды вследствие добычи и транспортировки, в первую очередь, нефтяных ресурсов. Исходя из этого, возрастает и важность природоохранных мер в регионе и их совершенствование. На первый же план выходят проблемы реабилитации территории и вопросы устойчивости геологической среды, так как процессы самоочищения происходят длительно, и имеются территории с хронической степенью загрязнения (где десятки лет не проводились реабилитационные мероприятия).

Степень разработанности темы. На данный момент существует множество исследований, посвящённых негативному воздействию нефти и её производных на компоненты природной среды (С.А. Патин, М.А. Глазовская, Ю.И. Пиковский, В.И. Богоявленский, А.А. Оборин, А.П. Хаустов, М.М. Редина и др.). Наиболее всесторонне изучены вопросы последствий нефтяного загрязнения почвенно-растительных комплексов, грунтов, водных объектов (Ю.А. Израэль, В.М. Гольдберг, В.Н. Экзарьян, Ю.М. Сотникова, Е.И. Новоселова, А.А. Булуктаев, О.А. Городников и др.) Они признаются наиболее уязвимыми к данному роду загрязнения. На достаточном уровне разработаны подходы к рекультивации нарушенных земель, ликвидации нефтяного загрязнения в различных климатических зонах (Т.Ю. Коршунова, А.С. Никофоров, А.П. Заманова, С.И. Колесников, М.С. Третьякова, Т.В. Минникова, А.В. Швец и др.). Вместе с тем, в отечественной науке слабо или не в полной мере освещены вопросы общей теории реабилитации природной среды, связи устойчивости геологической среды и реабилитации, проблемы по восстановлению загрязнённых почвенно-растительных комплексов в староосвоенных регионах, исходя из современных достижений науки и техники. Все это обуславливает необходимость дальнейших исследований, обобщение опыта, поиск и формирование новых решений, направленных на совершенствование методов, повышающих устойчивое функционирование экосистем.

Цель исследования: сформировать единый научно-методический подход к реабилитации природной среды и выработать оптимальные решения по повышению эффективности ремедиации нефтезагрязненных территорий.

Поставленная цель требует выполнения следующих **задач**:

1. Обобщить исторический опыт по изучению геоэкологических проблем освоения углеводородных ресурсов.
2. Выявить тенденции в области ликвидации последствий нефтяного загрязнения.
3. Определить принципы реабилитации природной среды при освоении углеводородных ресурсов.
4. Провести анализ геоэкологических условий Черноморско-Каспийского региона.
5. На основе существующих научно-методических подходов к оценке устойчивости геологической среды построить картографическую модель устойчивости геологической среды ЧКР с позиции нефтяного загрязнения.
6. Разработать рекомендации по ремедиации почвенно-растительного комплекса и грунтов при нефтяном загрязнении.

Объект исследования: освоенные нефтегазовые области Черноморско-Каспийского региона России.

Предмет исследования: особенности и механизмы нефтяного загрязнения; оценка состояния устойчивости геологической среды как наиболее подверженной загрязнению части природной среды.

Методы исследования. В основе исследования лежат общепринятые и специальные методы анализа информации: источниковедческий, сравнительно-правовой, системный и другие, позволившие сформировать единый подход к реабилитации природной среды. Такие методы как ранжирование списков, балльная оценка, геоэкологическое районирование наряду с остальными способствовали проведению оценки устойчивости геологической среды к нефтяному загрязнению. Для построения картографической модели применялась программа QGIS 3.28. В процессе исследований проводились модельные эксперименты по ремедиации и статистическая обработка полученных результатов. При оценке эффективности ремедиации применялся наиболее показательный метод - оценка фитотоксичности. Обработка результатов проходила в стандартной программе WPS Excel. Сама методика проведения опытов подробно описана в соответствующих разделах исследования.

Научная новизна исследования проявляется в том, что:

1. На основе анализа мирового опыта и выполненных исследований сформирован обобщенный подход к пониманию реабилитации природной среды и разработаны принципы её проведения.
2. Разработана структура выполнения реабилитационных мероприятий загрязненных территорий.
3. Предложен алгоритм оценки устойчивости геологической среды в отношении нефтедобычи применительно к условиям Черноморско-Каспийского региона и составлена карта оценки устойчивости геологической среды нефтегазоносных бассейнов Северо-Кавказской провинции к нефтяному загрязнению. Показана взаимосвязь между устойчивостью геологической среды и способами её реабилитации.
4. В ходе поставленных экспериментов осуществлён подбор эффективных фито – и - биоремедиантов на основе их комбинированного действия и показана перспективность бакпрепарата Bionex oil solvent для биоремедиации нефтезагрязненных черноземов обыкновенных Западного Предкавказья.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Разработка природовосстановительных мероприятий и создание экологически безопасных условий освоения нефтяных месторождений должны базироваться на оценке устойчивости геологической среды как наиболее подверженной техногенному воздействию.
2. Оценку устойчивости геологической среды следует осуществлять перманентно на всех стадиях «жизни» природно-технической системы вплоть до её ликвидации, что будет

способствовать минимизации негативных экологических последствий нефтедобычи и явится геоподосновой для выбора комплекса реабилитационных мероприятий.

3. При ремедиации нефтезагрязненных грунтов наиболее положительный и долгосрочный эффект достигается комбинированным действием био и- фиторемедиантов и минеральных сорбентов. Для изучаемого региона рекомендуется применять биопрепарат на основе консорциума микроорганизмов Bionex, овёс обыкновенный (*Avena sativa*), мятлик луговой (*Poa pratensis*), люцерну изменчивую (*Medicago x varia* Martyn), доломитовую муку, а также их комбинацию.

Соответствие работы паспорту специальности. Данная работа соответствует п. 7 (Геозекологические аспекты устойчивого развития регионов, функционирования природно-технических систем. Оптимизация взаимодействия (коэволюция) природной и техногенной подсистем.), п.18 (Горно-геологическая природная среда и её изменение при разработке месторождений полезных ископаемых, взаимодействие природных и технических систем в процессе недропользования), п. 19 (Изучение в природных и лабораторных условиях влияния техногенных факторов на устойчивость биологических систем в процессе недропользования. Моделирование геозекологических процессов в геосферных оболочках Земли при комплексном освоении недр и устойчивом развитии горнодобывающих регионов) паспорта специальности 1.6.21. Геозекология, группы научных специальностей 1.6. Науки о Земле и окружающей среде.

Теоретическая и практическая значимость. Теоретическая значимость работы связана с тем, что её результаты и основные положения могут быть использованы в дальнейших исследованиях геозекологических проблем при освоении углеводородных ресурсов различных регионов мира. Практическая значимость заключается в том, что результаты выполненных исследований могут использоваться для совершенствования нормативно-правовых и методических документов в области охраны окружающей среды при недропользовании. На основе предложенного алгоритма проведена типизация территории Индоло-Кубанского суббассейна, Западно-Предкавказской НГО, Восточно-Кубанской НГО, Восточно-Предкавказской НГО и Терско-Каспийской НГО по степени устойчивости геологической среды к нефтяному загрязнению. В ходе практических экспериментов определены наиболее эффективные способы ремедиации, которые могут использоваться при обосновании проектов восстановления территории.

Личный вклад автора. Автором в ходе данного исследования были определены его цель и задачи, проведён аналитический обзор источников, нормативной базы в том числе рассмотрение её в сравнительно-правовом аспекте. Кроме того, автором лично были организованы и выполнены лабораторные исследования с последующей обработкой данных и формулированием выводов по ним. Проведена типизация территории по степени устойчивости геологической среды и сформулированы предложения и рекомендации по совершенствованию системы реабилитационных мероприятий.

Степень достоверности и апробация результатов работы. Основополагающие идеи и отдельные результаты диссертационного исследования были представлены и обсуждены на научно-практических конференциях различного уровня: Потаповские чтения. Всероссийская научная конференция, посвящённая памяти доктора технических наук, профессора Александра Дмитриевича Потапова. Москва (2021); Геозекологические проблемы техногенного этапа истории Земли. Всероссийская (национальная) научно-практическая конференции. Москва (2021, 2023); Актуальные проблемы экологии и природопользования. XXI и XXII Международная научно-практическая конференция, Москва (2020, 2021); Новые идеи в науках о Земле. XV и XVI Международная научно-практическая конференция. Москва (2021, 2023); Молодые - Наукам о Земле. IX Международная научная конференция молодых учёных. Москва (2020). Работа «Реабилитационные и ликвидационные работы при недропользовании» (соавт. В.Н. Экзарьян) была представлена на 33-ем Международном конкурсе научно-исследовательских работ Всероссийского общества научно-исследовательских разработок (2021) и получила 2 место, что подтверждается дипломом.

Ряд задач в исследовании был выполнен в рамках государственного задания Минобрнауки РФ № 075-00069-20-02 от 10 сентября 2020 г. Тема № АААА-А20-120092590017-4 в разделе «Разработка предложений по совершенствованию природоохранных мероприятий при освоении углеводородных ресурсов Черноморско-Каспийского региона».

Основные результаты исследования отражены в 15 публикациях, 4 из них опубликованы в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК.

Теоретические результаты диссертационного исследования были использованы при проведении лекционных и практических занятий в ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ)», в рамках курсов, «Геохимия окружающей среды», «Промышленная экология», «Методика экологических исследований» по направлению 05.03.06. «Экология и природопользование».

Структура работы: диссертационная работа изложена на 142 страницах, состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы в количестве 250 наименований, в т.ч. зарубежных 75 источников. Работа содержит 25 таблиц и 26 рисунков.

