



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский государственный геологоразведочный университет  
имени Серго Орджоникидзе»  
(МГРИ)

*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 (геолого-минералогические науки)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата  
геолого-минералогических наук

Научный руководитель:  
доктор геолого-минералогических наук,  
профессор Экзарьян В.Н.

Москва - 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>3</b>
<b>ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПРИ ОСВОЕНИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ РЕСУРСОВ .....</b>	<b>9</b>
1.1 Освоение месторождений углеводородов и проблемы загрязнения природной среды: история вопроса и современные тенденции.....	9
1.2. Особенности нормативно-правового регулирования природоохранных мер при недропользовании.....	20
<b>ГЛАВА 2. ОЦЕНКА СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ РЕАБИЛИТАЦИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ .....</b>	<b>31</b>
2.1 Современное состояние и способы реабилитации природной среды.....	31
2.2. Разработка структурной схемы и принципов реабилитации природной среды .....	38
<b>ГЛАВА 3. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЧЕРНОМОРСКО-КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА РОССИИ .....</b>	<b>48</b>
3.1. Физико-географическая характеристика.....	48
3.2. Геолого-гидрогеологические условия.....	57
3.3. Научно-методические основы оценки устойчивости геологической среды региона к нефтяному загрязнению.....	79
<b>ГЛАВА 4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ТЕРРИТОРИЙ, ПОДВЕРЖЕННЫХ НЕФТЯНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ.....</b>	<b>98</b>
4.1. Современные методы восстановления почвенно-растительного комплекса и грунтов.....	98
4.2. Оценка эффективности методов ремедиации нефтезагрязненных почв по результатам модельного эксперимента.....	100
4.3. Рекомендации по реабилитации нефтезагрязненных территорий региона.....	118
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>120</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>122</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Проблема нефтяного загрязнения, несмотря на технические достижения горно-геологической отрасли, остаётся одной из ключевых геоэкологических задач. Непосредственному негативному воздействию нефти и ее 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 м<sup>3</sup> [33]. Показательны и 2018-2023 гг., за данный период времени произошло более 3 тыс. случаев загрязнения и более десятка аварий ежегодно. При этом ощутимой тенденции на их снижение не наблюдается в ближайшей перспективе. Стоит учесть, что фиксация как правило происходит в отношении крупных или значительных разливов. Детального учёта протечек, точечных загрязнений не ведётся. Также исключить саму возможность разлива нефти и нефтепродуктов в настоящий момент представляется нереализуемым, ввиду человеческих или природных факторов.

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 исчерпался. 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 [130]. 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 ее 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 нефтезагрязнённых 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 геосреды 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 ее 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 взаимозависимость между устойчивостью геологической среды и способами ее 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 должно 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 ее 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 (Геоэкологические 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 геоэкологических процессов в геосферных оболочках Земли при комплексном освоении недр и устойчивом развитии горнодобывающих регионов) паспорта специальности 1.6.21. Геоэкология, группы научных специальностей 1.6. Науки о Земле и окружающей среде.

**Теоретическая и практическая значимость.** Теоретическая значимость работы связана с тем, что ее результаты и основные положения могут быть использованы в дальнейших исследованиях геоэкологических 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 проведены 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); Геоэкологические 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 - Научам 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. Суздалевой за проявленное внимание к работе и конструктивные замечания.



## ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПРИ ОСВОЕНИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ РЕСУРСОВ

### 1.1. Освоение месторождений углеводородов и проблемы загрязнения природной среды: история вопроса и современные тенденции.

Экологическая тематика в вопросах недропользования, как и в других отраслях, начала активно развиваться с конца 70-х, начала 80-х годов XX века. Связано это и с изменением политики в государстве, и с тем, что в принципе начиная с 70-80-х годов прошлого века (после Стокгольмской конференции 1972 г.) на международной арене и во многих странах начинается активное развитие природоохранных вопросов. Анализируя документацию по разработке углеводородных месторождений за период с 1960 по 1999 гг., многие исследователи отмечают, что в проектах за 1960-1985 гг. отсутствовали материалы по природоохранной деятельности. В проектах же за 1985-1999 гг. мероприятия по охране окружающей среды носили по большей части описательный или декларативный характер [63]. На протяжении большей части XX века, - как замечает В.И. Богоявленский, - проблемы охраны окружающей среды при недропользовании не получили должного внимания. Это выразилось посредством того, что во всех регионах активного недропользования возникали многочисленные чрезвычайные ситуации, приводящие к авариям и загрязнению окружающей среды, его аккумулярованию в длительный период времени [20]. Все это говорит о том, что в историческом развитии природоохранных аспектов недропользования отчетливо прослеживаются три основных этапа: ранний (70-80 годы XX века), характеризующийся пониманием проблем экологии и недропользования; второй этап (1991-2001 годы) - осмысления важности экологических проблем, в котором наиболее активно в научно-методическом и международном плане развиваются природоохранные и геоэкологические вопросы; третий этап (2002 - н.в.) - развитие комплексного подхода к оценке состояния природной среды, экологизация производств и прочее. Наиболее значимые исследования в каждом из выделенных этапов отражены в табл. 1.

Геоэкологическая проблематика (как видно из табл. 1.) при освоении углеводородов имеет более чем 50-летнюю историю. В значительной степени изучаются последствия добычи и транспортировки углеводородов для почвенно-растительных систем, поверхностных и подземных вод. Особое внимание к данным компонентам природной среды обусловлено особенностью нефтяного загрязнения.

**Таблица 1. Исследование геоэкологических проблем и природоохранной деятельности при освоении углеводородов в их историческом развитии**

Исторический этап	Основные исследователи	Ключевые вопросы и проблемы	Источники
1970-1980-е годы	А.А. Карцев, С.Б. Вагин (1977); Б.Г. Хотимский, В.Б. Топорский, О.А. Махалин (1977); С.А. Патин (1979); В.М. Гольдберг, С. Газда (1984); Ю.А. Израэль, А.В.Цыбань (1989) и др.	Рассматриваются вопросы нефтяного загрязнения поверхностных и подземных вод, проводится классификация источников загрязнения, уделено внимание аварийным разливам нефти и нефтепродуктов в Мировом океане. Проблемы мониторинга нефтяного загрязнения и реабилитации природной среды пока широко не освещены.	[48]; [69]; [72]; [79]; [160]
	Д.Л. Арманд (1983).	Затрагивает общие проблемы загрязнения компонентов природной среды при добычи полезных ископаемых, обосновывает необходимость охраны природной среды. Проблемы реабилитации природной среды не освещены.	[6]
	М.А. Глазовская, Ю.И. Пиковский (1980. 1988) и др.	Рассматриваются вопросы загрязнения почв нефтью, естественных процессов восстановления почв и рекультивации при нефтяном загрязнении в различных природных зонах.	[49]; [125]
1991-2001 годы	Ю.И. Пиковский (1993); Н.П. Солнцева (1998) и др.	Рассматриваются особенности миграции углеводородов в почве, а также поднимаются проблемы загрязнения почвенного и растительного покрова при освоении углеводородных ресурсов. Проблемы реабилитации природной среды затронуты в части рекультивации земель или же самоочищения почв.	[126]; [144]
	С.А. Патин (1997, 2001).	Экологические проблемы освоения шельфа при добычи углеводородов.	[121-122]
2002-н.в.	Г.И. Грива (2005); И. М. Ефремкин, М. А. Холмянский (2008); И.С. Копылов (2013); М.Г. Губайдуллин (2013); В.И. Боговяленский (2019, 2022) и др.	Рассматриваются проблемы загрязнения окружающей среды при добыче, транспортировке углеводородов в условиях криолитозоны. Проблемы реабилитации природной среды не освещены.	[20-21]; [56]; [58]; [61]; [81]
	М.Л. Татосян (2003). Г.А. Петухова (2008) и др.	Изучаются проблемы нефтяного загрязнения почв и растительного покрова, а также поднимаются вопросы адаптации организмов к загрязнению, описаны механизмы самовосстановления фитоценозов, самоочищения почв.	[124]; [151]

А.А. Оборин и др. (2008).	Авторами рассматривается комплекс вопросов по отношению к нефтяному загрязнению экосистем. В частности, влияние нефти на почвы и растительный покров, животных, микроорганизмов, затронуты особенности миграции нефти и ее воздействие на подземные и поверхностные воды. Рассматриваются вопросы самовосстановления почв, методы восстановления нефтезагрязненных биоценозов, влияние нефтедобычи на здоровье человека.	[114]
И.А. Немировская (2004); А.А. Лентарев, С.Ю. Монинец (2006); Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов (2007); В.Ю. Керимов, Б.В. Сенин. В.И. Богоявленский, Г.Я. Шилов (2016); О.Ю. Лаврова, М.И. Митягина, А.Г. Костяной (2016); О.В. Степаньян (2020) и др.	Рассматриваются проблемы аварийных разливов и нефтяного загрязнения Мирового океана, воздействие загрязнения на морские живые организмы; способы его ликвидации.	[35]; [43]; [91]; [95]; [113]; [148]
Ф.Р. Хайдаров, Р.Н. Хисаев, В.В. Шайдаков и др.(2005); Головин В.Г., Черных Н.А., Маркелов К.А., Зволинский В.П (2006); Питьева К. Е. (2006); А.И. Грищенко, В.М. Максимов, Р.О. Самсонов, Г.С. Акопова (2009); А.К. Быстрова (2009); В.Н. Экзарьян, (2016, 2017); Н.Д. Минаев (2019) и др.	Поднимаются общие проблемы загрязнения окружающей среды при добыче и транспортировании углеводородов, обеспечение экологической безопасности в нефтегазовой отрасли. Изучается воздействие на геологическую среду. Проблемы реабилитации природной среды освещаются в отношении рекультивации земель.	[30]; [51]; [104]; [128]; [168-169]; [171-172]
М.И. Митягина, О.Ю. Лаврова (2012); П.П. Лепехин (2018) и др.	Рассматриваются вопросы и проблемы организации мониторинга окружающей среды при освоении углеводородных ресурсов или при нефтяном загрязнении.	[94]; [107]
А.П. Хаустов, М.М. Редина ( 2006, 2016).	Проблемы загрязнения окружающей среды при нефтедобыче авторами рассмотрены комплексно. В частности, подробно рассматриваются вопросы нормативно-правового обеспечения, источники и характер поступления нефти и нефтепродуктов в окружающую среду, оцениваются природоохранные мероприятия в том числе мониторинг нефтяного загрязнения.	[136]; [159]
В.А. Щерба (2012, 2013, 2018); С.А. Пунанова, М.В. Родкин (2022) и др.	Авторами поднимаются экологические проблемы добычи сланцевых углеводородов, оценивается технология гидроразрыва пласта с позиции загрязнения окружающей среды.	[131]; [165], [166-167]; [236]

Изучение поведения нефти в почвах и растениях заложено в работах Ю.И. Пиковского. По замечаниям учёного «нефть, попадая в почвы и воды, привносит с собой разнообразный набор химических соединений, нарушающих сложившийся геохимический баланс в экосистемах. Эти нарушения возникают под воздействием различных механизмов: изменение физического состояния среды, нарушения ее водно-воздушного режима, привноса токсических веществ, ингибирующих деятельность отдельных компонентов биоценоза, изменения миграционной способности отдельных микроэлементов по почве, засоление почв сопутствующими солёными пластовыми водами, образование битуминозно-солончаковых ареалов» [126, с. 130]. Приведённое утверждение позволяет сделать вывод о комплексном характере воздействия нефти. Доказательства этому в дальнейшем будут появляться неоднократно.

Сформулированные Ю.И. Пиковским выводы находят своё подтверждение и развитие в труде «Нефтезагрязненные биогеоценозы» (А.А. Оборин и др., 2008). Авторами данной работы отмечается, что «угнетение растительности, изменения свойств почв обусловлены пропитыванием нефтью корней, стеблей и листьев растений» [114, с.107]. Помимо наиболее видимых эффектов, нефть может также изменять внутренние аспекты растения. Например, она может привести к изменению размера и количества клеток, присутствующих в растительных тканях (в частности повреждаются мембраны хлоропластов, митохондрий), уменьшению и их уплотнению, а также увеличению плотности stomatитов. В отношении корня может происходить разрушение эпидермальных клеток и субэпидермальной ткани с бесструктурными клетками, а также изменения в области коры корня, в сторону увеличения её диаметра, с целью адаптации к загрязнению [33, с.13; 193]. В нефтезагрязненных почвах «уменьшается доступность для растений полезных микроэлементов, при этом даже незначительные концентрации могут приводить к появлению токсического воздействия, которое сказывается на формах и пропорциях растений, ритме их развития» [114, с.165, 168]. Изменения заключаются не только в морфологических деформациях листьев или стеблей, но и в «образовании некрозов, изменении окраски, гигантизме или карликовости» [146, с. 18-19] и т.п.

Среди последствий приводящих к гибели травянистой растительности можно кроме отмеченного отнести рост числа почвенных бактерий, вырабатывающих токсичные вещества. Установлено, что «полная гибель высших травянистых растений происходит при объёме утечки 0,5 % нефти в 15-сантиметровом слое почвы, а прекращение роста растений наблюдается обычно при содержании в почве 3500 мг нефти на кг почвы» [33, с.13]. Известны также исследования, показывающие, что при концентрации нефти равной 12% полностью или

значительно подавляется прорастания семян у таких растений как ежа, костёр, клевер, овёс, ячмень, суданская трава, горох и подобных [37].

Исследование Е.И. Новоселовой (2004), проведённое годами ранее, данные эффекты объясняет прежде всего обретением почвой гидрофобных свойств. При хроническом нефтяном загрязнении происходит «увеличение абсолютного содержания всех фракций гуминовых кислот и негидролизуемого остатка, формируется фульватно-гуматный тип, обедняется гумус азотом, ухудшается его качество. Негидролизуемый остаток гумуса подвергается очень медленному разложению и надолго выпадает из биологического круговорота», что в свой черёд способствует деградации почвы [116, с.16, 54]. На значимость нарушения азотного режима почв обращает внимание и С.Ю. Шаркова (2011). Как указывает автор, нефтезагрязнение «подавляет процесс аммонификации и нитрификации, и как следствие вызывает азотное голодание у растений, что обусловлено воздействием сырой нефти» [163]. Однако поздние исследования (например, [218]; [234]; [242]) показали, что нарушение процессов нитрификации при нефтяном загрязнении в значительной степени зависит от характера загрязнения, сезонности и типа почв, что не позволяет говорить об абсолютности данного процесса. В одном из последних исследований [234] было доказано, что наличие сырой нефти в торфяных солончаках несущественно влияет на процессы нитрификации. Даже спустя 3 года после разлива группе учёных, проводивших данное исследование не удалось обнаружить связь между долгосрочным воздействием нефти на почвы и процессами микробного круговорота азота в ней.

Между тем, выделяется явная взаимосвязь между засоленностью почв и изменениями баланса углерода и азота, натрия, фосфора и калия в нефтезагрязнённых почвах. Данная проблема на примере аридных почв изучается А.А. Булуктаевым (2022). Им установлено, что в зависимости от степени загрязнения происходит снижение содержания подвижного фосфора и обменного калия, а приток органического углерода смещает баланс между элементами в сторону первого. Буровые работы в свою очередь приводят к привносу ионных хлора и натрия. Все эти изменения отражаются на состоянии почвенных микроорганизмов, уровне увлажнения почв, смещении ионного баланса, что в итоге приводит к росту степени их засоления [28]. Таким образом, описываемые трансформации биохимических процессов в почве сказываются на её способности к «самоочищению (в сторону ухудшения) и тем самым приводят к пролонгированному токсическому действию» [33, с. 16].

Одновременно с биохимическими изменениями учёными рассматриваются факторы, влияющие на последствия нефтяного загрязнения, в том числе приводящие к подобным переменам. Так, например, М.Л. Татосян (2003) отмечает, что последствия данного рода загрязнения «зависят от ряда факторов: параметра загрязнения (концентрация поллютанта,

время его нахождения в среде) свойств почвы (структура, механический состав, влажность почвы, активность биохимических процессов) и особенностей среды (температура воздуха, степень инсоляции, освещённость)» [151, с. 27-28]. Роль указанных факторов анализируется и М.Г. Жарковой (2009). Особо она останавливается на роли гранулометрического состава: «Чем крупнее частицы почвы, - подмечает М.Г. Жаркова, - тем легче нефть и нефтепродукты проходят внутрь её и в нижние слои. От структуры почвы также зависит степень аэрации, а, следовательно, интенсивность испарения и окисления нефти. Влажная почва отталкивает гидрофобные нефть и нефтепродукты, препятствуя их впитыванию» [62, с. 42]. Повышенная влажность почвы способствует более «активному радиальному и латеральному их перемещению, что влияет на концентрацию поллютанта в грунте. В случае же переслаивания грунтов разного гранулометрического состава радиальная миграция нефти резко тормозится, что связано, по видимому с неодинаковыми капиллярными давлениями в слоях, что и определяет энергетический барьер, препятствующий движению поллютантов. При суглинистом составе субстратов основным механизмом поступления нефти в нижние горизонты почв служит гравитационное стекание по ослабленным зонам - каналам миграции, что сопровождается насыщением нефтью крупных и мелких трещин <...>. В более проницаемых блоках почв сосредотачиваются и наиболее тяжёлые фракции загрязнителя». [114, с.109-110]. Исходя из этого, состав грунта играет достаточно значимую роль в оценке степени загрязнения и устойчивости среды. Почвенный слой при этом представляется как местом «входа» нефти в среду, так и барьером для её распространения.

Не только само загрязнение, но и обустройство промысла, инфраструктуры сказывается на состоянии среды. Как замечает Н.П. Солнцева (1998), прокладка нефтегазопроводов, ввиду их протяжённости может являться причиной появления «непроницаемого барьера», который нарушает «естественные пути миграции внутрипочвенных потоков, создавая в гумидных ландшафтах очаги переувлажнения со стороны движения почвенно-грунтовых вод» [144, с.18]. Следствием чего является трансформация ландшафта в озерно-болотный. В свою очередь, если вести речь не о гумидных районах то там процессы трансформации протекают в сторону усиления аридизации. Например, на значительной части земель юга России при нефтяном загрязнении, связанным с протечками с нефтегазопроводов, изменяется тип и степень засоления, приводящий к образованию засушливых, ксерофильных ландшафтов [26].

В целом как можно видеть, механизмы нефтяного загрязнения почв, грунтов и растений, изменения их физиологических и биохимических свойств на сегодняшний день изучены достаточно подробно.

Нефтяное загрязнение морской среды изучается не менее пристально. И здесь стоит прежде всего выделить последствия, возникающие при освоении углеводородов (рис.1.). По справедливому замечанию С.А. Патины, наибольший вклад в загрязнение (до 85%) вносит не сама добыча, а танкерные перевозки и происходящие на них аварии. Так, например, потери нефти и нефтепродуктов при данном виде операции из всех портов России могут быть оценены ориентировочно в 20 тыс. тонн в год [123]. По оценкам Б. Батстона (Bruce Batstone) и С. Белфорда (Susan Belford), почти 48 % нефти попадает в океаны в результате разливов и незаконных сбросов с судов [170]. В целом же по миру ежегодно в моря суммарно поступает 1,5–10 млн тонн нефтяных углеводородов, что вызывает изменение её физико-химических свойств [202]. На рис. 1. можно увидеть, что с фактором аварий, сбросов с судов увязано достаточное большое количество последствий.

Арктика (прибрежная и морская часть)	Континентальный шельф	Глубоководные районы океана
Взрывы и утечки с нефте- и газопроводов		Изменения топографии и геохимических характеристик морского дна
Столкновение судов со льдами		
Изъятие и перемещение грунтов при строительстве платформ и нефтяных терминалов, укладке трубопроводов		Снижение устойчивости морского дна
Эвтрофирование прибрежных вод		
Выбросы с судов, платформ и загрязнение воздуха при добыче и транспортировке полезных ископаемых		
Столкновение судов с морскими нефтяными сооружениями (установками), аварийные разливы нефти, возгорания, формирование зон гипоксии		
Изменение путей миграции морских видов и их разнообразия		
Непреднамеренное вселение (инвазия) чужеродных видов из других морских регионов при сбросе балластных вод из нефтяных танкеров		
«Акустическое загрязнение» водных масс		
Деградация морской среды обитания		

**Рис.1. Геоэкологические риски и последствия морской нефтедобычи [170].**

При самой же эксплуатации нефтяной платформы загрязнение может возникать от бурового шлама, содержащего раствор на основе нефти, пластовой воды и вытесняющей воды [189], тем самым формируя области со стойким и длительным характером загрязнения. Существующие эксперименты по изучению воздействия отложений от морских буровых работ, в том числе от большого количества бурового шлама, показали значительное снижение количества таксонов, численности, биомассы и разнообразия в случае, если шлам добавлялся к естественным порогам седиментации [170].

Особое внимание к проблеме разливов нефти связано с её действием на живые организмы. Возникший нефтяной слик формирует зоны гипоксии, при которых в морской воде создаётся слой, препятствующий прохождению кислорода, что в итоге и приводит к гибели организмов. Кроме того, некоторые соединения нефти (в частности, полициклические

ароматические углеводороды) обладают мутагенным и генотоксическим действием за счёт образования аддуктов дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) [170].

В качестве иллюстрации воздействий нефти на живые организмы стоит привести аварию Deerpwater Horizon в Мексиканском заливе в 2010 г. Утечки углеводородов из разведочных скважин спровоцировали взрыв на платформе, приведший к разливу порядка 4,9 миллионов баррелей нефти в течении почти трёх месяцев (88 дней), прежде чем удалось запечатать скважину [207; 237]. Последствия произошедшего изучаются многими исследованиями до сих пор. Последние данные (2015-2023 гг.) показывают, что у ряда млекопитающих и рыб как на момент аварии, так и после нее обнаруживаются нарушения репродуктивных функций [232], развитие бактериальной пневмонии [246], изменения социального поведения в сторону большей асоциальности [180] и т.д. Разумеется, не каждый разлив нефти в море приводит к подобным последствиям, однако именно такого рода случаи позволяют продемонстрировать масштаб проблемы.

Наряду с этим при попадании сырой нефти в водные объекты обнаруживается её токсическое воздействие и на фитопланктон, что приводит к уменьшению процессов фотосинтеза, вплоть до полного его прекращения [114]. На данные процессы влияет реакция фотоокисления, способная изменить состав разлитой сырой нефти за счёт воздействия солнечного света на кислород и атомы углерода в углеводородных соединениях с образованием окисленных соединений, таких как алифатические и ароматические кетоны, алифатические и ароматические спирты, сульфоны, сульфоксиды, карбоновые и жирные кислоты, альдегиды и ангидриды [202].

Обобщая спектр биологических эффектов, возникающих при нефтяном загрязнении морской среды их можно разделить на следующие типы:

1. Летальный эффект;
2. Нарушение физиологических или поведенческих реакций и функций;
3. Развитие карциномы;
4. Нарушение в пищеварительной системе из-за попадания нефти в организм;
5. Изменение физико-химических свойств среды обитания [225].

Интенсивная добыча нефти может являться не только одним из факторов гибели организмов, но и влиять на активизацию природно-техногенных процессов. В частности, обращает на себя внимание такая проблема как развитие оползневых и иных склоновых процессов, землетрясений в Мировом океане. Они фиксируются в Северном море, Северо-восточный Атлантике, в Тихом и Индийском океанах, Чёрном и Каспийском морях. Шельфовые зоны данных территорий активно осваиваются. Поэтому, несмотря на то что в настоящее время данная проблема применительно к морским условиям до сих пор остаётся



малоизученной, нельзя исключать возможность связи между добычей и активизацией отмеченных процессов (рис. 2.). Очевидно, что эти процессы оказывают влияние и на особенности миграции видов и, кроме прочего, на состояние самих нефтегазовых сооружений, а также повышают риск возникновения техногенных аварий [170].



**Рис.2. Простейшая принципиальная схема взаимосвязи добычи, геологической среды и загрязнения [170]**

Что касается загрязнения подземных вод, то основной «удар» приходится на грунтовые воды, а нижележащие горизонты подвергаются загрязнению при наличии фильтрационных окон. Характер загрязнения зависит, во-первых, от особенностей и формы проникновения нефти (маслянистая или растворённая) и её продуктов в воды. Существование разницы плотностей, неоднородности состава нефти приводит к тому, что она образует три зоны или степени нахождения в подземных водах. Согласно В.М. Гольдбергу (1987) первая зона - формирование линзы, где углеводороды не смешиваются с водой; ниже располагается зона двухфазной системы, где формируется эмульсия. Последняя - зона раствора углеводородов в воде [52]. Во-вторых, загрязнение возможно не только органической фазой, но и сопутствующими элементами (серой, азотом, кислотами и т.д), возникающими при бурении. Таким образом, происходит изменение степени минерализации вод, их состава, образование канцерогенных веществ [86] и т.п. Загрязнение может возникнуть и в результате миграции метана по трещинам не связанным с буровыми работами. Метан естественным образом мигрирует вверх и задерживается в неглубоких пористых пластах, что также способствует изменению состава грунтовых вод [222]. Немаловажно отметить, что по сведениям В.С. Путилиной, Т.И. Югановой (2018) наиболее распространено загрязнение «пресных грунтовых и сравнительно неглубоко залегающих напорных вод, используемых как для питьевых, так и для хозяйственно-бытовых, технических целей» [132].

Исходя из представленных видов воздействия нефти на природную среду становится понятно, почему подавляющее количество исследований посвящено именно механизмам миграции, аккумуляции нефти и её продуктов и последствиям этих процессов. При этом наиболее подверженной техногенному воздействию можно считать именно геологическую среду.

Обозревая работы последних лет, можно заметить, что они продолжают традиции своих предшественников, но при этом все больший акцент приходится именно на поиск, оценку и совершенствование методов восстановления нарушенных территорий (см. подробнее 2 главу). Этому посвящены исследования таких авторов как Т.Ю. Коршунова (2019) [83]; В.Н. Башкин, Р.В. Галиулин (2020) [17]; Д.В. Тарабукин (2019) [150]; Н.М. Троц, О.В. Горшкова (2019) [155]; А.С. Никофоров (2021) [115]; И.В. Трусей (2018) [156]; О.В. Колотова (2020) [78]; Т. В. Минникова (2019) [33; 105]; М.Д. Бакаева, Е. В. Кузина, Г. Ф. Рафикова и др. (2020) [15]; А. Г. Бубнов, С. А. Буймова, Ю. Н. Моисеев (2019) [24]; А.П. Заманова (2022) [64]; Л. Б. Высоцкая, Т. Н. Архипова, Е. В. Кузина и др. (2019) [37]; Ю.М. Сотникова (2022) [146]; Р.М. Дауд (2021) [60] и др. Повышенный интерес к данной проблематике может быть связан как раз с тем, что мы прошли стадию осознания важности экологических проблем, и все больше внимания обращаем уже не только на превентивные меры, но и на необходимость восстановления деградированных систем.

Особо стоит выделить работу Т.Ю. Коршуновой [83], в которой представлен комплексный взгляд на вопросы рекультивации, био – и – фиторемедиации. В исследовании рассматриваются биологические методы восстановления в различных средах и климатических условиях с целью разработки новых разновидностей консорциумов микроорганизмов для реабилитации территории. Один из главных выводов к которым приходит Т.Ю. Коршунова - значительная эффективность консорциумов перед единичными штаммами. Обратим внимание, что данное заключение нашло подтверждение и в настоящем труде. Работа Т.В. Минниковой с соавторами [33] также вызывает интерес, так как в ней рассматривается способность различных ремедиантов восстанавливать нефтезагрязненные почвы. Однако при этом авторы не освещают вопросы устойчивости геологической среды и факторы её восстановления при нефтяном загрязнении.

Таким образом, проблема реабилитации при нефтяном загрязнении в староосвоенных районах (таких как Черноморско-Каспийский) пока изучена недостаточно, при том, что именно в подобных регионах растёт степень негативного воздействия на компоненты природной среды со стороны нефтяной отрасли.

Экологическую проблематику в вопросах нефтяного загрязнения поднимают не только отечественные, но и зарубежные учёные. Здесь хотелось бы обратить внимание на работу «Нефть в окружающей среде. Наследие и уроки разлива нефти Exxon Valdez» (Oil in the Environment. Legacies and Lessons of the Exxon Valdez Oil Spill, 2013) [245] под редакцией Дж. А. Винса (John A. Wiens), в которой достаточно обстоятельно рассматриваются вопросы долгосрочных последствий аварии Exxon Valdez 1989 г., исследуется оценка методов ликвидации разлива и его воздействие на биоту в исторической динамике. Данный труд можно

считать одним из первых в котором представлен целостный взгляд возможного воздействия на экосистему при разливе нефти в морской среде в отдалённой перспективе.

Большое количество зарубежных исследований посвящено мониторингу состояния окружающей среды и анализу последствий аварии Deepwater Horizon, произошедшей в Мексиканском заливе в 2010 г. [207]; [220]; [231]; [237].

Другим примером могут служить фундаментальные исследования «Цена нефти» (The Price of Oil, 2015 ) [177] Р. Ф. Агилера (Roberto F. Aguilera) и М. Радецки (Marian Radetzki), «Воздействие на окружающую среду при разработке нетрадиционных запасов нефти и газа» (Environmental Impacts from the Development of Unconventional Oil and Gas Reserves, 2022 ) [239] под редакцией Дж. Штолца (John Stolz), Д. Бэйна (Daniel Bain), М. Гриффина (Michael Griffin). Их появление связано с попыткой оценки технологий и воздействий «сланцевой революции» произошедшей, прежде всего, в США чуть более 10 лет назад. Так, Р. Ф. Агилера и М. Радецки отмечают, что применение технологии фрекинга сопряжено с такими последствиями как рост эмиссии парниковых газов, интенсивное водопользование и загрязнение подземных и поверхностных вод, а также создание условий для техногенных землетрясений. Данные проблемы привели к тому, что подобный способ добычи был ограничен в использовании или запрещён в таких странах как Франция, Канада, Болгария [177]. В свою очередь, Дж. Штолл, Д. Гордон (Deborah Gordon) и др. не только описывают схожие проблемы, но и развивают тематику в ракурсе влияния фрекинга на процессы изменения климата [200; 239].

Исходя из описанного можно заключить, что в независимости от географии мест добычи полезных ископаемых, нефти в частности, выделяются общие геоэкологические проблемы. Очевидно, что альтернативная энергетика пока не способна полностью заместить ископаемое топливо, чему в мире есть подтверждение. В существующих условиях следует признать, что углеводородная эпоха ещё не завершилась. Стоит отметить и такие моменты:

1. В работах 70-80 годов XX века в большей степени выделяются общие вопросы загрязнения водных объектов при добыче и транспортировке нефти, в особенности описываются аварийные разливы. Отдельные исследователи рассматривают также вопросы загрязнения почв в части миграции нефтяных потоков и их воздействия на состояние почвенного и растительного покрова. Начиная же с середины 90-х годов XX века можно говорить о расширении тематики, более комплексном рассмотрении геоэкологических проблем при освоении углеводородов.

2. 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.

3. Кроме того, в отечественной науке неопределённость вызывает расплывчатость такого термина как «реабилитация природной среды», отсутствие единых методических основ в данной сфере, отсутствие единой классификации или же структуры реабилитации (на данный момент существуют классификации методов, которые представляются разрозненными), не полнота формулирования принципов проведения реабилитационных мероприятий, слабое разграничение ликвидации загрязнения и реабилитации.

4. Не полно раскрыта роль мониторинга при организации реабилитационных мероприятий. Также, существующие подходы к пониманию рисков антропоцентричны. Для развития коэволюции человека и природы возникает необходимость проводить изыскания в формировании модели типизации опасностей (или геоэкологических факторов) исходя из их значения прежде всего для экосистемы. Не менее важным является тематика, связанная с устойчивостью геологической среды при нефтяном загрязнении. Все эти моменты и обусловили актуальность данного исследования.