Благодарности. Автор искренне благодарен своему научному руководителю, учителю доктору геолого-минералогических наук, профессору В.Н. Экзарьяну за всестороннюю поддержку, терпение, ценные советы на всех этапах написания работы. Автор считает своим долгом также выразить слова благодарности всем сотрудникам кафедры экологии и природопользования МГРИ и в особенности кандидату геолого-минералогических наук, доценту В.В. Рукавицыну за помощь в разработке картографической модели устойчивости геологической среды, кандидату географических наук, доценту М.В. Буфетовой и кандидату географических наук, доценту А.Н. Гусейнову за научные консультации и обсуждения результатов исследований. Так же автор выражает признательность, доктору биологических наук, профессору А.Л. Суздальной за проявленное внимание к работе и конструктивные замечания.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Современное состояние геоэкологических проблем при освоении углеводородных ресурсов

Геоэкологическая проблематика при освоении углеводородов имеет более чем 50-летнюю историю. В историческом развитии природоохранных аспектов недропользования отчетливо прослеживаются три основных этапа: ранний (70-80 гг. XX века), характеризующийся пониманием проблем экологии и недропользования; второй этап (1991-2001 гг.) - осмысления важности экологических проблем, в котором наиболее активно в научно-методическом и международном плане развиваются природоохранные и геоэкологические вопросы; третий этап (2002 г. - н.в.) - развитие комплексного подхода к оценке состояния природной среды, экологизация производств и прочее. При рассмотрении каждого из этих этапов следует отметить следующее: в 70-80 гг. XX века в большей степени акцентируются общие вопросы загрязнения водных объектов при добыче и транспортировке нефти, в особенности описываются аварийные разливы. Кроме того, начинают рассматриваться с 1980-х г. вопросы загрязнения почв в части миграции нефтяных потоков и их воздействия на состояние почвенного и растительного покрова. Начиная же с середины 90-х г. XX века можно говорить о более комплексном рассмотрении геоэкологических проблем при освоении углеводородов. На современном же этапе происходит активный поиск, оценка и совершенствование методов восстановления нарушенных территорий. Повышенный интерес к данной проблематике может быть связан, с одной стороны, с тем, что пройдена стадия осознания важности экологических проблем, и все больше внимания обращается уже не только на превентивные меры, но и на необходимость восстановления деградированных систем. С другой стороны, сегодня с экологической точки зрения, механизмы нефтяного загрязнения почв, грунтов и растений, изменения их физиологических и биохимических свойств изучены достаточно подробно, что

закладывает основу для анализа эффективности и разработки новых методов восстановления в различных средах и климатических условиях.

Вместе с тем, несмотря на наличие богатого материала, не до конца остаются раскрытыми вопросы реабилитации природной среды. Больше внимание уделяется рекультивации нарушенных земель и биоремедиации. Вопросы фиторемедиации или комплексной реабилитации пока полностью не раскрыты. Кроме того, в отечественной науке неопределённость вызывает расплывчатость такого термина как «реабилитация природной среды», отсутствие единых методических основ в данной сфере, не полнота формулирования принципов проведения реабилитационных мероприятий и т.д. Названные проблемы отмечаются и при рассмотрении нормативно-правового аспекта в данной области. В дополнение, выделяются проблемы в части регулирования ликвидации последствий нефтяных аварий, режима зон экологического бедствия и накопленного экологического вреда. Немаловажно отметить, что существующие природоохранные требования при проведении природовосстановительных мероприятий не учитывают оценку устойчивости геологической среды. При решении вопросов реабилитации её потенциал в полной мере не реализован. Все эти моменты обусловили актуальность данного исследования.

Глава 2. Оценка существующих методов реабилитации природной среды

Российская практика развивает научно-методические вопросы отдельных методов восстановления, особенно при недропользовании, а вот методологические основы реабилитации природной среды разрабатываться только начинают. Исходя из этого, на данный момент при определении сути реабилитации природной среды широко применяется ряд определений: рекультивация; экологическая реабилитация, восстановление лесов; реновация природных систем; природовосстановление; экологическое оздоровление и т.п. Поэтому, прежде всего, в рамках данного исследования, было сформулировано обобщённое определение реабилитации природной среды. В его основе заложены существующие научные подходы, мировой и отечественный опыт. По результатам выполненного анализа, можно заключить, что *реабилитация природной среды представляет собой комплекс мер, направленных на восстановление её свойств и функций после нанесённого вреда, и улучшение состояния экологически неблагоприятных территорий. Понятие реабилитация и восстановление природной среды при этом признаются равнозначными.*

Рассмотренный отечественный и мировой опыт (например, Японии, Австралии, Индии, Бразилии, Аргентины, Уругвая, Алжира, Китая, Казахстана, Португалии, Испании, Франции, Швеции, США и других стран) позволил не только выработать наиболее ёмкое определение реабилитации, но также установить, что существует определённый акцент на таких составляющих реабилитации как *объект восстановления, полнота восстановления, территориальная принадлежность и способ осуществления*, формирующих структуру выполнения мероприятий. Объектом признается компонент природной среды (например, грунт, подземные воды, почвы, которые составляют геологическую среду) или собственно природная среда (в стадии деградации или экологического бедствия). Полнота восстановления связана со стремлением воссоздания состояния среды до нанесённого вреда или же восстановление наиболее важных функций среды. Территориальная принадлежность может быть локальная, субъектная, национальная и трансграничная. Способ осуществления определяется как естественная реабилитация, техническая и смешанная реабилитация. Здесь необходимо указать, что при ликвидации и восстановлении среды в случаях нефтяного загрязнения наибольшее распространение получили такие методы как рекультивация, биоремедиация и фиторемедиация. Последние два метода могут рассматриваться как самостоятельно, так и в рамках биологической рекультивации (ремедиации), иными словами, данные методы взаимосвязаны.

Проводя сравнительную характеристику указанных методов, можно отметить, что достоинством рекультивации является оперативное обезвреживание загрязнителей и вовлечение земли в хозяйственный оборот. В то же время, рекультивация требует значительных экономических затрат; может приводить к уничтожению гумусового слоя почвы, образованию вторичных отходов; в малой степени способна восстановить биоразнообразие; не решает проблему возможного просачивания нефти в нижележащие горизонты.

Положительной стороной биоремедиации можно считать способность микроорганизмов поглощать значительное число различного рода органических веществ; относительную безопасность для экосистемы; простоту технологии; использование микробных консорциумов, более эффективно разлагающих нефть. Фиторемедиация как метод обладает таким преимуществом как возможность применения на больших площадях; улучшение качества и структуры почвы; повышение деятельности автохтонных микроорганизмов; защита от эрозии; возможность применения к широкому кругу загрязнителей. Вместе с тем, что биоремедиация, что фиторемедиация обладают схожими ограничениями. Так, существует зависимость от климатических, почвенных условий; скорость биodeградации зависит от степени загрязнения и правильного выбора штамма или растения; возможно подавление автохтонных микроорганизмов вплоть до полного их замещения.

Несмотря на данные обстоятельства при проведении рекультивации растёт тенденция по увеличению доли применения методов ремедиации. Если же обозначать векторы развития самих методов ремедиации то они лежат в плоскости развития комбинированной фиторемедиации; расширения применения ризодеградации; применения биосорбентов и консорциумов при ликвидации нефтяного загрязнения; разработки «супербактерий», которые способны поглощать различного рода загрязнители.

Исследуя особенности реабилитации природной среды, следует рассмотреть принципы, на которых она базируется. В восстановительной экологии ключевым принципом можно считать достижение устойчивости экосистемы (геологической среды в том числе). Его суть заключается в том, чтобы факторы, которые привели к ухудшению состояния или деградации экосистемы не влияли на неё в будущем, в долгосрочной перспективе, а само функционирование экосистемы могло проходить без участия человека. Ряд исследователей (Burger, J., 2000; Gornish ES et al, 2021; Littles, C., et al, 2022) также выделяют такие принципы деятельности по реабилитации как научная обоснованность; оценка результатов восстановления на базе мониторинга окружающей среды, комплексность. В рамках настоящего исследования считаем необходимым кроме ранее обозначенных выделить принцип - *самовосстановления территории*. Он исходит из законов современной экологии, в частности закона Б. Коммонера «Природа знает лучше». Сам закон подразумевает, что человек не обладает всеми знаниями о процессах в природе. Данный принцип тесно связан также с принципом уникальности (Н.Ф. Реймерс 1994), ведь только сама природа может восстановить себя в наиболее первоначальном виде.

Обращаясь к принципу комплексного подхода, отметим, что он связан с такими законами и экологическими постулатами как принцип экологической комплементарности, подразумевающий, что «функционирование какого-либо элемента экосистемы невозможно само по себе» (Н.Ф. Реймерс 1994). Б. Коммонер сформулировал такой закон как «Все связано со всем», основанный на фундаментальном принципе Ле Шателье — Брауна. Исходя из этого комплексный подход подразумевает, что восстановление должно быть не только обосновано и реализовываться с применением технологий, которые соответствуют требованиям последних достижений науки, но и быть направлено не на отдельный компонент, а на экосистему или совокупность её компонентов в целом, так как в природе существуют открытые системы, в

которых восстановлению должны подлежать среди прочих и такие функции как поток энергии и круговорот питательных веществ, что способствует восстановлению баланса внутри неё.

Данный принцип логически вытекает и из законов экологической геологии. Первый её закон гласит: «эколого-геологические свойства литосферы и её компонентов, их пространственно-временные изменения определяются историей их геологического развития во взаимодействии с внешними природными средами и техносферой». Второй закон – «динамика экологических функций литосферы и её компонентов обусловлена их природными свойствами, видом и интенсивностью взаимодействия с внешними, техногенными средами. И третий закон состоит в том, что «современные экологические качества литосферы определяются природными факторами и техногенезом, что обуславливает необходимость поиска их оптимального сочетания и разумного компромисса между природой и человеком» (В.Т.Трофимов и др., 2021).

Рассмотренные принципы нашли своё отражение и при регламентации реабилитации в таких странах как, например, Франция, Индия, Япония.