В целом же природоохранная проблематика при пользовании недрами, добычи, транспортировании углеводородов ввиду происходящих сегодня процессов изменения климата, вовлечения неосвоенных ранее территорий в хозяйственный оборот, изменения в техники и технологиях, в нормативно-правовой базе, в международных подходах к охране окружающей среды остаётся и будет оставаться актуальной.

## **1.2. Особенности нормативно-правового регулирования природоохранных мер при недропользовании.**

Нормативно-правовое регулирование охраны окружающей среды, в том числе при освоении полезных ископаемых, представляется неотъемлемой частью, своеобразным фундаментом в управлении природопользованием. В рамках данного исследования был выполнен общий обзор современного состояния и тенденций развития эколого-правовых вопросов. Прежде всего, стоит отметить, что экологическое право в России в том виде, в котором оно существует сейчас, стало формироваться более 30 лет назад. За этот период сложилась устоявшаяся база правовых норм, которую можно разделить на две подотрасли: ресурсное и природоохранное право. Не менее важной составляющей являются доктринальные нормы. В российской законодательной практике, укоренилось представление, что природоохранная деятельность и обеспечение экологической безопасности неразрывно связаны друг с другом.

Исходя из этого природоохранные требования к сфере недропользования содержатся как в общем, так и в специальном экологическом законодательстве. Так, правовую основу закладывает Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред.

01.11.2023) который, закрепляет легальное понятие природоохранной деятельности, принципы охраны окружающей среды и общие требования к ведению хозяйственной деятельности. Согласно статье 1 природоохранная деятельность понимается как «деятельность органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, общественных объединений и некоммерческих организаций, юридических и физических лиц, направленная на сохранение и восстановление природной среды, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов, предотвращение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и ликвидацию ее последствий». При ее обеспечении следует согласно статье 3 руководствоваться такими принципами как: презумпция экологической опасности деятельности, охрана, воспроизводство и рациональное использование природных ресурсов, платность природопользования, обязательность оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), приоритет сохранения естественных экологических систем, ответственность за нарушение законодательства в области охраны окружающей среды и др. Содержание указанных принципов раскрывается не только в самом Федеральном законе «Об охране окружающей среды», но и в других природоохранных актах.

Среди них: Федеральный закон «Об экологической экспертизе» от 23.11.1995 № 174-ФЗ (ред. от 04.08.2023); Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 № 96-ФЗ (ред. от 13.06.2023); Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях» от 14.03.1995 № 33-ФЗ (ред. от 10.07.2023); Федеральный закон «Об ограничении выбросов парниковых газов» от 02.07.2021 N 296-ФЗ; Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 N 89-ФЗ (ред.от 04.08.2023); Постановление Правительства РФ от 31.12.2020 N 2398 (ред. от 07.10.2021) "Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий"; Постановление Правительства РФ от 10.07.2018 N 800 (ред. от 07.03.2019) "О проведении рекультивации и консервации земель"; Постановление Правительства РФ от 11.02.2016 N 94 (ред. от 25.12.2019) "Об утверждении Правил охраны подземных водных объектов" и т.д.

В природоресурсном законодательстве в свою очередь отражены как характер отношений в плане собственности и использования ресурсов, так и их охраны. Это можно проследить в таких актах как Закон РФ от 21.02.1992 № 2395-1 (ред. от 12.12.2023) «О недрах» (например, ст.23, 26); Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ (ред. от 04.08.2023) (ст. 55-57, ст.59, 61, 65); Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 N 200-ФЗ (ред. от 04.08.2023) (ст. 50.7., 60.12, 60.14); Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 N 136-ФЗ (ред. от 04.08.2023) (ст.13); Федеральный закон «О континентальном

шельфе Российской Федерации» от 30.11.1995 N 187-ФЗ (ред. от 28.06.2022) (ст.31-39); Федеральный закон от 31 июля 1998 г. N 155-ФЗ «О внутренних морских водах, территориальном море и прилежащей зоне Российской Федерации» (ст.32-40); Федеральный закон «О территориях традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации» от 07.05.2001 № 49-ФЗ (ред. 08.12.2020).

Федеральные законы как можно заметить регулируют ограниченный круг вопросов. Между тем общее представление, видение государством экологических вызовов и путей их решения находит проявление в актах стратегического и доктринального характера. Здесь особый интерес вызывает Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года (Указ Президента РФ от 19. 04.2017 №176). В настоящий момент данный акт можно считать базовым в отношении формирования экологической политики государства на среднесрочную и даже долгосрочную перспективу несмотря на то, что его действие ограничено 2025 г. В нем, в частности, обозначены экологические вызовы, с которыми сталкивается государство. Так, например, среди глобальных вызовов (п.19) указаны - последствия изменения климата на планете, опустынивание, деградация земель, сокращение биоразнообразия. Относительно внутренних вызовов (п.20) отмечены: загрязнение атмосферного воздуха и водных объектов вследствие трансграничного переноса загрязняющих, в том числе токсичных и радиоактивных, веществ с территорий других государств; увеличение образования отходов производства и потребления; усиление деградации земель и почв; низкий уровень разработки и внедрения экологически чистых технологий и др.

Документ примечателен и тем, что в нем прописаны механизмы реализации мер по обеспечению экологической безопасности, прежде всего, со стороны государства. Так, например, указывается, что необходимы меры по государственному регулированию выбросов парниковых газов; проведение стратегической экологической оценки проектов и программ развития России; совершенствование системы нормирования загрязнения; внедрение комплексных экологических разрешений, создание системы экологического аудита (п.27 Стратегии) и т.д.

Рассматриваемые вопросы нашли своё место и в Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года (Распоряжение Правительства РФ от 22.12.2018 № 2914-р); Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года (Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р). Более подробно остановимся на Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года. Среди множества её задач отмечена необходимость снижения негативного влияния освоения недр на окружающую среду. Стратегией ставятся задачи по формированию специализированных

фондов в целях финансирования мероприятий по восстановлению природной среды, рекультивации земель и благоустройству территорий; базы данных наилучших доступных технологий и инженерных решений для экологически безопасного освоения недр и отработки техногенных месторождений.

Приводимый перечень нормативно-правовых актов нельзя считать исчерпывающим. Связано это с тем, что система экологического права является живым организмом, который развивается и адаптируется к различным условиям. Пример тому 2020 г., когда в качестве ответа на одну из самых крупных техногенных аварий XXI века для России, связанную с разливом нефти в Норильске (более 21 тыс. тонн) были приняты - Постановление Правительства РФ от 30 декабря 2020 года N 2366 «Об организации предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на континентальном шельфе Российской Федерации, во внутренних морских водах, в территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации» и Постановление Правительства РФ от 30 декабря 2020 года N 2451 «Об утверждении Правил организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации, за исключением внутренних морских вод Российской Федерации и территориального моря Российской Федерации».

Появление двух вышеобозначенных документов представляется первым серьёзным шагом в создании единого правового пространства в области регулирования вопросов ликвидации нефтяных загрязнений, которое до настоящего времени оставалось недостаточно отрегулированным. Между тем они носят общий характер, в них отсутствуют механизмы объявления зон экологического бедствия в случаях крупных разливов нефти, которые могут приводить к значительному экологическому вреду. Именно регулирование ликвидации нефтяных разливов остаётся пока «слабым звеном» в общей системе экологических норм.

Другим таким звеном можно считать ликвидацию объектов накопленного экологического вреда. В частности, Я.А. Блажеев отмечает, что не в полной мере решён вопрос эколого-правового режима законсервированных и ликвидированных скважин, особенно находящихся на нераспределённом фонде недр, так как их состояние не поддерживается и не регулируется в должной мере [18, с. 65]. На данный момент формирование правового режима таких объектов связано с Федеральным законом «Об охране окружающей среды» (ст.1., ст. 80.1-80.2), а также Постановлением Правительства РФ от 27 декабря 2023 г. № 2323 «Об утверждении Правил организации ликвидации накопленного вреда окружающей среде».

Обращаясь теперь к нормативно-техническим документам, стоит отметить, что природоохранные положения при добыче и транспортировании углеводородов нашли свое отражение в ГОСТ 17.1.3.12-86. «Охрана природы. Гидросфера. Общие правила охраны вод от

загрязнения при бурении и добыче нефти и газа на суше»; ГОСТ Р. 53241-2008. «Геологоразведка морская. Требования к охране морской среды при разведке и освоении нефтегазовых месторождений континентального шельфа, территориального моря и прибрежной зоны»; ГОСТ Р ИСО 14001-2016 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению»; ГОСТ Р 57447-2017. «Наилучшие доступные технологии. Рекультивация земель и земельных участков, загрязненных нефтью и нефтепродуктами»; ГОСТ Р 58367-2019. «Обустройство месторождений нефти на суше. Технологическое проектирование»; ГОСТ Р ИСО 14080-2021 «Управление парниковыми газами и связанные виды деятельности. Система подходов и методическое обеспечение реализации климатических проектов» и т. п.

В отношении нефтедобычи такие требования присутствуют в ГОСТ Р 58367-2019. Он более детально рассматривает вопросы экологической безопасности при проектировании месторождения. В частности, в нем выделяются такие природоохранные мероприятия как охрана недр (п. 6.18.2), земель (п. 6.18.3), атмосферного воздуха (п.6.18.4), водных объектов (п.6.18.5), охрана лесов и иной растительности (п.6.18.6), животного мира (п.6.18.7), особенности обращения с отходами (п. 6.18.8), мероприятия по охране особо охраняемых природных территорий и территорий традиционного природопользования (п.6.18.9).

Кроме ГОСТов стоит выделить и такой документ как СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», который применяется с 2021 г. Главным его достоинством на наш взгляд является то, что он свёл воедино и унифицировал ранее существовавшие санитарные нормы, касающиеся качества окружающей среды. Однако необходимо акцентировать внимание на том, что он так и не решил проблему нормирования загрязнения почвы нефтью и нефтепродуктами. Хотя в утверждённом перечне загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды (Распоряжение Правительства РФ от 08.07.2015 1316-р) указано, что государственному регулированию подлежит содержание нефтепродуктов в почве, что ставит вопрос о необходимости дальнейшего совершенствования существующих требований.

В завершении обзора следует обратить внимание на правовой режим реабилитации природной среды. При его рассмотрении, прежде всего, возникает проблема определения самой реабилитации. Исходя из статьи 1 Федерального закона «Об охране окружающей среды» одна из задач природоохранной деятельности - восстановление природной среды. Таким образом, можно говорить о следующей связующей цепочке (рис.3). Согласно также статье 78 рассматриваемого закона восстановление является формой возмещения вреда, причинённого окружающей среде.





**Рис. 3. Схема связи экологической безопасности и реабилитации природной среды [10].**

При этом в п.2 обозначенной статьи используется понятие «восстановление нарушенного состояния окружающей среды», между тем в статье 1 упоминается иное понятие - «восстановление природной среды». Разграничение же данных дефиниций законом не приводится, при том, что окружающая и природная среда по смыслу неравнозначны.

В Постановлении Пленума Верховного Суда Российской Федерации от 30.11.2017 г. № 49 «О некоторых вопросах применения законодательства о возмещении вреда, причинённого окружающей среде», излагаются не только разъяснения норм по возмещению экологического вреда, но и усматривается попытка дать правовую оценку такой категории как «восстановление». В частности, п.13 Постановления гласит: «Вместе с тем, принимая во внимание необходимость эффективных мер, направленных на восстановление состояния окружающей среды, в котором она находилась до причинения вреда, наличие публичного интереса в благоприятном состоянии окружающей среды, суд с учётом позиции лиц, участвующих в деле, и конкретных обстоятельств дела вправе применить такой способ возмещения вреда, который наиболее соответствует целям и задачам природоохранного законодательства». Исходя из изложенного можно заключить, что меры по восстановлению должны быть направлены на состояние до причинённого вреда.

В этом аспекте интерес представляет мировая правовая практика. Так, например, согласно Закону о содействии восстановлению природы Японии (2002 г.) восстановление природы понимается как сохранение и восстановление или создание поддерживающих условий в отношении рек, болот, равнин, морской флоры, лесов, сельских территорий и другой природной среды при участии как государства, так и частных лиц. Основной природоохранный закон Индии - Закон об охране окружающей среды (1986 г.) определяет реабилитацию природной среды как меру по ликвидации последствий техногенных аварий, приведших к значительному загрязнению окружающей среды. В Федеральном законе о горнодобывающей промышленности (1980 г.) Германии в качестве понятия реабилитации используется термин «восстановление полезности», означающий восстановление земли, которая использовалась для целей добычи полезных ископаемых, с учётом общественных интересов. Здесь можно усмотреть связь и близость с российским понятием рекультивации нарушенных земель. Законодательство Китая относит реабилитацию к мероприятиям по восстановлению нарушенных земель, лесных

ресурсов, а также в смысл данного понятия включает ликвидацию последствий, вследствие чрезвычайных ситуаций [11]. Интерес вызывает и экологическое законодательство Казахстана, представленное прежде всего Экологическим кодексом (Кодекс Республики Казахстан от 02.01.2021 г. № 400-VI ЗРК). Данный документ закрепляет дефиницию «ремедиация», которая представляет собой с одной стороны «устранение экологического ущерба», а с другой стороны обязательства по «восстановлению или воспроизводству компонентов природной среды».

Возвращаясь к России, стоит отметить, что в правовом плане, наиболее полно, регулируется один из методов восстановления - рекультивация нарушенных земель. Она является исторически сложившейся практикой устранения загрязнений, особенно в сфере недропользования, и обладает прочной правовой базой. О необходимости рекультивации в случае загрязнения земель говорит Земельный кодекс РФ. Саму же рекультивацию закон определяет, как «мероприятия по предотвращению деградации земель и (или) восстановлению их плодородия посредством приведения земель в состояние, пригодное для их использования в соответствии с целевым назначением и разрешённым использованием, в том числе путём устранения последствий загрязнения почв, восстановления плодородного слоя почвы, создания защитных лесных насаждений» (п.5.ст13 ЗК РФ). Меры по рекультивации земель, в частности при добыче, транспортировании, хранении, переработке углеводородного сырья предусматриваются Федеральным законом «Об охране окружающей среды (п.1-2, ст.46). Закон РФ «О недрах» обязательным условием в отношении лицензии на пользование недрами ставит наличие проекта рекультивации (п.14 ст.12).

Между тем обозначенные акты не регламентируют особенности проведения рекультивации, поэтому базовым актом можно считать Постановление Правительства РФ от 10.07.2018 № 800 (ред. от 07.03.2019) «О проведении рекультивации и консервации земель» (вместе с «Правилами проведения рекультивации и консервации земель»). В нем, как и в других нормативно-правовых актах, можно видеть переложение нормы Земельного кодекса в части определения рекультивации (см.п.2). Главная же цель рекультивации видится в «восстановлении земель до состояния, пригодного для их использования в соответствии с целевым назначением» (п.5). Данный документ определяет не только требования к проекту рекультивации, но и выделяет два основных ее этапа - технический и биологический (п.8-8.1). Например, ГОСТ Р 59057-2020. «Охрана окружающей среды. Земли. Общие требования по рекультивации нарушенных земель» определяет содержание каждого из этапов рекультивации (п. 7.3.3-7.3.4). ГОСТ Р 59057-2020 выделяет также ряд направлений рекультивации: сельскохозяйственная, лесохозяйственная, водохозяйственная, рыбохозяйственная, санитарно-гигиеническая, рекреационная, природоохранная, строительная (п.5, пп.7.1.2) и предъявляет требования к каждому из выделяемых направлений.

Ещё одним документом, представляющим интерес является ГОСТ Р 59070-2020. «Охрана окружающей среды. Рекультивация нарушенных и нефтезагрязненных земель Термины и определения». Данный нормативно-правовой акт обращает на себя внимание прежде всего тем, что в нем отражена одна из ключевых проблем методического характера, а именно, что в настоящее время рекультивация (в российском праве очень часто она приравнивается к понятию «восстановление», что на взгляд автора, не совсем верно) сводится к «восстановлению структурных характеристик природных объектов», при этом существующий в международном праве окружающей среды экосистемный подход, который направлен на «восстановление ведущих природных функций, таких как энергетический баланс, биогеохимический цикл, гидрологические характеристики, поддержание местообитаний биологических видов, устойчивость ландшафтов», не развит.

Среди же международных стандартов по рекультивации можно выделить: ISO 21795-1:2021. Планирование закрытия и рекультивации шахт. Часть 1. Требования (Mine closure and reclamation planning — Part 1: Requirements) и ISO 21795-2:2021. Планирование закрытия и рекультивации шахт. Часть 2. Руководство (Mine closure and reclamation planning — Part 2: Guidance). Оба стандарта являются рамочными, определяют общие требования к проведению рекультивации при ликвидации шахт.

В отношении биоремедиации как одного из методов реабилитации (особенно в отношении нефтяного загрязнения) на сегодня российское экологическое законодательство регулирует ее не на федеральном уровне, а посредством нормативно-технических документов, в которых она воспринимается в качестве способа биологической рекультивации, что представляется верным лишь отчасти. Схожую проблему в 2021 г. поднимали и М. Н. Игнатьева с соавторами. Исследователи отмечают, что при регламентации проведения биологического этапа рекультивации должного отражения не нашли методы биотехнологий, которые помогают бороться с нефтяными загрязнениями почв, загрязнением тяжёлыми металлами и др. [68].

Между тем, в международной практике распространенным в отношении нефтяного загрязнения является стандарт ASTM F1693-21. Стандартное руководство по рассмотрению биоремедиации в качестве метода ликвидации разливов нефти на суше (Standard Guide for Consideration of Bioremediation as an Oil Spill Response Method on Land). Данный документ носит рекомендательный характер и направлен на разработку требований по использованию агентов (биоремедиантов), усиливающих биоразложение, для ликвидации разливов нефти. Сама биоремедиация рассматривается в нем не как часть рекультивации, а так самостоятельный метод реабилитации.

Экологическое законодательство регламентирует не только вопросы рекультивации нарушенных земель, но и лесовосстановления. Так, в 2021 г. были приняты Правила

лесовосстановления (Приказ Минприроды РФ от 29.12.2021 г. № 1024). Согласно правилам, под лесовосстановлением понимается «комплекс природных процессов, в том числе обусловленных специальными технологическими и организационными мероприятиями, по образованию молодых сомкнутых лесных насаждений основных лесных древесных пород на землях, предназначенных для лесовосстановления» (п.2), которое в свою очередь может быть «естественным, искусственным или комбинированным» (п.3). Главная цель в свою очередь согласно Правилам, видится в «восстановлении вырубленных, погибших, повреждённых лесов, а также сохранения полезных функций лесов, их биологического разнообразия» (п.3).

Среди множества вопросов правового регулирования реабилитации природной среды стоит особо выделить правовой режим зон экологического бедствия, так как экосистемы, на которых наблюдается устойчивая деградация (т.е. на протяжении длительного времени) являются одним из объектов восстановления. С правовой точки зрения здесь существуют определённые сложности, так как данная категория территорий не получила должного развития в существующем законодательстве. В частности, гл. 8 Федерального закона «Об охране окружающей среды», а именно единственная в главе ст. 57 лишь говорит о возможности объявления таких зон и делает отсылку к актам, которые в настоящий момент не приняты. Аналогичные положения прописаны в Водном кодексе, Федеральном законе от 30 ноября 1995 № 187-ФЗ «О континентальном шельфе Российской Федерации» (ст.6); Федеральном законе от 17 декабря 1998 № 191-ФЗ «Об исключительной экономической зоне Российской Федерации» (ст.7). Однако какие-либо особенности регламентации в них также не определены. Между тем, например, в экологическом законодательстве Азербайджана, Казахстана, Японии, Китая, Белоруссии и др. стран существуют положения о зонах экологического бедствия.

В нашей стране в 1992 г. была принята Методика «Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия» (утв. Минприроды РФ 30.11.1992). Согласно данному документу, выделяется пять степеней неблагоприятной экологической обстановки: относительно удовлетворительная; напряжённая; критическая; кризисная (или зона чрезвычайной экологической ситуации); катастрофическая (или зона экологического бедствия). Эти критерии (в отношении атмосферного воздуха, почвы, поверхностных и подземных вод, радиационного загрязнения, растительного и животного мира, здоровья человека) касались оценки степени изменения среды обитания человека и компонентов природной среды естественных экосистем [12].

Несмотря на достаточную проработанность данной Методики, наличие единого подхода к определению степени экологического неблагополучия в ней присутствуют и недостатки. Во-первых, в самой Методике делается акцент на ее временный характер, и на необходимость

апробации предложенных критериев. Во-вторых, по своей сути Методика является нормативно-техническим документом, по большей части рекомендательного характера. В-третьих, Методика не рассматривает, в частности, такие ситуации как разливы нефти, которые могут привести не только к загрязнению природной среды, но и её полной деградации. В-четвёртых - сам документ в настоящее время не актуализирован. В нем приводятся отсылки к уже недействующим нормативно-правовым актам, а также можно справедливо говорить и о устаревании тех, санитарно-гигиенических нормативов, которые в ней приведены.

Стоит отметить, что в 2015 г. большая группа специалистов в области экологического права попыталась кардинально изменить ситуацию в этом вопросе посредством введения института экологического зонирования. Ими был подготовлен проект Экологического кодекса России (в части промышленной экологии). Сам документ не был принят, но заслуживает внимания.

Введение института экологического зонирования способствовало бы с одной стороны более чёткой и подробной дифференциации территории с необходимостью принятия последующих управленческих решений, а с другой стороны потребовало бы изменения и в подходе определения предельно-допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ, в части их регионализации, что в настоящий момент как в методическом, так и в законодательном плане представляется затруднительным для осуществления.

Одна из ключевых проблем, почему сегодня не наблюдается правовой определённости в решении вышеобозначенного вопроса, заключается в необходимости значительного финансирования по восстановлению обстановки зон экологического бедствия, другая проблема, по замечанию А.Я. Рыженкова связана с неясностью правовых последствий придания территории правового статуса зоны экологического бедствия.

Среди существующих подходов отдельного внимания заслуживают идеи А.П. Анисимова по формированию, развитию концепции управления экологически неблагополучными территориями. При её рассмотрении, во-первых, стоит выделить типизацию самих территорий. Так, А.П. Анисимов предлагает выделить: зоны экологического бедствия; зоны экологического кризиса; зоны экологической опасности; зоны экологического риска. Во-вторых, согласно концепции зоны экологического бедствия, должны быть только федерального уровня, т.к. там предполагается максимальный режим запретов и ограничений. Стоит отметить, что А.П. Анисимов рассматривает идею о экологическом зонировании (ранее которая также фигурировала у разных учёных), и с точки зрения правового режима могут быть монолитные зоны (зоны экологического бедствия), а могут и зоны с более сложной внутренней структурой (как национальный парк). В этом случае в их границах проводится зонирование, с созданием специальных функциональных зон [12], что способствовало бы решению проблемы.

Таким образом, проведённый обзор позволяет сделать вывод, что экологическое законодательство России в настоящий момент достаточно обширно. Оно затрагивает многие сферы, в том числе и нефтегазовую отрасль. Тем не менее пока ещё существуют проблемы в регулировании деятельности по освоению углеводородов. Например, в части регулирования ликвидации последствий нефтяных аварий, накопленного экологического вреда, использования попутного газа, реабилитации природной среды. Немаловажно отметить, что существующие природоохранные требования при проведении природовосстановительных мероприятий не учитывают оценку устойчивости геологической среды. Как будет показано в дальнейшем такая оценка играет не последнюю роль. В итоге эти и другие проблемы приводят к необходимости совершенствования и гармонизации эколого-правовой системы в целом.

## ГЛАВА 2. ОЦЕНКА СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ РЕАБИЛИТАЦИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

### 2.1 Современное состояние и способы реабилитации природной среды.

Реабилитация широко известный термин в медицине, теории права, политике. Своими корнями слово уходит в позднюю латынь, где «rehabilitatio» означает восстановление, от глагола «rehabilito» – восстанавливать [135]. Сам же глагол «rehabilito» состоит из двух конструкций «re» - возвращение и «habilitas» - способность. Исходя из этого уже применительно к проблеме загрязнения природы употребляется термин «реабилитация природной среды» или синонимичный - «восстановление природной среды».

В зарубежной литературе можно встретить и такие родственные понятия как экологическое восстановление или реставрация, восстановление окружающей среды, экология восстановления [10]. В российской же практике достаточно широко используется ряд определений: рекультивация; экологическая реабилитация [3; 87; 134], восстановление лесов; реновация природных систем [127]; природовосстановление [97]; экологическое оздоровление [140] и т.п. Между тем, по сути, в большей части исследований речь ведётся о методах восстановления в отношении различных компонентов природной среды.

В целом можно говорить и том, что в российском подходе наибольшее развитие получили вопросы относительно отдельных методов восстановления, особенно при недропользовании, а вот методологические основы реабилитации природной среды разрабатываться только начинают.

Исходя из этого, в первую очередь, необходимо выделить существующие подходы в международной практике, дающие понимание реабилитации (табл. 2). Выполненный анализ применяемых методов показывают схожесть, если не идентичность подходов, что позволяет говорить о определённом международном научном консенсусе в обозначенном вопросе.

**Таблица 2. Подходы к определению реабилитации природной среды**

Автор(ы)	Определение реабилитации природной среды или равнозначное ему	Источник
Elliot, R (1994)	Возвращение территории в первоначальное состояние после любого значительного нарушения, будь то деятельность человека или какое-то стихийное природное явление, бедствие.	[196]
Burger, J (2000)	Восстановление деградированных экосистем и повышение их продуктивности или биоразнообразия.	[187]
Higgs E (2003)	Процесс ликвидации ущерба, который нанёс экосистемам человек, посредством восстановления растительных и животных сообществ, состояния почв, очистки территории от опасных веществ и иные мероприятия.	[203]

John A. Wiens, Richard J. Hobbs (2015)	Восстановление экосистемы или смягчение, минимизация последствий ее деградации.	[209]
Brice B. Hanberry et al.(2015)	Поддержание или восстановление биоразнообразия, функций экосистемы и ее структуры; восстановление экосистемных услуг, а также их устойчивости.	[186]
Young, T., Porensky L., Veblen Kari E. (2019)	Процесс восстановления объектов природы, биологических сообществ и экосистем, которые находятся на грани уничтожения или в стадии деградации.	[250]
Richard J. Hobbs, Viki A. Cramer (2008); Young, R.E., Gann, G.D., Walder, B. et al.(2022)	Процесс содействия восстановлению экосистемы, которая находится на стадии деградации, нарушена или уничтожена.	[233]; [249]

В рамках же данного исследования, исходя из мирового опыта и учитывая изложенные существующие научные подходы, сформулировано обобщённое определение **реабилитации природной среды**. Она представляет собой комплекс мер, направленных на восстановление ее свойств и функций после нанесённого вреда, и улучшение состояния экологически неблагоприятных территорий. Понятие реабилитация и восстановление природной среды при этом следует признать равнозначными.

Кроме того, существует необходимость обозначить, что главной целью реабилитации должно быть возобновление устойчивости экосистемы (среды) к нормальным диапазонам воздействия на окружающую среду и способности сохраняться при отсутствии постоянного вмешательства человека.

Одними из первых значимых работ были исследования в области общей методологии и определении предметной области данного направления [185; 196; 205; 208].

В СССР работы по рекультивации земель (без привязки к недропользованию) стали появляться ещё в 1960-е годы (И. В. Лазарева, 1962), а, среди первых, кто выделил такие способы как самовосстановление и восстановление с применением технических, инженерных решений можно считать Дж. Хатчинсона (Joseph Hutchinson) в 1974 г. [206]. В частности, он называл время и саму природу «великими целителями», которые способны восстановить полностью или в большей мере первозданную природу. Вместе с тем он задавался вопросом – должен ли человек ускорять восстановление. Отвечая на него Дж. Хатчинсон, пришёл к выводу, что восстановление (связанное с деятельностью человека) является одним из аргументов в пользу заботы об окружающей среде и сохранения жизненно важного национального богатства. Ведь техническая реабилитация происходит несоизмеримо быстрее природной, так как естественное восстановление может занять десятки и даже сотни лет.



Необходимость технического решения проблем реабилитации Дж. Хатчинсон обосновывал ещё и постепенным ростом численности населения, а, следовательно, ростом потребностей государства, экономики [206]. О схожих причинах, а также о том, что культурное и технологическое развитие общества, сопровождается все увеличивающимся потреблением природных ресурсов пишут и М. Перроу (Martin R. Perrow) и Э. Дэви (Anthony J. Davy) [230]; Дж. Кэрнс (John Cairns, Jr.) и Дж. Р. Хекман (John R. Heckman) [210]. Однако сегодня уже можно справедливо говорить о стремлении человека к сочетанию обозначенных способов [233], что обусловило выделение такого подхода как смешанная реабилитация: когда технические (инженерные) мероприятия стимулируют (дополняют) и ускоряют самоочищение и самовосстановление.

Развивая идеи о естественной и технической реабилитации ряд исследователей [199; 217; 240] выделяет возможность полного и частичного восстановления. *Полное восстановление* определяется как состояние или условие, при котором после восстановления все ключевые компоненты экосистемы очень похожи на элементы эталонной модели, которые включают отсутствие угроз, благоприятные физические условия, богатый видовой состав, структуру сообществ, наличие внешних связей. В тех же случаях, когда восстановление связано с ресурсными, техническими, экологическими или социальными ограничениями возможно *частичное восстановление*, которое должно быть направлено на существенное восстановление местной биоты и ключевых экосистемных функций.

По замечанию А.Ф. Клеуэлл (Andre F. Clewell) и Дж. Аронсон (James Aronson) восстановление любой экосистемы возможно до состояния, приближенного к исходному (т.е., которое было до загрязнения), однако восстановить не полностью не представляется возможным, ввиду динамичности природных процессов [190]. На наш взгляд данное утверждение справедливо только в отношении технических способов. Ведь действительно, природа является неповторимым создателем. Например, общеизвестно что не существует идентичных минералов.

Тем не менее, восстановление (пусть даже частичное) все же является одним из значимых подходов к решению экологических проблем настоящего и будущего [204].

Другим немаловажным вопросом является целесообразность реабилитации. Здесь интерес вызывает глобальное исследование по восстановлению лесов [191], проведенное в 2016 г. В нем не только лесовосстановление рассматривается как отдельный вид реабилитации, но и отмечаются факторы, которые влияют на восстановление как растительности, так и биоразнообразия в целом. Первый выделенный фактор - время, прошедшее с момента начала восстановления. Второй фактор - тип нарушения экосистемы. При этом в исследовании отмечается, что реабилитации в первую очередь должны подвергаться системы со средней

степенью нарушенности (далее в работе это мысль будет отражена в ключе устойчивости геологической среды и необходимости реабилитации), т.е. находящиеся на стадии деградации, ей подвержены или в отношении лесов - вторичные леса и леса находящиеся на грани исчезновения.

Однако существует и иная точка зрения. Одна заключается в том, что восстановлению прежде всего должны подлежать уникальные экосистемы, имеющие особое значение для человека, а также наименее нарушенные элементы экосистемы, поскольку это потребует меньше усилий и затрат [228]. С данной позицией сложно согласиться, так как она исходит, судя по всему, сугубо из экономических и утилитарных интересов человека. Такой технократический подход не способен воспринимать необходимость коэволюции человека и природы, к тому же он не согласуется и с концепцией устойчивого развития, цель которой на современном этапе как раз и является попытка изменения потребительского отношения к природе.

Выше были рассмотрены концептуальные вопросы реабилитации, теперь же перейдём к некоторым аспектам самих методов, в том числе, которые нашли применение при освоении углеводородов. Общеизвестно, что добыча, транспортирование и хранение нефти и газа неразрывно связано с загрязнением окружающей природной среды. Так, экологические последствия нефтегазовой отрасли выражаются в нарушении рельефа, активации природно-техногенных процессов, уничтожении растительного покрова, негативном действии бурения скважин на почвы и грунты, изменении состава природных вод, загрязнении атмосферы, а также в возможном сокращении биоразнообразия, пригодных для хозяйственной деятельности земель и т.д. Все это обуславливает важность реабилитации нефтезагрязненных территорий.