Таким образом, анализ первых двух глав позволяет сформулировать *первое защищаемое положение, заключающееся в том, что разработка природовосстановительных мероприятий и создание экологически безопасных условий освоения нефтяных месторождений должно базироваться на оценке устойчивости геологической среды как наиболее подверженной техногенному воздействию.*

Глава 3. Геоэкологическая характеристика Черноморско-Каспийского региона России

Черноморско-Каспийский регион (ЧКР) охватывает обширные территории, заключённые между Чёрным и Каспийским морями. В рамках данного исследования рассматривается его северная часть (преимущественно континентальная), в границах России (рис.1). В главе представлена краткая характеристика, дающая представление о типичных природных, геологических и гидрогеологических условиях. Изучение шельфа и акватории в данном случае не проводилось, по причинам того, что морская нефтедобыча обладает своей спецификой: миграция и поведение нефти в морской среде происходит по механизмам отличным от загрязнения геологической среды, что приводит к необходимости более детального изучения проблем не самой устойчивости, а уязвимости среды к нефтезагрязнению.



Рисунок 1. Границы Черноморско-Каспийского региона России

ЧКР России является одним из самых староосвоенных нефтяных районов. В плане промышленной освоенности, потенциала, продуктивности и дальнейшей перспективности в настоящий момент наиболее значимыми признаются *Терско-Каспийский бассейн, Азово-Кубанский бассейн (особенно Индоло-Кубанский суббассейн), Каркинитский бассейн.* Указанные бассейны входят в *Северо-Кавказскую нефтегазоносную провинцию.* В пределах

Азово-Кубанского бассейна открыто в общей сложности порядка 200 месторождений (В.Ю.Керимов и др., 2021). Из них около 118 месторождений, содержащих нефтяную компоненту. В свою очередь, в Терско-Каспийском бассейне известно 50 месторождений, из них более половины с нефтяной компонентой. В данном бассейне интерес представляют Терско-Каспийская и Восточно-Предкавказская НГО. Не меньший интерес вызывает и весь Азово-Кубанский бассейн. Внимания данные области заслуживают по причине наибольшего скопления жидких углеводородов. Каркинитский бассейн в работе не рассматривается, так как он обладает нефтяными залежами только на территории румынского шельфа.

Активная деятельность по добычи, транспортированию, хранению нефти и нефтепродуктов в выделенных НГО на протяжении десятилетий, ставит вопрос о необходимости оценки устойчивости геологической среды региона к нефтяному загрязнению, которая будет являться подосновой для ремедиации территории. В геоэкологии устойчивость геологической среды понимается исходя из подхода В.Т. Трофимова (1999). Согласно его подходу, под устойчивостью геологической среды стоит понимать способность среды сохранять состав, структуру, состояние при техногенном воздействии или же изменять их в таких пределах, которые не повлекут вредных экологических последствий. Из этого, следует, что если рассматривать устойчивость геологической среды с позиции её загрязнения, то она реализуется посредством сопротивления, ассимилирования поллютанта, что позволяет нивелировать токсический эффект или не нарушать функционирование среды. Устойчивость также можно связывать с состоянием гомеостаза, выход за пределы которого может привести к деградации системы. Согласно Ю. Одуму такие свойства системы как резистентность и упругость соответствует способности сопротивления при воздействии на неё, поддерживать свою структуру и восстанавливаться после её нарушения. Здесь напрямую видна взаимосвязь между устойчивостью и необходимостью реабилитации, ведь последняя как раз и направлена на её восстановление. В то же время, степень (характер) неустойчивости среды может повлиять на выбор и комплексность реабилитационных мероприятий. Также следует предположить, что чем выше степень устойчивости, тем выше потенциал самоочищения у среды. Таким образом, *устойчивость геологической среды можно рассматривать как интегральный показатель уровня естественной сопротивляемости геологической среды техногенному воздействию с позиции её самосохранения и самовосстановления.*

Для определения того, какие факторы влияют на устойчивость были изучены особенности проникновения нефти и нефтепродуктов в грунты и установлено, что они напрямую зависят от *мощности пород зоны аэрации и литологического её строения.* В результате рассмотрения особенностей строения данной зоны определено, очевидная маломощность зоны аэрации в поймах рек, связана с выходом грунтовых вод или же с их близким залеганием к поверхности; наибольшую (50 и более м) имеют районы Восточно-Кубанской, Индоло-Кубанской и Терско-Каспийской НГО, так как они граничат или частично располагаются на северном склоне Большого Кавказа. При этом стоит отметить, что в последней области наблюдаются часто встречаемые сплошные нарушения и фильтрационные окна, техногенные УВ горизонты или локальные нефтяные линзы, что безусловно будет влиять на характер устойчивости. В целом же в большинстве НГО зона аэрации располагается в пределах 10-20 м., что может говорить, исходя из особенностей миграции и аккумуляции УВ, о высокой её подверженности нефтяному загрязнению. На само загрязнение влияют такие свойства грунтов как коэффициент фильтрации, водопроницаемость, нефтеёмкость или сорбционная ёмкость. Их анализ позволил сделать вывод, что наиболее устойчивыми являются глинистые грунты, наименее - песчаные, при этом существует их зависимость от гранулометрического состава.

Устойчивость геологической среды сопряжена с типом почв, располагаемых над зоной аэрации, так как характеристики различных почв приводят и к разнице в сорбции поллютанта. Здесь следует говорить об *устойчивости почв к нефтяному загрязнению*. Наибольшей устойчивостью для региона обладают луговая, чернозем обыкновенный, черноземы горные, лугово-болотная почва, горно-луговая степная, темно-каштановая, каштановая, светло-каштановая. Это обусловлено их биологическими свойствами. Например, в черноземах обыкновенных, каштановых, темно-каштановых почвах не происходит значительного изменения обилия бактерий *Azotobacter* при загрязнении в концентрации 10% от массы почвы. Такие почвы обладают достаточными сорбционными свойствами в силу своей структурности.

Следующим фактором, который можно отметить, является *относительная защищенность подземных вод*. Качественная оценка защищенности проводится по таким показателям как глубина залегания грунтовых вод, литология зоны аэрации, фильтрационные свойства пород, мощность слабопроницаемых отложений. Эти условия напрямую влияют на защищенность грунтовых вод, в связи с чем достаточно часто исследования ими и ограничиваются. Однако не менее важным представляется рассматривать защищенность не только в его пределах, но и во взаимосвязи с нижележащими водоносными горизонтами. Учёт отмечаемого фактора обусловлен тем, что проникновение загрязнителей не в грунтовые воды, а в указанные горизонты возможно при наличии фильтрационных окон, которые не защищают их от потенциального загрязнения, а способствуют его дальнейшей вертикальной миграции. Фактором же их защищенности выступает перекрытость слабопроницаемыми отложениями с коэффициентом менее 0,1 м/с. Данному условию соответствуют как правило глинистые пески, суглинки, глины. В работе степень защищенности вод нижележащих горизонтов оценивалась по методике Н.В. Роговской (1976). Таким образом, при нефтяном загрязнении необходимо учитывать как защищенность грунтовых вод, так и напорных вод. Отметим, что определение категории защищенности грунтовых вод проходило в соответствии с СП 502.1325800.2021 ««Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ» (Приложение Ж) и принципами заложенными В.М. Гольдбергом (1984).

В изучаемом регионе напорными водами выступают воды верхнеплиоценовых отложений, приуроченные к апшеронскому и ачкагыльскому ярусам. Верхнем их водоупором в Западном Предкавказье являются скифские глины мощностью до 50 м. Они отделяют горизонт от четвертичных суглинков, песков, выступают региональным водоупором и располагаются на глубинах от 50 до 200 м. Скифские глины имеют линзовидные песчаные прослои (на глубинах 3-50 м), мощностью 0,5-8,6 м (Е.П. Конашинская, 2022). Нижним же водоупором выступают глины надпонтической свиты. В данной части региона также выделяются воды среднего плиоцена, заключённые между глинистыми толщами скифского и киммерийского яруса. В Восточном Предкавказье напорные воды лежат в надмайкомпском водоносном этаже, в комплексах апшеронского и ачкагыльского ярусов. Первый распространён повсеместно и залегает на глубинах от 100 до 300 м. Водоупором являются слабоводопроницаемые суглинки, залегающие на различных глубинах в нижней части под супесями, эоловыми песками. Воды ачкагыльского яруса же представляют собой узкую прерывистую полосу в предгорьях, на Терском и Сунженском хребтах. Залегают на глубине от 80 до 250 м (в районе р. Кумы), до 400 м (на востоке) и до 800 м (на юго-востоке). Водовмещающими породами является песчано-галечниковые толщи с водоупорными глинами сармата, мощностью от 5 до 250 м и до 2-4 км (в Терско-Каспийском прогибе).

От условий, которые влияют на устойчивость геологической среды теперь следует перейти к построению её модели для изучаемых областей. Сложившиеся практики позволяют представить следующий примерный алгоритм при оценке устойчивости геологической среды:

1. Определить основные критерии для конкретного типа воздействия.

2. На основе анализа критериев с помощью простейшего метода балльных оценок (качественный метод) проранжировать их, с целью дифференциации условий (табл.1). При этом критерию, который может быть связан с низкой устойчивостью даётся наименьший бал (в данной случае - 1), а который с высокой - наивысший (3), так как чем выше устойчивость каждого фактора, тем выше и общая устойчивость.

3. Просуммировать полученные баллы для каждой степени устойчивости и тем самым определить их диапазоны (табл. 2).

4. Провести типизацию территории (табл.3), при этом учесть, что наиболее распространенным является градация в следующем виде: низкая устойчивость, средняя и высокая устойчивость.

5. На основе полученной типизации построить картографическую модель.

При оценке устойчивости геологической среды в контексте проводимого исследования важно подчеркнуть, что все выделенные факторы (условия) признаются равнозначными. Они также являются предопределяющими так как напрямую влияют на миграцию нефтяных углеводородов и/или представляют собой депонирующие среды. Более того, они позволяют выявить оптимальный комплекс реабилитационных мероприятий в дальнейшем.

Таблица 1. Ранжирование по баллам критериев устойчивости геологической среды к нефтяному загрязнению региона.