В деле ликвидации и восстановления при нефтяном загрязнении наибольшее распространение получили такие методы как рекультивация, биоремедиация и фиторемедиация [4]; [32]; [83]; [114]; [115]; [181]; [183]; [211]; [223]; [247]. Их сравнительная характеристика представлена в табл. 3.

Последние два метода могут рассматриваться как самостоятельно, так и в рамках биологической рекультивации, иными словами, данные методы взаимосвязаны. Рассматривая названные методы, стоит отметить, что в настоящее время в России одобрено и утверждено более 700 патентов на способы рекультивации, порядка 30 в области биоремедиации и чуть больше 10 патентов по применению фиторемедиации (по данным научной электронной библиотеки на 2022 г. - <https://elibrary.ru/defaultx.asp>). Представленная статистика подтверждает, что в стране пока идёт медленное и поступательное развитие биологических методов реабилитации.

**Таблица 3. Краткая характеристика основных методов восстановления компонентов природной среды при нефтяном загрязнении**

Название метода	Рекультивация	Биоремедиация	Фиторемедиация
<b>Суть метода</b>	Восстановление нарушенной вследствие техногенной деятельности земли, ее продуктивности, плодородия для последующего хозяйственного использования.	Восстановление посредством биохимической активности микроорганизмов, водорослей, высших растений, червей, грибов для устранения или снижения концентрации поллютантов.	Восстановление, основанное на активной деятельности растений или системы «растение-почвенные микроорганизмы», позволяющая разложить и устранить поллютант.
<b>Типизация метода</b>	Механические методы (перемешивание грунта, агротехнические мероприятия, элюирование или промывка грунта); термические (сжигание нефти, термодесорбция); химические (использовании реагентов, известкование, ПАВ, экстракция, сверхкритическая флюидная экстракция, экстракция подкритической водой); биологические (ускорение естественных процессов очищения); сорбционные (добавление сорбирующих нефть веществ).	Ex – situ - биостимуляция, аугментация, агротехнические приёмы, фиторемедиация, обработка в биореакторе, метод биосвай, валкование, , ландфарминг (агробioreмедиация);  In – situ - биовентилирование, биослёрпинг, биопродувание (биоспаргирование), фиторемедиация, создание проницаемого реактивного барьера и естественная биоремедиация.	Фитостабилизация; фитодеградация (фитотрасформация); фитоиспарение (фитоволятизация); ризодеградация; фитоэкстракция (фитоаккумуляция); фитофильтрация (типы - ризофильтрация, бластофильтрация)
<b>Применение при нефтяном загрязнении</b>	<b>Достоинства</b>		
	Оперативное нейтрализация загрязнения; вовлечение земли в хозяйственный оборот после рекультивации.	Способность микроорганизмов поглощать значительное число различного рода органических веществ; относительная безопасность для экосистемы; отсутствие вторичных отходов; экономичность; простота технологии; использование микробных консорциумов, более эффективно разлагающих нефть.	Возможность применения на больших площадях; улучшение качества и структуры почвы; повышение деятельности автохтонных микроорганизмов; защита от эрозии; возможность применения к широкому кругу поллютантов.
	<b>Недостатки</b>		
Проведение технической рекультивации требует значительных экономических затрат; может приводить к уничтожению гумусового слоя почвы, образованию вторичных отходов; в малой степени способна восстановить	Зависимость от климатических, почвенных условий; скорость биодegradации зависит от степени загрязнения и правильного выбора штамма; возможно подавление автохтонных	Наличие природных факторов стресса, снижающих активность растений; необходимость учета климатических условий, состава почвы, степени загрязнения.	

	биоразнообразии; отсутствие универсальных технологий рекультивации, которые бы не зависели от климатических условий; не решает проблему возможного просачивания нефти в нижележащие горизонты.	микроорганизмов вплоть до полного их замещения.	
<b>Тенденции развития</b>			
	Увеличение доли применения биологических методов.	Применение биосорбентов при ликвидации загрязнения нефтью в водной среде; разработка «супербактерий», которые способны поглощать различного рода поллютанты.	Развитие комбинированной фиторемедиации; расширение применение ризодеградации.

Кроме загрязнения грунтов следует обратить внимание и на ликвидацию нефтяных загрязнений в водных экосистемах, а особенно в морской среде, как наиболее уязвимой. Сегодня преимущественно применяются термические (сжигание), физические (сбор нефти бонами, нефтесборщиками, скиммерами) и химические (использование диспергентов и сорбентов) методы очистки от нефти [19; 53; 83]. Однако несмотря на то что они практикуются не одно десятилетие, к ним до сих пор возникают вопросы, не утихают и споры о соотношении методов при их комбинировании. Например, в случае применения открытого сжигания нефти, что до сих пор находит применение. Так, во время разлива нефти Deepwater Horizon в 2010 г. данным методом было удалено около 6% нефти с поверхности воды [225]. В атмосферу при длительном процессе горения выделяются углекислый газ, оксиды азота, серы и других газов. Между тем, в виду все возрастающей тенденции к достижению углеродной нейтральности, для реализации целей устойчивого развития, Парижского соглашения по климату (2015 г.) стоит предполагать о сведении к минимуму применения такого метода как открытое сжигание нефти в море. Возможность ликвидации загрязнения никогда не должна использоваться в качестве оправдания практик, имеющих негативные последствия и способных вывести естественные экосистемы из состояния равновесия [199].

Сложность применения скиммеров связана с тем, что они зависят от вязкости нефти, наличие отходов на месте загрязнения и условий применения – прибрежное загрязнение, мелководье или открытая морская среда. Кроме того, работа скиммеров требует обязательной установки боновых ограждений.

Известен также метод смешивания химических диспергентов с морской водой, загрязненной нефтью. В идеале диспергенты должны разбивать пятна на капли, что облегчает разрушение нефти для микроорганизмов. Однако до конца не удаётся предсказать ход подобной реакции, силу токсического эффекта для таких морских простейших как коловратка. Довольно

значимым является и эффективность диспергента, которая зависит от таких показателей как температура, вязкость нефти, её концентрация, рН. Кроме отмеченных параметров, недавние исследования о механизмах действия диспергентов показывают, что необходимо обращать внимание ещё и на скорость дрейфа нефтяного slicka. Такая характеристика устанавливает связь между эффективностью и оперативным реагированием на загрязнение, что в свою очередь влияет в целом на степень очистки.

Наиболее перспективным методом является биоремедиация, интерес к которой в последнее время все возрастает. Так имеются исследования, в которых определены универсальные (разлагающие как в почве, так и в воде) деструкторы углеводородов: среди бактерий, например, *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Firmicutes*, *Bacteroidetes*, *Chlamydiae* и *Deinococcus – Thermus*, среди грибов - *Amorphoteca*, *Neosartorya*, *Talaromyces*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Paecilomyces*, *Sporobolomyces*, *Cephalosporium*, *Penicillium* и *Graphium* [214; 221]. Однако по замечанию Т.Ю. Коршуновой несмотря на то что разработано большое количество биопрепаратов, разлагающих нефть, они не находят широкого применения [83], что ставит на наш взгляд, задачу по изменению подхода к ликвидации загрязнения в сторону увеличения доли применения биоремедиации.

Как можно было заметить понятие реабилитации природной среды достаточно обширное и включает в себя целый круг тем, предметов изучения и обсуждения. В ключе проводимого исследования мы остановились, лишь на наиболее значимых из них, которые позволяют увидеть общий контекст.

Завершая обзор, хотелось бы обратить внимание на ряде фундаментальных вопросов, которые стоят перед восстановительной экологией в целом. Один из них заключается в том, что стоит ли в качестве главного результата реабилитации рассматривать стремление к возрождению исторических (первозданных) экосистем. Другой вопрос, который поднимают исследователи - что можно считать первозданной экосистемой в XXI веке. Также, исходя из существующей практики, проблема возникает и с тем, что трудно определить, приведут ли попытки восстановления деградированных территорий к развитию новых, а не естественных (ранее существовавших) экосистем [229]. Кроме того, перед восстановительной экологией в будущем стоят и такие проблемы как влияние изменения климата на потенциальные результаты восстановления и определение динамики развития экосистем вследствие их реабилитации [233]. Обозначенные вопросы говорят лишь о том, что теория восстановительной экологии в мире продолжает развиваться, главное, чтобы за этим развитием не потерялась сама природа.

## 2.2. Разработка структурной схемы и принципов реабилитации природной среды.

Анализ теоретических основ реабилитации природной среды позволяет заложить фундамент для построения принципиальной структурной схемы реабилитации. Между тем, для полноты картины стоит рассмотреть мировой опыт регулирования данной области.

В таких странах как Австралия и Индия, в части вопросов реабилитации значительное внимание уделяется сохранению и восстановлению биоразнообразия. В частности, Закон об охране окружающей среды и биоразнообразия Австралии (1999 г.) предусматривает возможность принятия специальных программ по восстановлению редких и исчезающих видов. Среди основных требований, предъявляемых к таким программам, указывается: описание угроз для вида и его ареала обитания, пути минимизации негативных факторов, воздействующих на вид или его среду, а также особенности и время самой реабилитации вида. Схожие требования закреплены и в Законе о биологическом разнообразии Индии (2002 г.). Однако существенным отличием от австралийского подхода является установление приоритета реабилитации в естественных условиях, т.е. исходной среде обитания вида. Кроме того, Индия рассматривает реабилитацию не только в рамках восстановления биоразнообразия, но и как меру по ликвидации загрязнений и устранения экологического ущерба вследствие наступления техногенных аварий [11].

Восстановление биоразнообразия, а также лесных экосистем в целом является предметом также Лесного кодекса Бразилии (2012 г.). Кодекс по части реабилитации регламентирует нормы о необходимости мер по восстановлению растительных сообществ в случае их деградации. При этом отмечается, что если процессы деградации происходят в лесах на охраняемых и заповедных территориях, то их реабилитация должна быть приоритетной.

О преобладающем значении фактора деградации упоминается в природоохранных нормах США и ЮАР. В США природоохранная сфера не является единообразной с позиции её организации и регламентирования. Она в большей степени строится по принципу реакции на проблему (деградацию). Так, реабилитации прежде всего подлежат уже деградированные экосистемы, или же находящиеся в состоянии утраты значительных ценных свойств и качеств. В отношении же ЮАР стоит отметить, что в Национальном законе об охране окружающей среды республики (1998 г.) восстановление признается целесообразным, если в следствие загрязнения окружающей среды возникает существенный риск, угроза для состояния самой среды или для здоровья человека.

Комплексный подход к регулированию реабилитации природной среды проявляется в Японии. Безусловно, можно полагать, что культура Японии, в которой присутствует особое отношение к природе, стремление к построению гармоничных отношений с ней, повлияла на данную сферу. Это воздействие прослеживается даже в том, что в стране принят специальный

закон - Закон о содействии восстановлению природы (2002 г.). Указанный акт определяет не только понятие «восстановление», но и предъявляет требования к планам (проектам) в сфере восстановления природы. Так, проект восстановления должен содержать информацию о районах восстановления, целях и задачах, методах восстановления, сроках реализации проекта и ответственных лицах.

Целостный взгляд на восстановление экосистем прослеживается также и в ряде европейских государств. Так, в Экологическом кодексе Франции (2000 г.) закреплены способы осуществления реабилитации, а именно самовосстановление, рассматриваемая как первоочередная мера, и смешанная реабилитация, когда необходимо возвращение к наиболее приближенным условиям, т.е. условиям до наступления экологического ущерба. В Великобритании, в свою очередь, определены правила проведения реабилитации, что также представляет определённый интерес. В основном Законе об охране окружающей среды (1990 г.) выделены 5 этапов реабилитации загрязнённых земель. Первый этап заключается в выявлении загрязнённых (заражённых) земель на основе проводимой инвентаризации их состояния. Здесь учитывается общая степень загрязнения. Вторым этапом является объявление выявленных загрязнённых земель специальными участками. На данном этапе учитывается содержание загрязнённых веществ в почве и грунтовых водах, оценивается общий ущерб, нанесённый земле. В случае превышения пороговых значений по содержанию веществ даётся заключение о тяжести загрязнения. Третий этап включает в себя направление уведомления землепользователю с требованием об устранении причинённого ущерба. Принимая данное уведомление и признавая причинённый ущерб, землепользователь обязывается провести комплекс мер по его устранению. В этом заключается четвёртый этап. Последний этап связан с новой оценкой состояния территории и признанием её пригодной для хозяйственной деятельности.

Рассматривая опыт Испании необходимо отметить, что наиболее уязвимым местом является развитие сельских территорий. Поэтому прежде всего регулированию подвержено сохранение и восстановление земель данной категории. Закон об устойчивом развитии сельских районов (2007 г.) обязывает как государство, так и частных лиц сохранять и восстанавливать природные ресурсы сельских территорий. Он также прописывает необходимость внедрения экологического планирования. Его суть заключается в прогнозировании действий, направленных на охрану почв и грунтовых вод, мер по борьбе с опустыниванием, по лесовосстановлению и предотвращению негативных природных процессов. Подобное планирование возможно, как на национальном уровне, так и в отдельном сельском районе. Кроме экологического планирования в Испании распространены программы по охране природы и управлению природными ресурсами. В них предусматриваются меры по сохранению и восстановлению мест обитания видов,

находящихся под угрозой исчезновения или имеющих ценное значение, естественно присутствующих на сельской территории [11].

Кроме уже рассмотренных стран стоит подчеркнуть, что положения о необходимости восстановления природной среды присутствуют во множестве государств. Например, Аргентина, Уругвай, Парагвай, Египет, Алжир, Китай, Казахстан, Португалия, Швеция и др. (см. табл. 4. [11]).

Однако для большинства стран не характерно выделение в отдельный блок вопросов реабилитации территорий недропользования, что на наш взгляд может быть объяснено тем, что недропользование - частный случай общего природопользования, поэтому подчиняется общим требованиям.

Подметим также, что, рассматривая мировой опыт можно увидеть акцент на таких составляющих реабилитации как *объект восстановления и способ осуществления*. Действительно прежде, чем восстанавливать, нужно понять, что и как именно будет восстановлено.