Балл	3	2	1
Ранжирование по преобладающей форме рельефа			
Форма рельефа	Предгорный	Равнинный	Пойменный
Ранжирование защищенности грунтовых вод			
Защищенность грунтовых вод	Защищенные	Условно-защищенные	Незащищенные
Ранжирование по типу почв.			
Тип почв	Луговые, чернозем обыкновенный, черноземы горные, лугово-болотные, темно-каштановые, каштановые, светло-каштановые	Солончаки полупустынные, темно-каштановые и каштановые солонцеватые, песчаные, бурые полупустынные, горно-луговая дерново-торфянистая, горно-луговая (степная); дерново-карбонатная, темно-серая лесная; чернозем выщелоченный; чернозем оподзоленный	Чернозем южный, солончаки гидроморфные, солонцы полупустынные, бурая лесная, горно-луговая дерновая, горно-луговая черноземовидная
Ранжирование по относительной защищенности подземных вод нижележащего водоносного горизонта.			
Защищенность подземных вод	Относительно защищены	Условно защищены	Относительно незащищены

Таблица 2. Балльный диапазон степень устойчивости геологической среды.

Степень устойчивости	Высокая	Средняя	Низкая
Балл	11 и более	Св. 8 до 11	Менее 9

Таблица 3. Интегральная балльная оценка степени устойчивости геологической среды.

Преобладающая форма рельефа	Защищенность грунтовых вод	Защищенность подземных вод нижележащего водоносного горизонта	Тип почв	Сумма баллов
Индоло-кубанский суббассейн				
3	3	3	3	12
2	2	3	3	10
2	1	3	1	7
1	1	3	3	8
Западно-Предкавказская НГО				
2	2	3	3	10
1	1	3	3	8
Восточно-Кубанская НГО				
3	3	3	3	12
2	1	3	3	9
1	1	3	3	8
Восточно-Предкавказская НГО				
3	3	3	2	11
2	3	3	2	10
	2			9
	1			8
1	1	3	2	7
Терско-Каспийская НГО				
3	3	3	2	11
2	1	3	2	8
1	1	3	2	7

Результаты балльной оценки отражены на рис.2. При этом следует обратить внимание, что в картографической модели сделано допущение по объединению Западно-Предкавказской и Восточно-Кубанской НГО в одну область, с целью простоты представления материалов. Данное допущение никак не отражается на изменении или искажении полученных результатов. Также при региональной оценке устойчивости наиболее целесообразно ориентироваться на характерные, показательные условия, присущие большей части территории.

Как можно заметить из табл.3 и рис.2 *высокая устойчивость геологической среды* наблюдается в предгорных районах Индоло-Кубанской, Восточно-Кубанской и Терско-Каспийской НГО; в возвышенных частях (более 300 м) Восточно-Предкавказской НГО. Это объясняется наличием ряда наиболее часто встречающихся условий: преобладание чернозёмных, каштановых и лугово-черноземных, бурых полупустынных, светло-каштановых, лугово-каштановых солончаковых почв, обладающих высокой и относительной устойчивостью к нефтезагрязнению; тяжелосуглинистый, глинистый или глинистый с прослоями песка тип грунта и мощность зоны аэрации более 20 м или же более 50 м. Грунтовые воды при таких условиях считаются защищёнными или условно-защищенными. Подземные воды могут рассматриваться как защищённые по причине практически повсеместного залегания сарматских глин. Содержание песков в них достигает в среднем 3-5%, глинистые фракции в свою очередь составляют от 50 до 73%, мощность доходит до 250 м, т.е. глины плотные, массивные.

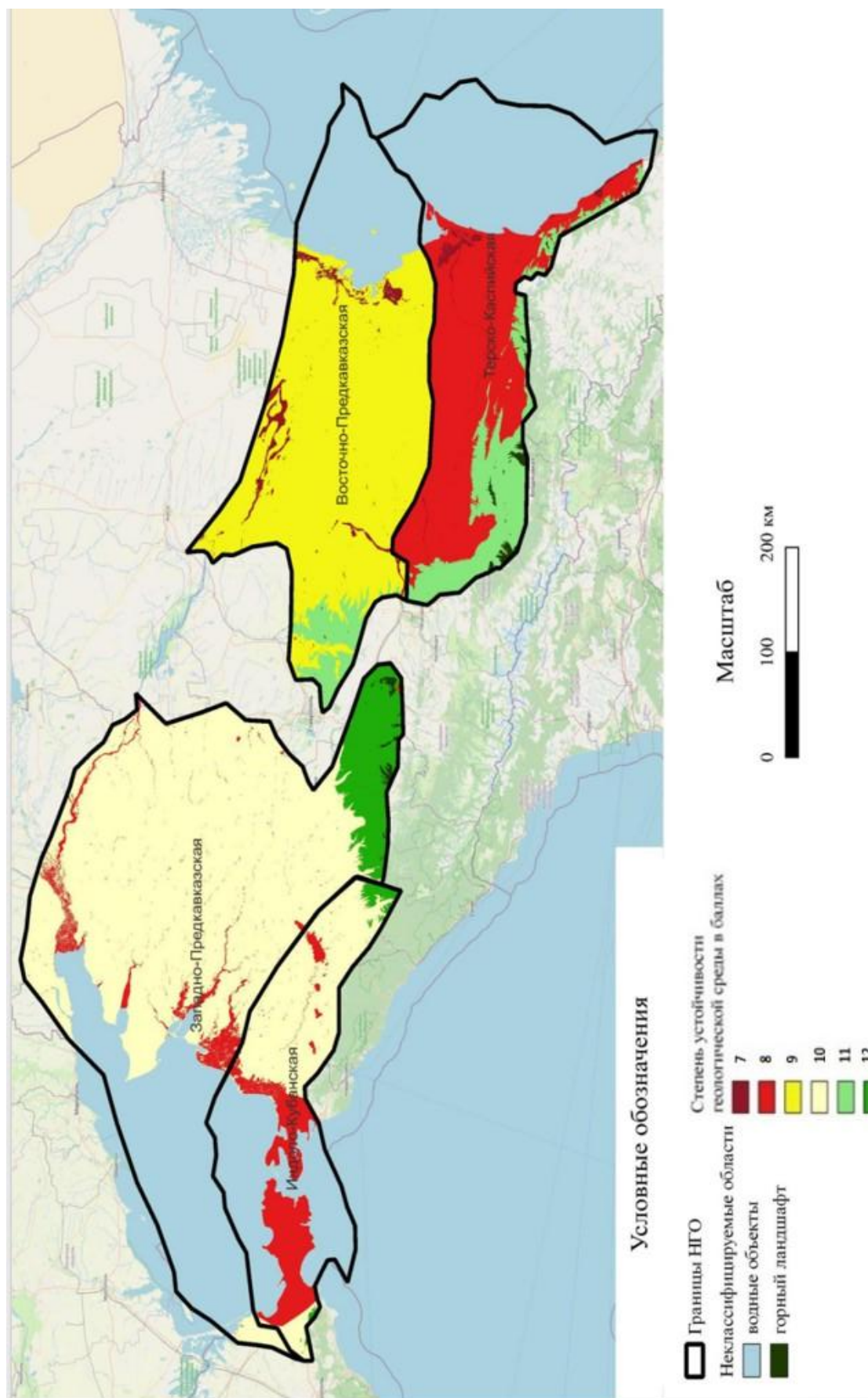


Рисунок 2. Картографическая модель устойчивости геологической среды по отношению к нефтяному загрязнению основных нефтегазовых областей региона

Свое подтверждение нашло и предположение, что *низкая степень устойчивости* характерна для пойменных участков, территорий, подверженных заболачиванию, затоплению. Несмотря на отмеченные выше обстоятельства о защищенности подземных вод и устойчивости почв, такие факторы как малая мощность зоны аэрации (до 3 м или от 3 до 5 м), и как следствие близкое к поверхности залегание грунтовых вод, супесчано-суглинистый, или же песчаный с прослоями маломощных суглинков тип грунта играют существенную роль при нефтяном загрязнении. Как можно заметить, данный тип устойчивости отмечен во всех областях.

Особо стоит остановиться на характеристике условий, которые позволяют выделить как *среднюю так и низкую устойчивость, не связанную с пойменными участками*. Так, в Индоло-Кубанской области средняя степень устойчивости обусловлена наличием равнинного рельефа; лугово-болотными, луговыми почвами; тяжелосуглинистым типом грунта; залеганием грунтовых вод на глубинах от 10 до 25 м, что позволяет говорить о их условной защищенности и водоупором в виде слоя скифских глин куяльницкого и киммерийского ярусов. Низкая же степень устойчивости наблюдается в районе Керчи-Тамани, где в отличие от остальной части песчаный состав грунта и слабо устойчивые к нефтезагрязнению черноземы южные, солончаки гидроморфные; малая мощность зоны аэрации (до 3 м или от 3 до 5 м), что приводит к тому, что грунтовые воды незащищены от нефтяного загрязнения.

Западно-Предкавказская и Восточно-Кубанская НГО обладают средней устойчивостью так как располагаются на равнине, с преимущественно черноземными, каштановыми и лугово-черноземными почвами. На территории отмечается глинистый, тяжелосуглинистый, редко среднесуглинистый тип грунта, грунтовые воды залегают на глубинах от 10-15 до 25 м, что позволяет сделать вывод о том что они являются условно-защищенными или же в ряде случаев незащищенными. Подземные воды защищены слоем скифских глин куяльницкого и киммерийского ярусов.

Средняя степень устойчивости в Восточно-Предкавказской НГО может быть связана с тем, что преобладает равнинный рельеф; каштановые, бурые полупустынные почвы, солончаки и песчаные почвы, обладающие различной степенью устойчивости к нефти и нефтепродуктам. По составу грунт песчано-суглинистый. Грунтовые воды залегают на глубинах более 20 м, что говорит о их условной защищенности или же защищенности в случаях значительной мощности глин или суглинков. Подземные воды защищены мощным слоем сарматских глин с линзовидными маломощными прослоями песка. Низкая степень устойчивости в данной области может быть объяснена распространением фильтрационных окон, где мощная песчаная зона аэрации или же расположением в пойменных участках.

Терско-Каспийская НГО за исключением предгорной территории может быть отнесена к низкой степени устойчивости геологической среды. Этому способствуют следующие условия: равнинный характер рельефа; бурые полупустынные, светло-каштановые, лугово-каштановые солончаковые почвы, черноземы выщелочные, а в районе Каякента, Дербента, каспийского побережья песчаные почвы. Значительная часть территории сложена песчано-суглинистыми, песчано-гравийными, песчаными с линзами известковистых глин (до 30 см) грунтами. Грунтовые воды залегают на глубине 2-5 м и не защищены от нефтяного загрязнения. В местах распространения фильтрационных окон зона аэрации может простирается до локального водоупора. В районах, где глубина залегания грунтовых вод может достигать 50 и более м также нельзя сделать вывод о их защищенности по причине наличие маломощной толщи слабопроницаемых грунтов, которые распространены в виде отдельных прослоев. Несмотря на это, подземные воды, как и в других областях защищены сарматскими глинами.

На территориях со средней степенью устойчивости также как и с низкой нельзя отрицать необходимость реабилитационных мероприятий, по причине того, что потенциал самоочищения не безграничен, а сама среда обладает своими пределами толерантности, выход за которые и приводит к потребности их разработки. Если же рассматривать территории со

средней устойчивостью с позиции рискованного подхода, то здесь можно предполагать, что это зоны потенциального риска, так как рост давления на территорию впоследствии сказывается на способности среды к сопротивлению и приводит к постепенной её деградации.

Анализ второй и третьей главы позволяет сформулировать *второе защищаемое положение: оценку устойчивости геологической среды следует осуществлять перманентно на всех стадиях «жизни» природно-технической системы вплоть до ее ликвидации, что будет способствовать минимизации негативных экологических последствий нефтедобычи и явится геоподосновой для выбора комплекса реабилитационных мероприятий.*

Подводя итог данного раздела, стоит отметить, что оценка устойчивости геологической среды к нефтяному загрязнению способствует решению двух задач: для существующих объектов позволяет определить оптимальный комплекс мероприятий по ликвидации загрязнения, а в итоге на стадии эксплуатации объектов проводить мониторинг изменения геологической среды и обосновать необходимость ремедиации. Для проектируемых объектов учёт устойчивости геологической среды может выступать в качестве одного из критериев выбора места их размещения, тем самым содействующих реализации системного подхода в развитии территории.

Глава 4. Рекомендации по восстановлению территорий, подверженных нефтяному загрязнению

Восстановление и/или поддержание устойчивости почвенно-растительного комплекса и грунтов вместе с ним как части геологической среды играет существенную, если не ключевую роль при нефтяном загрязнении. Поэтому, в работе было решено рассмотреть био – и - фиторемедиационный потенциал ряда растений, сорбентов и специальных препаратов, и выявить среди них наиболее предпочтительные комбинации, повышающие эффективность ремедиации. Для этого был заложен модельный эксперимент в лабораторных условиях. Эксперимент проходил в летний период 2022 г. (июль-август). Его длительность составила 50 суток. В качестве почвенного образца использовался чернозём обыкновенный легкоголистый (Ростовская обл., Азовский район). Выбор данного типа почв обусловлен тем, что чернозёмы наиболее устойчивы к нефтяному загрязнению, и тем самым они представляют наибольший интерес. Кроме того, данный тип имеет широкое распространение в изучаемом регионе, особенно в Предкавказье. Как было определено регион относится к средней или низкой степени устойчивости, что подразумевает наличие определённого потенциала самоочищения, но и свидетельствует о значительных долях риска при увеличении техногенной нагрузки. Поэтому и возникает необходимость изучения особенностей ремедиации данного типа почв, позволяющих снизить степень негативного воздействия на него.

Почву предварительно высушивали в течении одних суток при комнатной температуре, просеивали и затем размещали в 15 вегетационных сосудов, в количестве 1 кг в пересчёте на воздушно-сухую массу. В качестве вещества загрязнителя выступало минеральное моторное масло (товарное, марки Lukoil standard.15W-40). Загрязнение почвы происходило посредством добавления во все образцы одинакового количества нефтепродукта - 3000 мл/кг., что может соответствовать в данном случае высокой степени загрязнения, согласно классификации Ю.И.Пиковского (1993). После загрязнения все вегетационные сосуды на сутки были оставлены с целью пропитки их загрязнителем. При этом не происходило перемешивание почвы, чтобы имитировать поверхностное загрязнение и естественный процесс миграции поллютанта в последующем.

Для ремедиации загрязнённой почвы использовались минеральные сорбенты (доломитовая мука, цеолит с посевным материалом грибов рода *Метаризиум*), бакпрепарат (марка Bionex Oil Solvent, с содержанием консорциума из 8 штаммов анаэробных микроорганизмов в количестве 150×10^6 КОЕ/гр.) и растения (овёс обыкновенный (*Avena sativa*), мятлик луговой (*Poa pratensis*), люцерна изменчивая (*Medicago x varia Martyn*) и их различные комбинации (табл. 4.).

Выбор данных способов продиктован существующими исследованиями (Л.Б.Высоцкая и др., 2019; И.И. Гаврилин и др, 2015; Т.Ю. Коршунова, 2019 и др.) и нормативами (ГОСТ Р 57447-2017, ГОСТ Р 57446-2017, ГОСТ Р ИСО 22030-2009). В частности, злаки образуют множество корней, что приводит к устойчивости к эрозии и связыванию углеводов. Мятлик луговой в свою очередь не требователен к температурным условиям и отзывчив на удобрения. Согласно ГОСТ Р 57447-2017 выступает в качестве наилучшей доступной технологии (НДТ). Люцерна как эффективный фиторемедиант отмечена в работах (Ю.М., Сотникова, 2022; А.Ю. Степанова и др., 2012). Кроме того, корни люцерны играют роль в увеличении популяции микроорганизмов нефтеструктуров, посредством создания благоприятной для них среды. Стоит отметить и такой факт, что овёс и мятлик луговой являются распространёнными культурами в Предкавказье.

Таблица 4. Описание лабораторных образцов.

Название образца	Характеристика
О-№1	Контрольный. Нефтезагрязненная почва
О-№2	Загрязненная почва+доломитовая мука (в начале опыта, затем повторно по истечении 30 суток)
О-№3	Загрязненная почва+цеолит с грибами рода Метаризиум (в начале опыта, затем повторно по истечении 30 и 40 суток)
О-№4	Загрязненная почва+биорепарат Bionex (в начале опыта, затем повторно по истечении 20 и 40 суток)
О-№5	Загрязненная почва+овес (в начале опыта)
О-№6	Загрязненная почва+люцерна (в начале опыта)
О-№7	Загрязненная почва+мятлик луговой (в начале опыта)
О-№8	Загрязненная почва+доломит+цеолит с грибами рода Метаризиум (в начале опыта, затем повторно по истечении 30 суток)
О-№9	Загрязненная почва+цеолит с грибами рода Метаризиум +биорепарат Bionex (в начале опыта)+доломитовая мука (дополнительно по истечении 40 суток)
О-№10	Загрязненная почва+доломитовая мука+цеолит с грибами рода Метаризиум (в начале опыта)+биорепарат Bionex (по истечении 10 суток)+доломитовая мука (по истечении 40 суток)
О-№11	Загрязненная почва+овес+люцерна (в начале опыта)
О-№12	Загрязненная почва+овес+люцерна (в начале опыта) +мятлик луговой (по истечении 10 суток)
О-№13	Загрязненная почва+доломитовая мука+овес (в начале опыта) +биорепарат Bionex+ мятлик луговой (по истечении 10 суток)
О-№14	Загрязненная почва+люцерна+цеолит с грибами рода Метаризиум (в начале опыта) +мятлик луговой (по истечении 10 суток) +доломитовая мука (по истечении 10 и повторно через 30 суток)
О-№15	Загрязненная почва+доломитовая мука+овес (в начале опыта) + цеолит с грибами рода Метаризиум+люцерна (по истечении 10 суток) +биорепарат Bionex+ мятлик луговой (по истечении 20 суток) +доломитовая мука (по истечении 30 суток).

Выбор бакпрепарата (Bionex Oil Solvent) обусловлен его новизной на российском рынке. Так, в виде порошка и суспензии (что и было использовано в опыте) препарат выпущен в 2019-2020 гг. Согласно заявлениям производителя, препарат может использоваться как для

очищения от нефти и нефтепродуктов сточных вод, так и почв. В свою очередь пока не обнаружено достаточных и убедительных опубликованных отечественных исследований по биоремедиации почв с его применением. Поэтому важно было изучить его потенциал, определить перспективность использования, несмотря на утверждения производителя. Применение же различных минеральных сорбентов является повсеместным.

Через сутки после загрязнения в образцы вносились фито-и- биоремедианты (50 семян люцерны, 100 семян овса, 200 семян мятлика, 300 мл. биопрепарата), а также сорбенты, согласно инструкциям производителя или же исходя из площади образца. Сосуды, в которых высаживались растения инкубировались для улучшения эффекта всхода. В течении всего эксперимента на регулярной основе вносились азотно-калиево-фосфатные удобрения (каждые 7 суток согласно инструкции производителя), также производилось увлажнение почвы (по мере необходимости) и аэрирование (рыхлением, по мере необходимости). В целом поддерживались условия, приближенные к естественным (влажность более 60%, температура - в пределах 22-26 градусов по ГОСТ Р ИСО 22030-2009, возможность свободного поступления кислорода и воды). Среди основных показателей учитывались рН, температура почвы, освещённость и влажность почвы (замеры проводились прибором Мегеон-35300).

Оценка же эффективности восстановления проходила посредством определения фитотоксичности, через каждые 10 суток (повторяемость опыта - n=5). Применение способов анализа, связанных с оценкой токсичности почв, позволяет диагностировать существующую опасность, фактический риск или ущерб для экосистемы на текущий момент.