**Таблица 4. Особенности регламентирования реабилитации природной среды в зарубежных странах.**

Континент	Страна	Закон	Обязанность реабилитации	Объект реабилитации (является или может являться объектом)	Понятие реабилитации
Северная Америка	Канада	Об охране окружающей среды (1999 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления)	-
		Закон о восстановлении фермерских хозяйств в прериях (1985 г.)	+	Территории, подверженные засухи в провинциях Манитоба, Альберта, Саскачеван	-
	США	Закон о восстановлении рыбных ресурсов и дикой природы Великих озер (1990, 1998, 2006 гг.)	+	Рыбные ресурсы Великих озер, места их обитания, водно-болотные угодья, дикая природа в целом.	+
		Закон об океанах (1992 г.)	+	Морские млекопитающие и их места обитания, уникальная морская среда	-
		Закон о восстановлении тропических лесов на Гавайях (1992 г.)	+	Экосистемы тропических лесов Гавайских островов.	-
		Закон о восстановлении экосистемы реки Эльва и рыболовства (1992 г.)	+	Экосистема р. Эльва (шт. Вашингтон)	-
		Закон о рекультивации (восстановлении) Солтон-Си (1998 г.)	+	Экосистема озера Солтон-Си в Калифорнии	-
		Закон о восстановлении озера Тахо (2000 г.)	+	Экосистема оз. Тахо и сопредельные территории	-



		Закон о водоснабжении, надежности и улучшении окружающей среды (2004 г.)	+	Залив Сан-Франциско, речные системы Сан-Паблобей, Сиусун Бэй, Марии, водно болотные угодья региона и озеро Солто-Си	-
		Закон о природной территории Рио-Гранде (2006 г.)	+	Природная территории Рио-Гранде (шт. Колорадо), р. Рио-Гранде.	-
		Консолидированный закон о природных ресурсах (2008 г.)	+	Особая природная территории в районах нахождения маяков Юпитер (шт.Флорида), Пьедрас-Бланкас (шт. Калифорния), экосистема р. Платт (шт. Небраска)	-
Южная Америка	Бразилия	Закон о национальной экологической политике (1981 г)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления)	-
		Лесной кодекс (2012 г.)	+	Леса в охранной, заповедной зоне.	-
		Закон об аграрной политике (1991 г.)	+	Территории, подвергшиеся опустыниванию	-
	Аргентина	Закон о минимальных мерах по охране окружающей среды местных лесов (2007 г.)	+	Лесные экосистемы	-
		Национальная экологическая политика (общее экологическое право, 2002 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления)	-
		Восстановление окружающей среды в горном районе Рио-Турбио (2001 г.)	+	Территория угольного месторождения Рио-Турбио, провинция Санта-Крус	-
Южная Америка	Уругвай (Восточная республика Уругвай)	Закон об охране окружающей среды (2000 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления)	-
	Парагвай	Закон о запрете в Восточном регионе трансформаций и преобразований лесных территорий (2004, 2018 гг.)	+	Леса Восточного региона (левый берег р. Парагвай)	-
		Закон о лесном хозяйстве (1973 г.)	+	Леса и лесные территории	-
		Закон о восстановления защитных лесов водотоков на территории страны (2010 г.)	+	Защитные леса водотоков Восточного и Западного региона	-
		Закон о водных ресурсах (2007 г.)	+	Водно-болотные угодья	-
Австралия	Австралия	Закон о Морском парке Большого барьерного рифа (1975 г.)	+	Экосистемы Морского парка Большого барьерного рифа	-
		Закон об охране окружающей среды и сохранении биоразнообразия (1999 г.)	+	Исчезающие виды или виды, находящиеся на грани исчезновения.	-
		Закон о воде (2007 г.)	+	Речной бассейн Мюррей - Дарлинг	-
Африка	Египет	Закон об окружающей среде (1994 г.)	+	Территории, подвергшиеся экологической катастрофе	-

	Алжир	Закон о защите окружающей среды в рамках устойчивого развития (2003 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления)	-
	ЮАР	Закон об охраняемых территориях (2003 г.)	+	Деградировавшие экосистемы и исчезающие виды	-
		Национальный закон об охране окружающей среды (1998 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления)	+
		Закон об отходах (2009 г.)	+	Земли, степень загрязнения которых значительна или представляет угрозу для человека	-
		Закон о национальных лесах (1998 г.)	+	Обезлесенные территории	-
Евразия	Япония	Закон о содействии восстановлению природы (2002 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления)	+
		Закон о природных парках (1957 г.)	+	Территории Национальных парков	-
		Основной закон об окружающей среде (1993 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления)	-
Евразия	Китай (КНР)	Лесной закон (2020 г.)	+	Лесные ресурсы, лесные территории	-
		Закон КНР об охране окружающей среды (2014 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления)	-
	Индия	Закон о биологическом разнообразии (2002 г.)	+	Жизнеспособные популяции видов	-
		Закон об охране окружающей среды (1986 г.)	+	Территории, загрязненные вследствие техногенных аварий.	-
	Казахстан	Экологический кодекс (2007 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления), территории, объявленные зоной экологического бедствия.	-
	Франция	Экологический кодекс (2000 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления), водные экосистемы, биоразнообразие, водно-болотные угодья	+
	Соединённое Королевство Великобритании и Северной Ирландии	Новый закон о лесах (1949 г.)	+	Древние и декоративные леса графства Саутгемптон	-
		Закон об угольной промышленности (1994 г.)	+	Земли, подлежащие рекультивации, т.е. территории, входящие в горный отвод.	-
		Закон об охране окружающей среды (1990, 1995 гг.)	+	Сильно загрязненные земли	+
	Германия	Федеральный закон о горнодобывающей промышленности (1980 г.)	+	Земли, используемые для добычи полезных ископаемых	+
		Закон о защите почвы (1998 г.)	+	Загрязненные почвы и вода, сельскохозяйственные земли.	-

	Закон об ущербе окружающей среде (2007 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления)	+
Испания	Закон об устойчивом развитии сельских районов (2007 г.)	+	Сельскохозяйственные территории, природная среда, входящая в их состав	-
	Закон об отходах и загрязненной почве (2011 г.)	+	Загрязненные почвы	-
Португалия	Закон о воде (2005 г.)	+	Водные экосистемы и водно-болотные угодья	-
	Закон об основах экологической политики (2014 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления)	+
Швеция	Экологический кодекс (1998 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления), ценные места обитания и охраняемые виды животных и растений, зоны экологического риска,	+

Научные исследования в свою очередь добавляют к этому ещё и вопрос о степени *восстановления*. Применительно к российским условиям необходимо обозначить ещё и такой элемент как *территориальная принадлежность*. Ведь особенности организации реабилитации зависят от масштаба загрязнения (в пределах ли предприятия, субъекта РФ, 2-х и более субъектов РФ, России и другого государства и т.д.). Схожая мысль прослеживается в опыте Великобритании.

Таким образом, можно говорить о наличии чётких элементов, формирующих контур принципиальной схемы реабилитации (табл. 5.), позволяющей систематизировать отдельные существующие классификации, определить структуру выполнения реабилитационных мероприятий, тем самым формируя комплексный взгляд на данную область.

Исследуя особенности реабилитации природной среды необходимо остановиться на ещё одном аспекте, ранее неосвещённом. Какой бы не была деятельность человека она основывается на череде принципов. В восстановительной экологии ключевым принципом можно считать *достижение устойчивости экосистемы* [197; 198; 212; 215; 235]. 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.

Таблица 5. Принципиальная схема структуры выполнения реабилитационных мероприятий загрязненных территорий

<b>Объект восстановления</b>	Компонент природной среды			Грунт, почвенно-растительные комплексы		
				Поверхностные и/или подземные воды		
				Животный мир		
	Собственно природная среда			Деградированные экосистемы		
				Деградированные экосистемы со статусом экологического бедствия		
<b>Способ осуществления</b>	Естественная реабилитация	<b>Методы реабилитации</b>	Фиторемедиация	Фитостабилизация; Фитодеградация; Фитоиспарение; Ризодеградация; Фитоэкстракция; Фитофильтрация; Фикомередиация		
				Техническая реабилитация	Биоремедиация	In-situ
	Ex-situ		Биостимуляция; Аугментация; Фиторемедиация; Обработка в биореакторе; Метод биосвай; Валкование; Ландфарминг; Промывка почвы, Экстракция.			
	Смешанная реабилитация		Рекультивация земель	По этапам	Техническая рекультивация; Биологическая рекультивация.	
				По направлениям	Сельскохозяйственная; Лесохозяйственная; Водохозяйственная; Рыбохозяйственная; Санитарно-гигиеническая; Рекреационная; Реставрационно-ландшафтная; Природоохранная; Строительная.	

				По методам	Механические; Термические; Химические; Биологические.
			Лесовосстановление	Естественное; Искусственное; Комбинированное	
			Ликвидация загрязнения в морской среде	Физическая; Термическая; Химическая; Биологическая.	
<b>Территориальная принадлежность</b>	Локальная				
	Субъектная				
	Национальная				
	Трансграничная				
<b>Степень восстановления</b>	Полное восстановление				
	Частичное восстановление				

Ряд исследователей также выделяют такие принципы деятельности по реабилитации как научная обоснованность, заключающаяся в основательности тех методов, которые используются при восстановлении, применении технологий, которые соответствуют требованиям последних достижений науки; оценки результатов восстановления на базе мониторинга окружающей среды, непрерывное управление процессами восстановления [188; 201; 216; 212].

Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединённых Наций (ФАО) в дополнение к описанным принципам в одном из своих документов сформулировала также такие принципы как: восстановление способствует реализации устойчивого развития, что увязывает его с Повесткой дня в области устойчивого развития на период до 2030 года; направленность на инклюзивность и социальную справедливость, что подразумевает право каждого человека на благоприятную окружающую среду, а также право на информацию о восстановлении экосистем; комплексности и достаточности восстановительных мероприятий; учёт местных экологических, культурных и социально-экономических условий [197].

Относительно принципа учёта условий необходимо подчеркнуть, что согласно одному из последних исследований при организации восстановления действительно принимается во внимание или могут предусматриваться культурные особенности и социально-экономические показатели, что приводит к более обоснованному подходу [224].

Анализируя литературу по вопросам восстановления экосистем нельзя не заметить, что наиболее часто встречаемыми являются принципы комплексности, научного подхода и устойчивости [182; 248]. В рамках настоящего исследования считаем необходимым кроме ранее обозначенных выделить принцип - *самовосстановления территории*, который исходит как из особенностей регламентации реабилитации, так и 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 [137]. Данный принцип тесно связан также с принципом уникальности [137], 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» [137]. Б. Коммонер в свою очередь 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 [176], что способствует восстановлению баланса внутри нее.

Данный принцип логически также вытекает 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» [14].

Обобщая все вышеизложенное, выделим на наш взгляд принципы восстановления природной среды, которые можно считать универсальными: *1 принцип - устойчивости, 2 принцип - комплексного подхода, 3 принцип - научной обоснованности, 4 принцип - самовосстановления территории*. Нет необходимости останавливаться на их описании, так как это было сделано ранее.

В заключении отметим справедливое и важное замечание Афшин Ахтар-Хавари (Afshin Akhtar-Khavari) относительно того, что «восстановление природной среды рассматривается не просто как набор технических приёмов или как реакция на ущерб окружающей среде, но как деятельность, ориентированная и требующая сотрудничества с миром природы» [182].

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-КАСПИЙСКИЙ РЕГИОН РОССИИ

### 3.1. Физико-географические условия.

Северо-Кавказская провинция располагается в Черноморско-Каспийском регионе (ЧКР), охватывающим обширные территории, заключённые между Чёрным и Каспийским морями. В рамках данного исследования рассматривается его северная часть (преимущественно континентальная), в границах России.

Географически ЧКР России включает в себя территории Северо-Западного Прикаспия, Северного склона Большого Кавказа и Предкавказья, а также прилегающие акватории Чёрного, Азовского и Каспийского морей (рис.4). Каждой из этих зон посвящено множество трудов (от П.С. Палласа, В.А. Ковды, Н.А. Гвоздецкого и по настоящее время), поэтому в настоящей работе ограничимся краткой их характеристикой, дающей представление о типичных природных, геологических и гидрогеологических условиях. Изучение шельфа и акватории в данном случае не предусматривается, 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 (что предполагается в дальнейшем), а уязвимости среды к нефтезагрязнению.

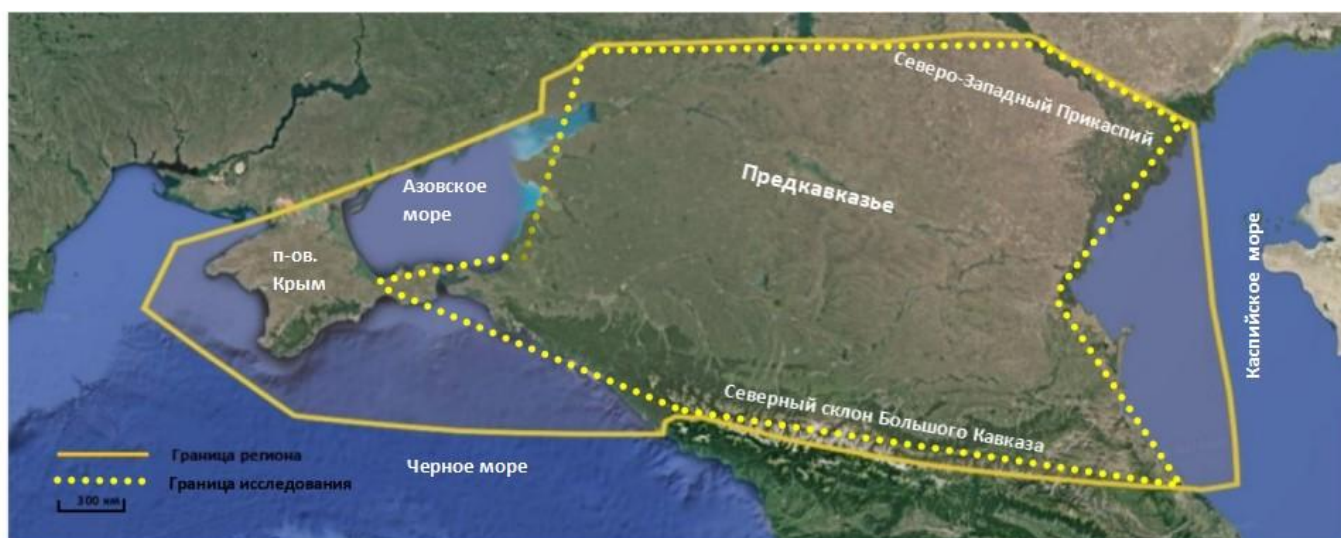


Рис. 4. Границы Черноморско-Каспийского региона России.

Значимую часть ЧКР России занимает *Северный склон Большого Кавказа и Предкавказье, составляющие единый Северо-Кавказский экорегион*. Собственно Северный склон занимает преимущественно горную часть, а Предкавказье - равнинную и предгорную. Равнинная часть



Северо-Кавказского региона лежит в границах Кумо-Манычской долины и подножий Большого Кавказа, и подразделяется на Западное, Центральное и Восточное Предкавказье. Первое включает Азово-Кубанскую низменность и Закубанскую предгорную равнину. Ставропольская, Терско-Сунженская возвышенность, Минераловодская, Кабардинская, Северо-Осетинская, Чеченская равнины составляют Центральную часть. Восточное Предкавказье - Терско-Кумская низменность, являющаяся одновременно юго-западным краем Прикаспийской низменности [88]. В пределах обозначенных долин и равнин располагаются реки, приуроченные к бассейнам Азовского, Чёрного и Каспийского морей. К бассейну Азовского моря относятся р. Кубань, р. Дон, реки степного Приазовья (Ея, Челбас, Бейсуг, Егорлык и др). К Чёрному морю – Шеха, Туапсе, Джубга и др.; Каспийскому – Кума, Терек, Сулак, Самур и др. Реки как правило берут начало в высокогорных областях и при выходе на равнины приобретают черты равнинных водотоков. Как правило аккумуляция влаги происходит в горных районах [45]. Они представляет собой ряд хребтов: Главный (средняя высота 2890 м), Боковой (2620), Передовой (2910), Скалистый (1670), Пастбищный (1190) и Лесистый (900) [88]. Рельеф здесь преимущественно высокогорный, а также встречается сглаженный, платообразный.

В целом в отмечаемом регионе получили распространения как аридные, так и семиаридные, семигумидные, гумидные ландшафты [7-9; 39; 42; 88; 109; 118] (подробнее - табл. 6).

В контексте исследования особый интерес представляет *почвенный покров*. Прежде всего необходимо отметить, что, исходя из ландшафтных и климатических условий, почвенный покров достаточно неоднороден. В качестве иллюстрации приведём некоторые примеры. Так, чернозёмы преобладают на равнинах Предкавказья, в степной зоне; темно-каштановые почвы образуются в условиях сухих степей под типчаково-ковыльной и полынно-типчаково-ковыльной растительностью. Солончаки гидроморфные распространены также в Предкавказье на побережьях, дельтах рек. Луговые почвы формируются в условиях периодического переувлажнения, во время паводков, а также под действием капиллярного увлажнения грунтовых вод и располагаются как в Предкавказье, так и на склонах Северного Кавказа [118].

Лугово-каштановые почвы распространены в сухостепной и полупустынной зонах [99]. Горно-луговые черноземновидные получили своё распространение на альпийских и субальпийских лугах и в луговых степях [108]. Серые лесные почвы в пределах региона встречаются на склонах Северного Кавказа [143].

Таблица 6. Основные типы ландшафтов Северо-Кавказского экорегиона.