Для анализа в самом эксперименте за основу был принят экспресс-метод биотестирования, разработанный в ИФХиБПП РАН. Суть метода заключается в оценке степени гибели семян клевера ползучего. Проведение анализа проходило по следующей схеме: 1. Естественной увлажнённую отобранную почву весом по 40 г размещали равномерно в чашки Петри. 2. После высеивали 35 семян клевера и увлажняли почву до 60-80%. 3. Чашки Петри инкубировали при комнатных условиях. По аналогии было приготовлено 3 чашки Петри с фильтровальной бумагой, которые играют роль контрольных. 4. Сами образцы выдерживались 5-7 суток, с поддержанием достаточной влажности. После чего производился подсчёт проросших семян. Расчёт же **показателя фитотоксичности** происходил по формуле:

$$\Phi = 100 - \frac{N \cdot 100}{N_0} \quad (1.)$$

где, Φ – показатель фитотоксического эффекта (%), N – число проросших семян, N_0 – среднее значение проросших семян в контрольных образцах. При этом учитывалось, что значение показателя фитотоксичности ниже 20% свидетельствует о условно безопасном уровне загрязнения, частичном восстановлении, фитотоксичность не проявляется, а отрицательное значение указывает на отсутствие поллютанта в почве или же его значение крайне мало, что позволяет говорить об очищении почвы и полном восстановлении среды.

При оценке фитотоксического эффекта также учитывалось, что главным ограничением применения клевера в качестве тест-растения является, то, что его можно использовать на нейтральных, слабокислых, слабощелочных почвах (рН от 5,5 до 7,5), так как клевер не прорастает ни в кислых, ни в щелочных почвах. В ходе всего опыта значение рН оставалось стабильным в пределах 7,0-7,5 поэтому подобное ограничение не оказало влияния на результат. Результаты же исследования представлены на рис. 3-5 и табл. 5-7. Кроме того, исходя из ГОСТ 12038-84, ГОСТ Р ИСО 22030-2009 учитывались такие показатели как энергия прорастания и всхожесть тест-растения, а также длина корня и побега. Всхожесть в образцах №2,3,4,8,9,10 определялась как среднее значение по четырём пробам, что допускает ГОСТ 12038-84. Связано это с минимизацией допустимой (до 14%) степени погрешности.

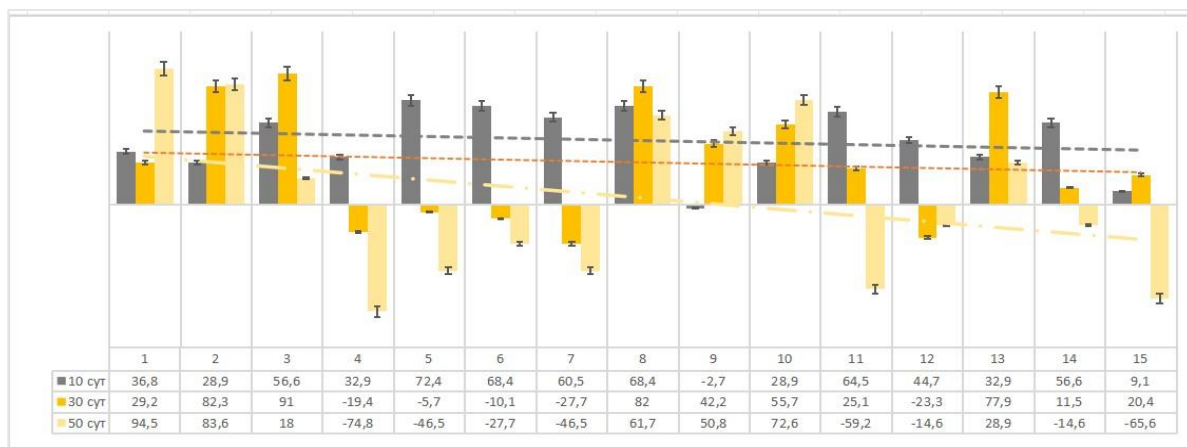


Рисунок 3. Обобщённая оценка фитотоксического эффекта (%)

Таблица 5. Показатели тест растения в ходе проведения эксперимента

Название образца	Показатели тест-растения									
	Энергия прорастания (%)					Всхожесть (%)				
	10 сут	20 сут	30 сут	40 сут	50 сут	10 сут	20 сут	30 сут	40 сут	50 сут
О-№1	45,70	57,10	37,10	11,40	11,40	45,70	57,10	45,70	11,40	5,70
О-№2	34,20	8,50	20,00	22,80	5,70	48,50	11,40	28,50	25,70	8,50
О-№3	22,80	5,70	11,40	8,50	34,20	34,20	5,70	17,10	8,50	42,80
О-№4	45,70	60,00	22,80	45,70	77,10	62,80	77,10	40,00	48,50	91,40
О-№5	37,10	85,70	65,70	65,70	65,70	25,70	85,70	68,60	64,60	65,70
О-№6	25,70	40,00	71,40	74,30	57,10	22,90	54,30	71,40	75,70	57,10
О-№7	28,60	31,40	68,60	77,10	65,70	25,70	40,00	82,90	76,40	77,10
О-№8	20,00	8,50	2,80	11,40	14,20	34,20	11,40	8,50	14,20	20,00
О-№9	42,80	25,70	20,00	14,20	22,80	60,00	37,10	25,70	20,00	25,70
О-№10	17,10	14,20	5,70	8,50	11,40	37,10	22,80	5,70	11,40	14,20
О-№11	45,70	77,10	51,40	65,70	71,40	42,90	77,10	48,90	63,50	65,70
О-№12	22,90	25,70	80,00	62,30	51,40	25,70	20,00	80,00	60,60	62,30
О-№13	48,60	51,40	11,40	37,10	51,40	48,60	51,40	14,30	37,10	11,40
О-№14	31,40	45,70	57,10	60,00	54,30	31,40	45,70	57,10	62,90	42,90
О-№15	65,70	60,00	51,40	45,70	34,30	65,70	60,00	51,40	45,70	74,30

Таблица 6. Показатели тест растения в ходе проведения эксперимента

Название образца	Показатели тест-растения									
	Средняя длина корня (мм)					Средняя длина побега (мм)				
	10 сут	20 сут	30 сут	40 сут	50 сут	10 сут	20 сут	30 сут	40 сут	50 сут
О-№1	4,00	10,00	20,00	10,00	20,00	4,00	10,00	10,00	10,00	15,00
О-№2	8,00	4,00	5,00	5,00	4,00	32,00	26,00	26,00	27,00	28,00
О-№3	10,00	7,00	7,00	5,00	8,00	35,00	31,00	31,00	27,00	31,00
О-№4	15,00	20,00	10,00	15,00	20,00	42,00	45,00	37,00	39,00	45,00
О-№5	13,00	16,00	17,00	16,00	18,00	27,00	31,00	34,00	35,00	44,00
О-№6	15,00	18,00	18,00	23,00	26,00	25,00	36,00	41,00	43,00	46,00
О-№7	14,00	15,00	20,00	24,00	21,00	30,00	31,00	35,00	41,00	42,00
О-№8	10,00	5,00	5,00	8,00	10,00	33,00	25,00	26,00	32,00	31,00
О-№9	15,00	10,00	10,00	7,00	10,00	41,00	31,00	30,00	31,00	32,00
О-№10	10,00	5,00	5,00	4,00	10,00	30,00	29,00	27,00	30,00	32,00
О-№11	11,00	21,00	21,00	21,00	19,00	23,00	38,00	39,00	42,00	46,00
О-№12	12,00	14,00	25,00	18,00	19,00	26,00	32,00	38,00	43,00	47,00
О-№13	4,00	15,00	10,00	10,00	10,00	5,00	9,00	10,00	8,00	12,00
О-№14	10,00	15,00	20,00	20,00	20,00	10,00	10,00	15,00	15,00	15,00
О-№15	15,00	15,00	20,00	20,00	20,00	15,00	11,00	10,00	15,00	15,00

Для сопоставимой оценки изменения длины корня и общего фитотоксического эффекта по показателю «Ф» дополнительно рассчитывался показатель **ингибирования удлинения корня (REI)** по следующей формуле:

$$REI = \frac{A-B}{A} \cdot 100 \quad (2.)$$

где А – средняя длина корня в контрольном образце (в данном случае она равнялась 22 мм), В – средняя длина корня в испытываемом образце. При значении показателя REI в 50%, уровень подавления оценивался как равный 50%, и аналогично в других случаях. Его значения приведены в табл. 7.

Следующим этапом исследования стал поиск взаимосвязей между полученными данными. Так, в частности, были установлены прямые зависимости между коэффициентом фитотоксичности и всхожестью тест-растения (рис. 4.). Из рис. 4. становится очевидно, что снижение показателя фитотоксичности (Ф) приводит к увеличению всхожести и наоборот.

Таблица 7. Значения показателя ингибирования удлинения корня тест-растения.

Название образца	Показатель REI (%)				
	10 сут	20 сут	30 сут	40 сут	50 сут
О-№1	81,8	54,5	9,09	54,5	9,09
О-№2	63,6	81,8	77,2	77,2	81,8
О-№3	54,5	68,1	68,1	77,2	63,6
О-№4	31,8	9,09	54,5	31,8	9,09
О-№5	40,9	27,2	22,7	27,2	18,1
О-№6	31,8	18,1	18,1	-4,5	-18,1
О-№7	36,3	31,8	9,09	-9,09	4,5
О-№8	54,5	77,2	77,2	63,6	54,5
О-№9	31,8	54,5	54,5	68,1	54,5
О-№10	54,5	77,2	77,2	81,8	54,5
О-№11	31,8	9,09	9,09	18,1	13,6
О-№12	45,4	36,3	-13,6	18,1	13,6
О-№13	81,8	31,8	54,5	54,5	54,5
О-№14	54,5	31,8	9,09	9,09	9,09
О-№15	31,8	31,8	9,09	9,09	9,09

Как видно из табл. 5 по итогам 50 суток наилучшая всхожесть наблюдалась в образцах, где были высажены растения - фиторемедианты, внесены удобрения и бакпрепарат (в таких образцах всхожесть варьировалась от 50 до 91%). Частичное её снижение в ряде образцов (О-№13-15) может быть объяснено доминированием такой культуры, как овёс обыкновенный (*Avena sativa*), чья мощная корневая система не давала укорениться другим культурам, и тем самым снижался синергетический эффект фиторемедиации, устранённый в последствие подсадкой фиторемедиатов и повторным добавлением бакпрепарата.