Тип ландшафта	Ареал	Климат	Типичная растительность
<b>Горный</b>			
Умеренный гумидный	По всему Северному склону Большого Кавказа, а также на хребтах Скалистый, Пастбищный, Лесистый до высот 1500-1600 м. Встречается и на склонах Дагестана.	Умеренный, влажный. Температуры зимы составляют $-1,5-5,0^{\circ}\text{C}$ , а лета $-17,0-22,0^{\circ}\text{C}$ ; среднегодовая температура изменяется от $8-9^{\circ}\text{C}$ на	Широколиственные леса; луговая растительность
Умеренный семигумидный	В Западном Кавказе они приурочены к котловинам между наиболее низкими хребтами; Центральный Кавказ - котловины и склоны среднегорий, Восточный - передовые хребты и среднегорья, в наиболее широких частях долин крупных рек.	нижней границе до $6-7^{\circ}\text{C}$ на верхней. Годовое количество осадков колеблется в пределах от 500-600 до 800-900 мм.	Преобладает растительность остепненных горных лугов, горных степей, лугостепей.
Умеренный семиаридный	Распространен в интервале высот от 600-700 до 1100-1300 м и встречается исключительно в котловинах. В пределах Западного и Центрального Кавказа - между Боковым и Скалистым хребтами, а на востоке - в Дагестане и в речных широких долинах.	Климат умеренный и характеризуется более высокими, по сравнению с зональными ландшафтами, температурами, но меньшим количеством осадков. Температура самого холодного месяца составляет $-2-4^{\circ}\text{C}$ , самого теплого $+18-20^{\circ}\text{C}$ , а среднегодовая $-8-10^{\circ}\text{C}$ . Годовая сумма осадков не превышает 350-550 мм.	Растительность горных степей, шибляк, фригановая.
Холодно-умеренный	Начинается на высоте от 1000-1200 и до 2200-2400 м.	Умеренно холодный, влажный климат. Средние температуры самого холодного месяца опускаются до $-3,5-6,5^{\circ}\text{C}$ , самого теплого достигает $14,0-16,0^{\circ}\text{C}$ ; среднегодовая температура составляет $+5-6^{\circ}\text{C}$ . Годовое количество осадков изменяется от 1000 мм на западе до 800 мм в центре и 600 мм на востоке.	Лесная растительность: хвойные, мелколиственные. Граница лесной и луговой зоны
Высокогор-	Распространён на высотах от 1800-2000	Климат характеризуется коротким	Растительность

ный луговой	до 3200–3400 м. на склонах Главного, Передового и Бокового, а также Скалистого хребтов.	прохладным летом и продолжительной холодной и снежной зимой. Температуры самого холодного месяца –8–12°C, самого теплого +7–12°C, соответственно средняя годовая температура колеблется от +2–2,5°C в субальпийском поясе до –2,5°C и ниже –в альпийском. Количество осадков изменяется от 600 до 1800 мм в год, с увеличением высоты растет доля осадков, выпадающих в твердом виде. На части высокогорий может достигать до 910 мм. Максимум осадков выпадает в июне, минимум в декабре или январе.	субальпийских и альпийских низкотравных лугов; пестроовсянищевые луга, кустарниковая; субнивальная.
<b>Равнинный</b>			
Умеренный аридный	Приурочен к Терско-Кумской низменности и побережью Каспийского моря, а также к Кума-Манычской долине.	Умеренный. Средняя годовая температура воздуха составляет 9,5– 11,5°C. Температура января изменяется от положительных значений на побережье Каспийского моря до –3,5–5,0°C в Кума-Манычской впадине. Летние температуры достигают +23,0–25,0°C. Годовое количество осадков колеблется от 200–250 мм на побережье до 350–400 мм.	Растительность полупустынь и пустынь.
Холмистый теплоумеренный и умеренный семиаридный	В Западном и Центральном Предкавказье, а в Восточном тянется узкой полосой между полупустынными ландшафтами на побережье Каспийского моря и низкогорными хребтами Большого Кавказа.	Умеренный. Годовые температуры здесь изменяются от 8,0–9,0°C в предгорьях и наиболее возвышенных частях до 10,0–10,5 °C на побережье Черного моря. Температура наиболее холодного месяца опускается до –4,5–5,0°C , а летом может достигать +23,5–24,5°C. Годовое количество осадков изменяется от 350 до 500 мм.	Преобладает степная, лесостепная растительность, луговое разнотравье.
Предгорно-холмистый	Преобладает в Западном Предкавказье (Прикубанская равнина). Является	В связи с приближением к горам здесь отмечается незначительное	Преобладает растительность

теплоумеренный и умеренный семигумидный и гумидный	переходной полосой между собственно горным сооружением Большого Кавказа и Предкавказскими равнинами. Гумидные ландшафты располагаются в Причерноморье.	уменьшение температуры воздуха и увеличение количества выпадающих осадков. Так, средняя годовая температура воздуха составляет в пределах этого типа ландшафтов около +10°C, при этом зимой она может опускаться до -3,0–4,0°C, а летом достигать +17,5–20,0°C.	сухих степей, лесостепей, луговое разнотравье.
--	--	---	--

В целом все многообразие почв можно представить следующим образом: чернозёмы (в частности - чернозёмы обыкновенные, чернозёмы выщелоченные, чернозёмы оподзоленные, чернозёмы типичные, чернозёмы предгорные); лугово-черноземные; каштановые; лугово-каштановые и бурые полупустынные; солончаковые; бурые пустынно-степные; бурые лесные слабонасыщенные; серые лесные; серые горно-лесные; бурые горно-лесные почвы; горные дерново-карбонатные; горно-подзолистые; горно-луговые; горные лугово-степные; горно-луговые черноземновидные; горно-торфянистые. Кроме того, в местах активного сельского хозяйства встречаются рисовые почвы [39; 55; 59; 88; 108-110; 118].

Все почвы типизируются по составу от легко до тяжелосуглинистых. Также распространение получили глинистые формы. Песчаные почвы имеют место в зоне распространения солончаков. Почвы Северо-Кавказского региона обладают нейтральной, слабощелочной или кислой средой в естественных условиях. Кислотность почв варьируется от 5,3 до 7,5 в верхней части профиля. Среди ключевых особенностей можно также выделить содержание органического вещества. Так, в чернозёмах южных оно составляет порядка 3,2%, темно-каштановых - 3,7%, солончаках - 1,0-2,7%, луговых почвах - 3,3%, серых лесных почвах - 3-8%, лугово-каштановых - 3–6%, иногда до 8%, бурых пустынно-степных - до 1,4%, горных лугово-степных - около 10% (в гумусо-аккумулятивном слое) [29; 54; 99; 118; 143].

Особо стоит остановиться на характеристике *чернозёмов обыкновенных*, так как данный тип почв выступал в качестве образца для проведения модельного эксперимента. Географически они распространены на западе Центрального Предкавказья [55], подгорных равнинах Северного Кавказа, Западном Предкавказье [162] и относятся к южно-европейской фации Приазовско-Предкавказской провинции. В климатическом плане данный тип почв расположен в умеренно континентальном климате, с мягкой малоснежной зимой и жарким летом [62].

Для почв рассматриваемого типа характерна темно-серая, ближе к чёрной окраска профиля и хорошо выраженная зернисто-комковатая структура. Вскипание происходит с 45-50 см. [118, с.11]. Почвообразующими породами выступают покровные лёссовидные глины и

суглинки. В предгорьях - аллювиальные и пролювиально-делювиальные отложения глинисто-суглинистого состава. Исходя из этого, по гранулометрическому составу можно выделить почвы преимущественно глинистые (легкоглинистые в Северном Приазовье) и тяжелосуглинистые [62]. Содержание песка незначительно.

Формирование чернозёмов обыкновенных проходило под разнообразной разнотравно-злаковой растительностью. Содержание гумуса от 3,2% до 6,0-7,0% в среднем. Гумус проникает на значительные глубины тем самым формируя большие запасы в почве. Кислотность почв находится в пределах 6,2-7,6, но может доходить до 8,0 в верхнем слое и от 7,5 до 8,7 в нижнем слое. На нейтральные и слабощелочные условия влияет карбонатность почвенного профиля. Также чернозёмы обыкновенные характеризуются высокой численностью микроорганизмов, количество которых убывает с глубиной [55; 62; 162].

Рассматривая территорию *Северо-Западного Прикаспия* отметим, что в плане рельефа в западной его части располагается Терско-Сулакская низменность, охватывающая дельты рек Терека, Сулака, Акташа, берущих своё начало в горах Дагестана [84]; Терско-Кумская низменность, расположенная в междуречье Кумы и Терека, в меньшей степени Сухой Кумы и находится между Ставропольской возвышенностью на западе и берегом Каспийского моря на востоке, занимая площадь около 1,2 млн.га. Территория также рассматривается и как часть Восточного Предкавказья в виду сходства природных условий. На севере она отделяется от Кума-Манычской впадины и Чёрных Земель Калмыцкой республики маловодной рекой Кумой, на юго-востоке граница проходит по дельте Терека. Река имеет достаточно большую площадь водосбора - 43710 км<sup>2</sup>, а её длина порядка 591 км. На территории низменности располагается большое количество соленых озер, питание которых осуществляется грунтовыми водами или восходящими токами подземных вод [40].

Рельеф низменности имеет аллювиально-аккумулятивный характер с покровом лёссов, которые тянутся с запада на восток. Аккумулятивные морские хвалынские равнины развиты в центральной и восточной частях Терско-Кумского междуречья. Среди них наибольшую площадь занимают равнины, сложенные морскими осадками нижнехвалынской и верхнехвалынской трансгрессий Каспия. Хвалынские морские равнины к востоку сменяются ещё более молодыми слабонаклонными равнинами, вышедшими из-под воды после регрессии максимальной стадии стояния Новокаспийского моря. Их граница хорошо прослеживается на местности и выражена абразионными уступами или цепочкой хорошо сохранившихся береговых валов [40].

Аккумулятивные аллювиально-озерные послехвалынские равнины представляют собой днище плоскодонных широких, отчётливо выраженных в рельефе ложбин, выполненных озерно-аллювиальными отложениями. Дельтовые аллювиально-морские послехвалынские и

современные равнины занимают широкие пространства в низовьях реки Терек. Их формирование происходило на месте широкого плоскодонного прогиба в течение верхнехвалынского и послехвалынского времени. Эоловый рельеф аллювиально-морских равнин является характерной особенностью геоморфологии Терско-Кумского междуречья и Прикаспийской низменности (Терский и Бажиганский песчаный массивы, пески в низовьях р. Кумы). Пойменные аллювиальные равнины и остаточные русла отмечены вдоль существующих рек и водотоков. Они характеризуются наличием серии надпойменных террас разного возраста [84].

Северная его часть, в свою очередь, полностью располагается на территории Волго-Ахтубинской поймы, в дельте реки Волга, юго-восточной части Русской равнины. Здесь наблюдается преимущественно равнинный рельеф, состоящий из аллювиально-пойменной дельтовой равнины, морской аккумулятивной и ильменно-бугровой равнины [65]. Дельта Волги имеет площадь около 13900 км<sup>2</sup>. Верхней границей устьевой области Волги, совпадающей с вершиной дельты, является место отделения от основного русла рукава Бузан (район расположения с. Верхнее Лебяжье, в 54 км выше г. Астрахань). В Бузан впадает большой пойменный рукав реки Ахтуба. Разветвления этого рукава и рукава Ахтубы составляют русловую сеть восточной части дельты. В районе г. Астрахань от главного рукава дельты - продолжения Волги - влево поочередно отходят крупные рукава рек Кривая Болда и Прямая Болда (ниже по течению они объединяются в рукав Большая Болда), Кизань (Камызяк) и Старая Волга. Ниже истока Старой Волги основное русло Волги - Бахтемир. С северо-востока и особенно с запада дельту ограничивают вытянутые в широтном направлении бугры Бэра, озера (ильмени), тростниковые плавни или солончаковые луга между ними. Волга и её притоки обладают преимущественно снеговым питанием, вследствие чего наблюдается ярко выраженное весеннее половодье и летняя и маловодная зимняя межень. Незначительную роль в питании играют осадки и подземные воды [173].

*Климат Прикаспия* континентальный с сухим жарким летом и холодной зимой. Средняя температура самого тёплого месяца составляет в Кизляре +24,4<sup>0</sup>С, в Бабаюрте +23,9<sup>0</sup>С. Максимальные температуры достигают в отдельные годы +40-41<sup>0</sup>С, а минимальные -30-32<sup>0</sup>С. Среднегодовая температура - 11,1-10,8<sup>0</sup>С. Годовое количество осадков возрастает по направлению с севера на юго-запад и колеблется от 400 до 700 мм. [40]. Из общего количества годовых осадков 307-480 мм или около 70% приходится на вегетационный период [84]. Аридность климата усиливается с северо-запада на юго-восток. Количество осадков уменьшается по данному направлению с 450 до 80 мм в год [133].

Природные особенности северо-западной части Прикаспийской низменности представлены в табл. 7 (по [92]).

Таблица 7. Природные особенности северо-западной части Прикаспийской Низменности.

Природные факторы	Четвертичные террасы Каспийского моря		
	Раннехвалынская	Позднехвалынская	Новокаспийская
<b>Рельеф</b>	Плоскоравнинный	Слабоволнистый, бугристо-волнистый	Грядово-бугристый
<b>Почвообразующие породы</b>	Шоколадные глины	Супесчаные и песчаные морские отложения, в западинах - озерные, в лиманообразных понижениях глинистые и суглинистые, на бугристой равнине - песчаные и супесчаные.	Песчаные морские отложения со скоплениями раковин, моллюсков и детрита, песчаные отложения и лиманные отложения.
<b>Почвы</b>	В северной и северо-западной частях светло-каштановые солонцеватые, в восточной - бурые в комплексе с солонцами, луговыми, лугово-степными с различной степени опреснения.	Бурые в комплексе с бурыми солонцеватыми почвами солонцов, бурыми солончачковыми супесчаными реже суглинистыми; в понижениях с лугово-бурыми почвами, на юго-востоке солончаки, развеванные песками.	Бурые супесчаные и песчаные в сочетании с солончачками, лугово-солончачковые почвы.
<b>УГВ, м</b>	0-10 и более 15	Около 6-15 и 0-6	3-5 и 0-2,5
<b>Засоленность почв в слое (0-30 см) в %</b>	0,1-0,2 - на повышениях и 4.4 - в озерных отложениях	0,3-0,4 –на повышениях, 2,4% в озёрных понижениях	0,8-1,0. близ уреза моря и 0.8-1.7 при удалении на 10 км от моря
<b>Тип засоления</b>	Cl; Cl-SO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub> -Cl; Cl-SO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub> ; Cl-SO <sub>4</sub>
<b>Растительность</b>	Степная зона. Прикаспийские южные опустыненные степи. Полынно-терновозлаковая, тырсиковая, вострещово-полынная, мятликово-чернополынная и др.	Пустынная зона. Прикаспийские северные пустыни на бурых почвах. Полукустарничковая, злаково-полукустарничковая, лерхополынная, мятликово-чернополынная, мятликово-таврическополынные, черпонополынная и др.	Пустынная зона. Прикаспийские северные пустыни на бурых песчаных почвах. Полукустарничковая, злаково-полукустарничковая, джугуновская, биюргуновская, тростниково-рогозовая (в прибрежной зоне) и др.

Рассмотрим особенности распространения *почв* Прикаспия. Так, на равнинах Западного Прикаспия наиболее распространёнными являются каштановые (светло-каштановые, темно-каштановые разной степени солонцеватости и карбонатности), лугово-каштановые, луговые и солончаки. Светло-каштановые почвы приурочены к повышенным элементам рельефа. Данные почвы по своему гранулометрическому составу легкосуглинистые, крупно-пылевато-мелкопесчаные [84; 143]. Сформировались под покровом полынно-злаковой растительности в условиях недостаточного увлажнения [40].

Луговые почвы встречаются отдельными массивами в комплексе с лугово-каштановыми, светло-каштановыми почвами и с солончаками. Они формируются в условиях оптимального или повышенного поверхностно-грунтового увлажнения. Расположены в центральной и восточной части подгорно-приморских равнин ниже 0 м над уровнем моря [84].

Солончаки распространены в основном на Прикаспийской низменности: в Терско-Кумской, Терско-Сулакской и Приморской низменностях. Солончаки развиваются на недренированных или отрицательных элементах рельефа, в условиях близкого залегания минерализованных почвенно-грунтовых вод. Для солончаков характерно преобладание восходящих потоков грунтовых вод, за счет испарения которых в почвах аккумулируются легкорастворимые соли. Из растительности преобладают полынно-солончаковые сообщества [84].