Оценка ингибирования удлинения корня и общего показателя фитотоксичности показали в свою очередь не однозначные связи (рис.5). В части образцов (особенно в О-№1 по истечении 30 и 50 суток) не удалось установить прямых зависимостей, которые бы подтверждали, что снижение степени загрязнения приводит к меньшей степени подавления роста корня и его здоровому развитию и наоборот. Отмечаемый в контрольном образце О-№1, содержащем только загрязненную почву, рост длины корня тест-растения (сначала с 4 до 10 мм, а потом до 20 мм на 50 сутки), низкий уровень показателя REI равный по итогам эксперимента 9,09% (на 30 и 50 сутки) может быть предположительно обусловлен, прежде всего, двойственной природой нефти и/или нефтепродуктов.

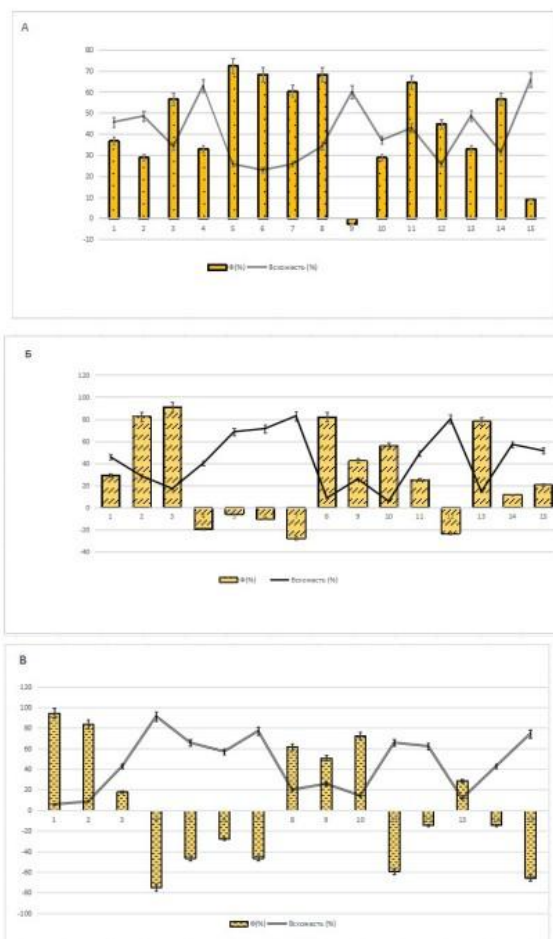


Рисунок 4. Взаимосвязь между коэффициентом фитотоксического эффекта и всхожестью: А - спустя 10 сут, Б - спустя - 30 сут, В - спустя 50 сут.

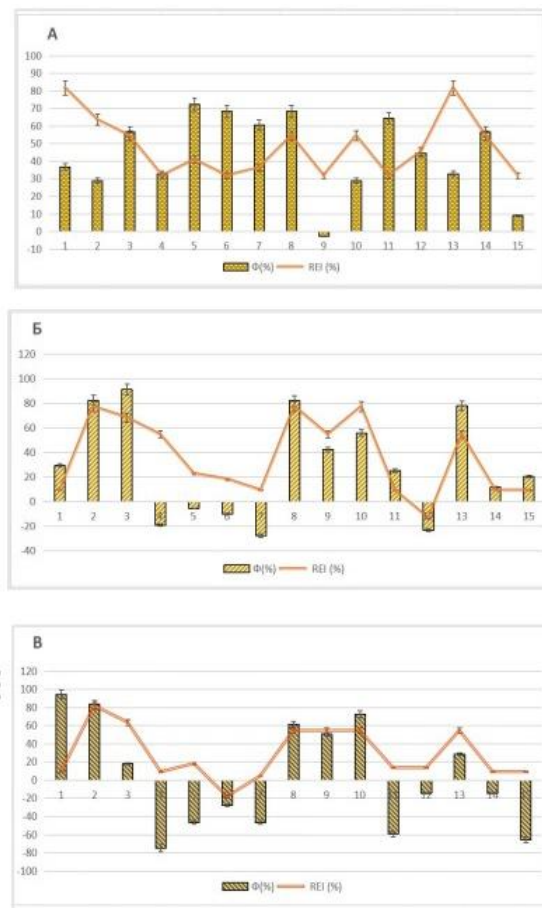


Рисунок 5. Взаимосвязь между коэффициентом фитотоксического эффекта и ингибированием удлинения корня: А - спустя 10 сут, Б - спустя - 30 сут, В - спустя 50 сут.

Данные поллютанты могут не только подавлять, но и частично оказывать стимулирующее действие, так как высвобождается большое количество органического вещества. Однако такое стимулирование не может быть длительным. Дальнейшее нахождение загрязнителей в почве или в корневой системе приводит к обратному эффекту. Безусловно описываемый эффект требует дальнейшего изучения. Несмотря на данное обстоятельство, в большинстве образцов связь между показателями все же видна и однозначно показывает, что низкая степень загрязнения приводит к снижению степени ингибирования.

Анализируя проведённый эксперимент в целом, стоит отметить следующее:

Эффективность бакпрепарата в ходе опыта была подтверждена. В образце О-№4, который являлся основным, частичное её снижение (особенно более чем в 2 раза по истечении 20 суток) с большей долей вероятности связано с уменьшением концентрации питательных веществ в почве (прежде всего NPK) и кислорода. Данное предположение связано с тем, что как только происходило внесение удобрений и проводилось аэрирование, то это сказывалось на снижении фитотоксичности (до - 19,4% на 30 сутки). Однако важно отметить, что это одна из составляющих. Другой составляющей эффективного действия бакпрепарата является достаточное количество бактерий в почве. Повторное внесение препарата в почву на 20 и 40 сутки показало важность данного фактора. Насыщение почвы микроорганизмами также влияло и на всхожесть тест-растения, снижение степени показателя ингибирования удлинения корня. В частности, в образце О-№4 всхожесть с 40% на 30 сутки возросла до 91,4% на 50 сутки, а

показатель ингибирования с 54,5% на 30 сутки снизился до 9,09% на 50 сутки. Другим примером необходимости регулярного внесения препарата может служить образец О-№10. Однократно внесённый бакпрепарат привёл к замедлению роста токсичности (54,5% на 20 сутки и 55,7 на 30 сутки), однако в дальнейшем наблюдался тренд на её увеличение (80,9% на 40 сутки и 72,6% на 50 сутки, что говорит о высокой степени токсичности). Также в данном образце отмечались и высокие показатели ингибирования удлинения корня. Показатель REI варьировался в ходе опыта в пределах 54,5-81,8%. Значительно повлиять на данный тренд наличие в почве цеолита и доломитовой муки не смогло.

Эффективность цеолита в данном опыте на наш взгляд не подтвердилась. По истечении всего эксперимента значимого результата достичь не удалось. Цеолит с грибами рода *Метаризиум* не демонстрировал устойчивый тренд по снижению токсичности почв до приемлемых уровней. На протяжении всего эксперимента в О-№3 фиксировалась невысокая всхожесть тест-растения. Резкий скачок до 42,8% по истечении 50 суток, а также резкое снижение степени фитотоксичности до 18% объясняется дополнительным двухкратным внесением цеолита и удобрений на 40 сутки, что стимулировало деятельность микроорганизмов. В остальных образцах, где присутствовал цеолит он не повлиял на снижение токсичности (особенно в О-№8-10). Однако стоит полагать, что это связано именно с конкретным видом сорбента, который применялся и, разумеется, нельзя в полной мере утверждать, что в принципе отмеченный сорбент не способен очистить почву от поллютанта.

Действенность доломитовой муки подтвердилась частично. Она является универсальным сорбентом, способным на ремедиацию. Между тем нужно обратить внимание на обстоятельство, что её эффективность ограничена тем слоем, на который наносится. Доломитовая мука по своей структуре не способна проникать в нижележащие слои, поэтому необходима её регулярное добавление. Так, в образце О-№2, где доломитовая мука являлась основным сорбентом, в течении первых 20 суток наблюдалась невысокая степень токсичности (28,9 и 36,3%). По истечении 30 суток показатель составил уже 82,3%, показатель ингибирования удлинения корня - 77,2%. Повторное добавление сорбента позволило снизить токсический эффект с 82,3 до 57,1% (на 40 сутки). Возрастание степени токсичности до 83,6% на 50 сутки стало подтверждением установленной закономерности. Наблюдаемый принцип виден и в образцах О-№8 и О-№10. Как только прекращалось внесение сорбента токсичность росла и наоборот. Данная закономерность отражается и на всхожести тест-растения, росте корня, что приводит к выводу о том, что использование доломитовой муки наиболее целесообразно в сочетании с другими ремедиантами или сорбентами.

Применение фиторемедиантов показало, что овёс обыкновенный (*Avena sativa*) предпочтительнее использовать на первичных стадиях очистки, так как впоследствии он становится доминирующей культурой и способен подавлять рост иных растений (как, например, в О-№13 и О-№15). В образце О-№5 овёс являлся основной культурой. Анализируя его всхожесть и показатель фитотоксического эффекта можно заметить, что наблюдался равномерный тренд в данных показателях. Если в начале опыта токсичность почвы оценивалась в 72,4%, то уже в конце - - 46,5%, а всхожесть возросла с 25,7% в начале, до 65,7% в конце, что позволяло говорить о его эффективности.

Использование мятлика лугового (*Poa pratensis*) и люцерны изменчивой (*Medicago varia Martyn*) в качестве фиторемедиантов эффективно в случае доочистки почвы или же, если они используются как основные ремедианты при отсутствии других растений (как, например, в О-№6 и О-№7 наблюдались устойчивые показатели и тренд на снижение токсичности до - 27,3% и - 46,5% соответственно). В отношении мятлика лугового стоит также иметь ввиду, что наибольший эффект достигается в случае, если его высаживать по истечении 10 суток, так как период его активного роста составляет в среднем 20-30 суток.

Исходя из всего вышеописанного, проведение мероприятий по ремедиации нефтезагрязненных грунтов необходимо прежде всего начинать с определения концентрации поллютанта, масштаба загрязнения. При этом важно учитывать, что проведение подобных

мероприятий необходимо в случаях, когда превышены рекомендованные или принятые региональные нормативы, а также когда потенциал самоочищения значительно снижен.

Необходимо также учитывать, что самовосстановление грунтов в случаях нефтяного загрязнения зависит прежде всего от геоэкологических условий среды, свойств нефти и/или нефтепродуктов, наличия значительного (достаточного) числа бактерий нефтедеструкторов в почве, длительности загрязнения и т.д. Не последнюю роль играет и устойчивость геологической среды. Так, например, в Терско-Каспийской НГО отмечается низкая устойчивость к нефтяному загрязнению, что говорит о необходимости не просто ремедиационных действий, а и технических решений, связанных, например, с откачкой нефти или нефтепродуктов из грунтов, термодесорбцией, аэрированием и т.п. При этом синергетический эффект в данном случае возможен только при одновременном применении физико-химических и биологических методов. С учётом того, что в данной области распространены техногенные горизонты, то можно рассматривать возможность инъектирования бакпрепаратов на основе консорциумов анаэробных бактерий, с целью деструкции нефти и её продуктов, уменьшения линз.

При значительной степени загрязнения указанных территорий на первом этапе ремедиации рекомендуется высаживать овёс обыкновенный как наиболее толерантный фиторемедиант или же вносить бакпрепарат Bionex. На последующем этапе для доочистки рекомендуется удалять овёс с целью повышения выживаемости иных растений, а в случае применения бакпрепарата поддерживать его эффективность регулярным внесением удобрений. Для доочистки следует высевать следующие виды травянистых растений: люцерна, мятлик луговой, или же предусмотреть возможность комбинированного их действия. Например, эффективна следующая комбинация: «доломитовая мука+овес»+ «цеолит+люцерна»+«Bionex+мятлик луговой»+ «доломитовая мука». При слабой степени загрязнения можно использовать совместное действие фиторемедиантов и сорбентов, а именно «люцерна+цеолит» + «мятлик луговой+доломитовая мука»; «доломитовая мука+овес» без проведения доочистки, так как указанные ремедианты нивелируют загрязнение. Использование же такого сорбента как цеолит с посевными грибами рода *Метаризиум* не представляется целесообразным, по причине того, что он не способствует деструкции нефтепродуктов.

Таким образом, проведённое исследование, обобщение вышеописанного позволяет сформулировать *третье защищаемое положение: при ремедиации нефтезагрязнённых грунтов наиболее положительный и долгосрочный эффект достигается комбинированным действием био- фиторемедиантов и минеральных сорбентов. Для изучаемого региона при нефтяном загрязнении рекомендуется применять биопрепарат на основе консорциума микроорганизмов Bionex, овёс обыкновенный (Avena sativa), мятлик луговой (Poa pratensis), люцерну изменчивую (Medicago x varia Martyn), доломитовую муку, а также их комбинацию.*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование позволило сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Рассмотрение геоэкологических проблем освоения углеводородов в ретроспективном ключе даёт возможность определить природу нефтяного загрязнения, выявить компоненты геологической среды, которые подвержены такому типу загрязнения, обосновать важность развития научно-методических основ реабилитации природной среды.

2. Обобщение существующего отечественного и зарубежного опыта позволило сформировать единый подход к пониманию реабилитации природной среды, разработать принципиальную схему её структуры. Предложенная схема наиболее полно отражает суть реабилитации.

3. Изучая особенности восстановления природной среды, можно выделить следующие принципы: 1 принцип - устойчивости, 2 принцип - комплексного подхода, 3 принцип - научной обоснованности, 4 принцип - самовосстановления территории.

4. Взаимосвязь между устойчивостью геологической среды и возможностями ее реабилитации, обусловлена тем, что в задачи реабилитации входит восстановление устойчивости. В тоже время степень устойчивости среды предопределяет выбор и комплексность реабилитационных мероприятий. Есть все основания полагать, что чем выше степень устойчивости, тем выше потенциал самоочищения среды.

5. На примере наиболее крупных нефтегазоносных областей - Азово-Кубанской и Терско-Каспийской была проведена оценка устойчивости геологической среды к нефтяному загрязнению. В ее основе лежат такие критерии как тип рельефа и почв, категория защищенности грунтовых вод, относительная защищенность нижележащего водоносного горизонта. Они показали, что наиболее уязвимой может быть признана Терско-Каспийская НГО, остальные области относятся к средней степени устойчивости. Предгорные области Индоло-Кубанской, Восточно-Кубанской и Терско-Каспийской НГО обладают высокой устойчивостью, а пойменные территории всех областей низкой устойчивостью к нефтяному загрязнению.

6. Проведенный модельный эксперимент по ремедиации продемонстрировал, что при нефтяном загрязнении чернозёмов обыкновенных Западного Предкавказья стоит использовать для их восстановления биопрепарат Bionex, овёс обыкновенный (*Avena sativa*), мятлик луговой (*Poa pratensis*), люцерну изменчивую (*Medicago x varia Martyn*). Кроме того, возможно рассматривать и такие комбинации как: «овес+люцерна»; «люцерна+цеолит»+«мятлик луговой+доломитовая мука»; «доломитовая мука+овес»+«цеолит+люцерна»+ «Bionex+ мятлик луговой+доломитовая мука».

7. Дальнейшие исследования могут быть направлены на развитие данного направления; особо стоит уделить внимание роли и особенностям проведения мониторинга эффективности реабилитационных мероприятий, оценке устойчивости геологической среды при нефтяном загрязнении на локальных участках, в нефтегазоносных районах региона. Отдельный интерес могут вызвать исследования уязвимости морской среды к нефтяному загрязнению, в зависимости от протекающих современных геохимических и биохимических процессов. Немаловажным и перспективным представляется и разработка универсальных деструкторов нефти на основе консорциумов бактерий.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России

1. Ахмадиев А.К., Экзарьян В.Н. Проблемы обеспечения экологической безопасности нефтегазовой отрасли // Разведка и охрана недр. 2020. № 7. с. 44-47.

2. Ахмадиев А.К., Экзарьян В.Н. Реабилитация природной среды - структурный элемент экологической безопасности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 2. с. 112-120.

3. Ахмадиев А.К., Экзарьян В.Н. Реабилитация природной среды в зарубежных странах: опыт правового регулирования // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020. Т. 63. № 4. с. 88-97.

4. Экзарьян В.Н., Ахмадиев А.К. Проблемы и вопросы охраны природной среды при освоении углеводородных ресурсов в Мировом океане // Науки о Земле и недропользование. 2021. Т. 44. № 4 (77). с. 485-495.

Публикации в иных научных изданиях:

1. Ахмадиев А.К. Оценка эффективности биологических методов восстановления нефтезагрязненных территорий в условиях модельного опыта // Геоэкологические проблемы техногенного этапа истории земли - 2023. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Москва, 2023. с. 13-18.

2. Ахмадиев А.К. Восстановление нефтезагрязненных земель. Оценка результатов лабораторного эксперимента // Новые идеи в науках о Земле. Материалы XVI Международной научно-практической конференции: в 7 т. Москва, 2023. с. 26-29.

3. Ахмадиев А.К. Зоны экологического бедствия и их правовая неопределенность // Общество: политика, экономика, право. 2022. № 12 (113). с. 82-87.

4. Ахмадиев А.К., Экзарьян В.Н. Геоэкологические особенности освоения углеводородных месторождений в Черноморско-Каспийском регионе // ПОТАПОВСКИЕ ЧТЕНИЯ. Сборник материалов Всероссийской научной конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Александра Дмитриевича Потапова. Москва, 2021. с. 12-18.

5. Ахмадиев А.К., Экзарьян В.Н. О некоторых проблемах реабилитации природной среды при освоении углеводородных ресурсов Черноморско-Каспийского региона // Геоэкологические проблемы техногенного этапа истории Земли - 2021. Сборник материалов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Москва, 2021. с. 43-47.

6. Ахмадиев А.К., Экзарьян В.Н. Геоэкологические проблемы добычи углеводородов в Каспийском море // Актуальные проблемы экологии и природопользования. сборник научных трудов XXII Международной научно-практической конференции: в 3 т. Российский университет дружбы народов. Москва, 2021. с. 229-232.

7. Ахмадиев А.К., Экзарьян В.Н. Биоремедиация как перспективный метод реабилитации нефтезагрязненных территорий Арктики // Новые идеи в науках о Земле. Материалы XV Международной научно-практической конференции: в 7 т. Москва, 2021. С. 55-58.

8. Рукавицын В.В., Ахмадиев А.К. Анализ методов нормирования загрязнения почвы для проведения рекультивации при освоении углеводородных ресурсов Черноморско-Каспийского региона // Науки о Земле и цивилизация / Министерство просвещения Российской Федерации, Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена. Том XII. – Санкт-Петербург : Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, 2021. – С. 132-136

9. Ахмадиев А.К., Экзарьян В.Н. Реабилитационные и ликвидационные мероприятия при недропользовании // Актуальные проблемы экологии и природопользования. сборник научных трудов XXI Международной научно-практической конференции: в 3 т.. Российский университет дружбы народов. Москва, 2020. с. 58-61.

10. Ахмадиев А.К., Экзарьян В.Н. Проблемы правового регулирования в области реабилитации природной среды // Молодые - Научкам о Земле. Материалы IX Международной научной конференции молодых ученых: в 7 т.. Москва, 2020. с. 218-221.

11. Ахмадиев А.К., Экзарьян В.Н. Экологическая безопасность нефтегазовой отрасли: нормативно-правовой аспект // Газовый бизнес. 2019. № 3. с. 48 – 52.