Северный Прикаспий можно разделить на 4 природные зоны: степную, сухостепную, полупустынную, пустынную. В степной зоне преобладают чернозёмы, темно-каштановые и каштановые почвы, из растительности злаковые и разнотравные. В сухостепной зоне – суглинистые и глинистые черноземы, каштановые и солончаковые почвы. Полупустынная зона – бурые полупустынные, светло-каштановые, встречаются засоленные почвы. Произрастают злаково-полынные сообщества. Пустынная зона – бурые почвы, маломощные засолены. Растительность представлена - многолетними ксерофитными полукустарниками и кустарниками [133]. По гранулометрическому составу встречаются легко и среднесуглинистые почвы [28]. Как видно из табл. 7 вследствие сельского хозяйства почвы подвержены засолению. Кроме того, наблюдается недостаточная их увлажнённость.

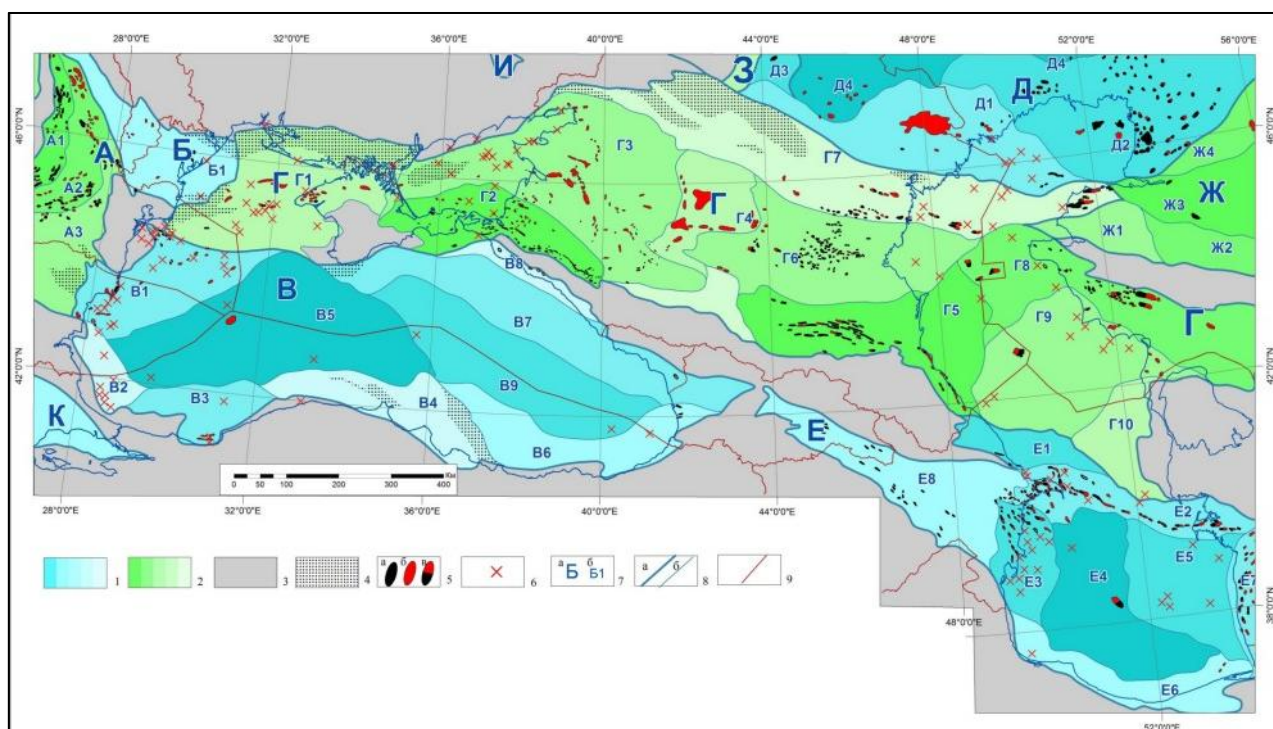
По содержанию гумуса почвы Прикаспия слабогумусированы. В среднем 1,0-2,0% в аккумулятивном слое. Однако в темно-каштановых содержание гумуса выше от 3,5 до 5,0%; каштановых - 2,5-3,5%, светло-каштановых - 1,5-2,0% [40]. Также необходимо отметить, что почвы региона хорошо водопроницаемы, обладают низкой влагоемкостью и непрочностью структуры, что обусловлено аридностью климата.



Рассмотренные природные особенности позволяют выделить их пестроту, неоднородность и уникальность региона. В контексте же исследования также способствует пониманию процессов устойчивости среды и особенностей нефтезагрязнения.

### 3.2. Геолого-гидрогеологические условия.

ЧКР России является одним из самых староосвоенных нефтяных районов. Его исследованию посвятили в разные годы свои труды И.М. Губкин, С.Т. Коротков, В.А. Гроссгейм, В.Н. Буряк, А.К. Богданович, Д.И. Гритчин, Н.Е. Митин, Н.М. Страхова, Б.В. Сенин, В.Е. Хаин, В.В. Юдин, В.Ю. Керимов, Н.Ш. Яндарбиев и многие другие видные ученые. Рассматривая особенности нефтегазового районирования ЧКР следует отметить, что в его границах расположены достаточно протяжённые нефтегазоносные провинции (НГП): Причерноморско-Северо-Кавказско-Мангышлакская, Черноморская, и Прикаспийская [36; 141; 142]. Среди указанных провинций около 68% всех скоплений приходится на Северо-Кавказскую нефтегазоносную провинцию (ряд специалистов именует ее также Причерноморско-Северо-Кавказско-Мангышлакская провинция (рис.5)) [141].



**Рис.5. Нефтегазоносные провинции и области Черноморско-Каспийского региона и прилегающих территорий:**

1 – нефтегазоносные провинции перикратонных погружений и крупных альпийских впадин; 2 – нефтегазоносные провинции и области подвижных платформ; 3 – неперспективные области за пределами провинций; 4 – перспективные зоны в границах провинций; 5 – месторождения: а

нефти, б – газа и конденсата, в – смешанного состава; 6 – площади, не давшие положительного или коммерчески значимого результата; 7 – индексы: а – нефтегазоносных провинций, б – нефтегазоносных областей; 8 – границы: а – нефтегазоносных провинций, б – нефтегазоносных областей; 9 – границы государств и национальных зон морского недропользования. Нефтегазоносные провинции и области (индексы на карте): А – Предкарпатско-Балканская (НГО, ПНГО: А1 – Восточно-Карпатская, А2 – Предкарпатская, А3 – Придунайско-Валахская); Б – Балтийско-Преддобруджинская: Б1 – Молдавско-Преддобруджинская НГО; В – Черноморская (НГО, ПНГО: В1 – Восточно-Мизийская/Истрия, В2 – Игнеада/ Бургасско-Прибалханская, В3 – Западно-Понтийская, В4 – Синопская, В5 – Западно-Черноморская глубоководная, В6 – ВосточноПонтийская, В7 – Крымско-Кавказской континентальной окраины, В8 – Новороссийско-Лазаревская, В9 – Восточно-Черноморская глубоководная); Г – Причерноморско-Северо-Кавказско-Мангышлакская (НГО, ПНГО: Г1 – Причерноморско-Крымская, Г2 – Индоло-Кубанская, Г3 – Западно-Предкавказская, Г4 – Центрально-Предкавказская, Г5 – Терско-Каспийская, Г6 – Восточно-Предкавказская, Г7 – Кряжа Карпинского, Г8 – Южно-Мангышлакская, Г9 – Центрально-Каспийская, Г10 – Западно-Карабогазская); Д – Прикаспийская (НГО, ПНГО: Д1 – Астрахано-Калмыцкая, Д2 – Южно-Эмбенская, Д3 – Волгоградско-Карачаганакская, Д4 – Центрально-Прикаспийская); Е – Южно-Каспийская (НГО, ПНГО: Е1 – Северо-Апшеронская, Е2 – Апшерон-Прибалханская, Е3 – Восточно-Азербайджанская/Западного Борта, Е4 – Южно-Каспийской котловины/глубоководная, Е5 – Туркменской ступени, Е6 – Мазандаранская/Южного Борта; Е7 – Западно-Туркменская/Восточного Борта, Е8 – Кобыстано-Куринская); Ж – Арало-Устюртская (НГО, ПНГО: Ж1 – Южно-Бузачинская, Ж2 – Яркимбай-Арстановская, Ж3 – Бейнеуская, Ж4 – Мынсуалмасская); З – Волго-Уральская; И – Днепровско-Припятская; К – Фракийская [141].

Кроме того можно выделить в регионе и ряд нефтегазоносных областей (НГО) и бассейнов: Причерноморско-Крымская, Индоло-Кубанский (он же Западно-Кубанский), Западно-Предкавказская и Восточно-Кубанская (иногда именуются под единым названием Западно-Предкавказская), Терско-Каспийский, Восточно-Предкавказская, Кряжа Карпинского, Южно-Мангышлакская, Центрально-Каспийская, Западно-Карабогазская, Астрахано-Калмыцкая, Каркинитский, Северо-Азовская, Западно-Ставропольская, Гудиловская [74] и др. (рис.5).

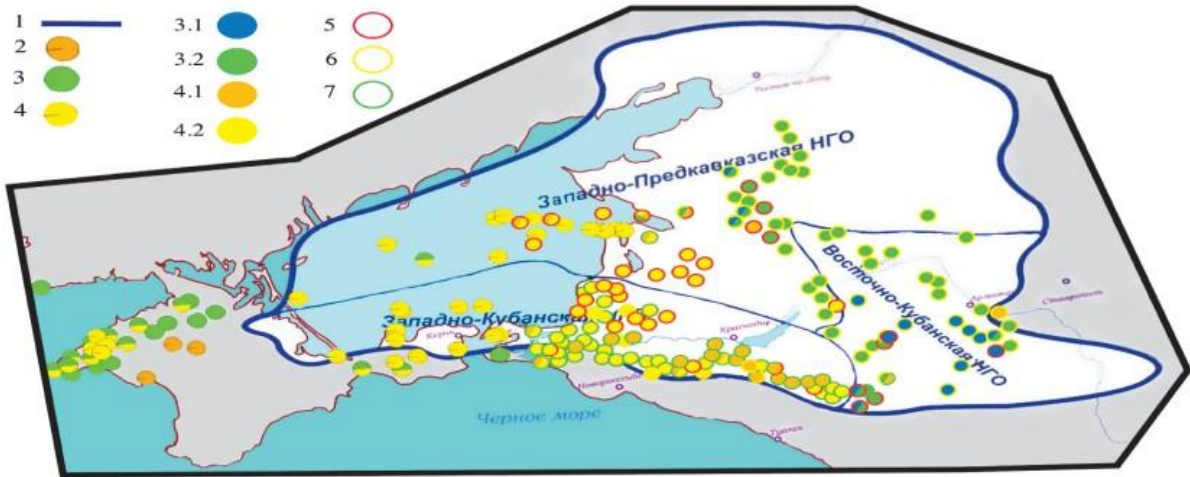
В плане промышленной освоенности, потенциала, продуктивности и дальнейшей перспективности в настоящий момент наиболее значимыми признаются *Терско-Каспийский бассейн*, *Азово-Кубанский бассейн (особенно Индоло-Кубанский суббассейн)*, *Каркинитский бассейн*. Это подтверждается многочисленными исследованиями [36; 73; 74; 111] и существующими картами разных лет (рис. 6-8). Их характеристика представлена в табл. 8.

**Таблица 8. Наиболее крупные НГО и депоцентры ЧКР.**

<b>Бассейн</b>	<b>Основные НГО</b>	<b>Основные структурные элементы и территория</b>	<b>Тип залежей</b>
<b>Терско-Каспийский</b>	Терско-Каспийская, Центрально-Каспийская, Восточно-Предкавказская, Ставропольская, Карпинско-Мангышлакская, Южно-Мангышлакская	Терско-Каспийский передовой прогиб, Восточно-Манычский прогиб, Прикумская система поднятий Центральное и Восточное Предкавказье	Нефтяные Газовые, Газонефтяные, Нефтегазоконденсатные
<b>Азово-кубанский</b>	Индоло-Кубанский суббассейн Западно-Предкавказская НГО Восточно-Кубанская НГО	Западный и Восточно-Кубанский прогиб, Тимашевская ступень, Ростовский выступ, Западное Предкавказье.	Нефтяные Газовые Газонефтяные, Нефтегазоконденсатные
<b>Каркинитский бассейн</b>		Каркинитский прогиб, Северо-Западная часть Черного моря	Нефтяные Газовые Газоконденсатные

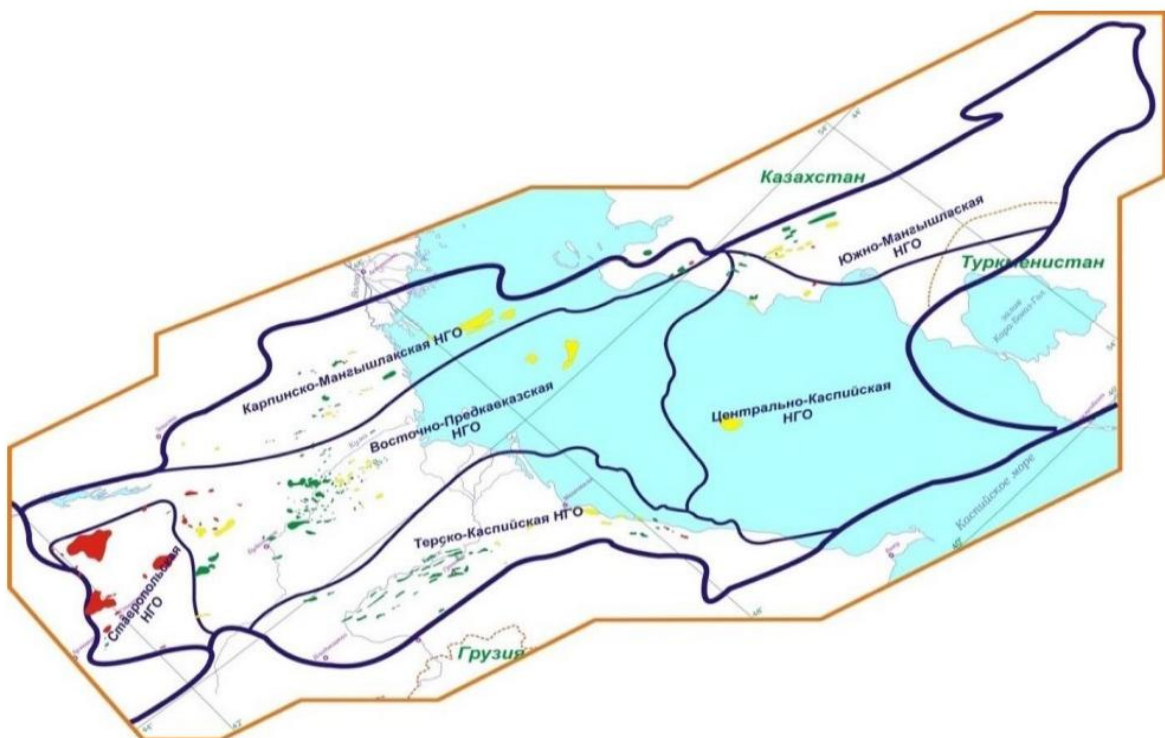
В пределах Азово-Кубанского бассейна открыто в общей сложности порядка 200 месторождений [73]. Из них около 118 месторождений содержащих нефтяную компоненту. В свою очередь, в Терско-Каспийском бассейне известно 50 месторождений, из них более половины с нефтяной компонентой. Как видно из рис. 8 и табл. 8 в Терско-Каспийском 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.

Относительно Каркинитского бассейна отмечается, что он обладает нефтяными залежами только на территории румынского шельфа (рис.9.), а в границах России сосредоточены газовые или газоконденсатные. Исходя из этого далее допускаем возможным его не рассматривать. Также за пределами исследуемого региона находится и Южно-Мангышлакская НГО.

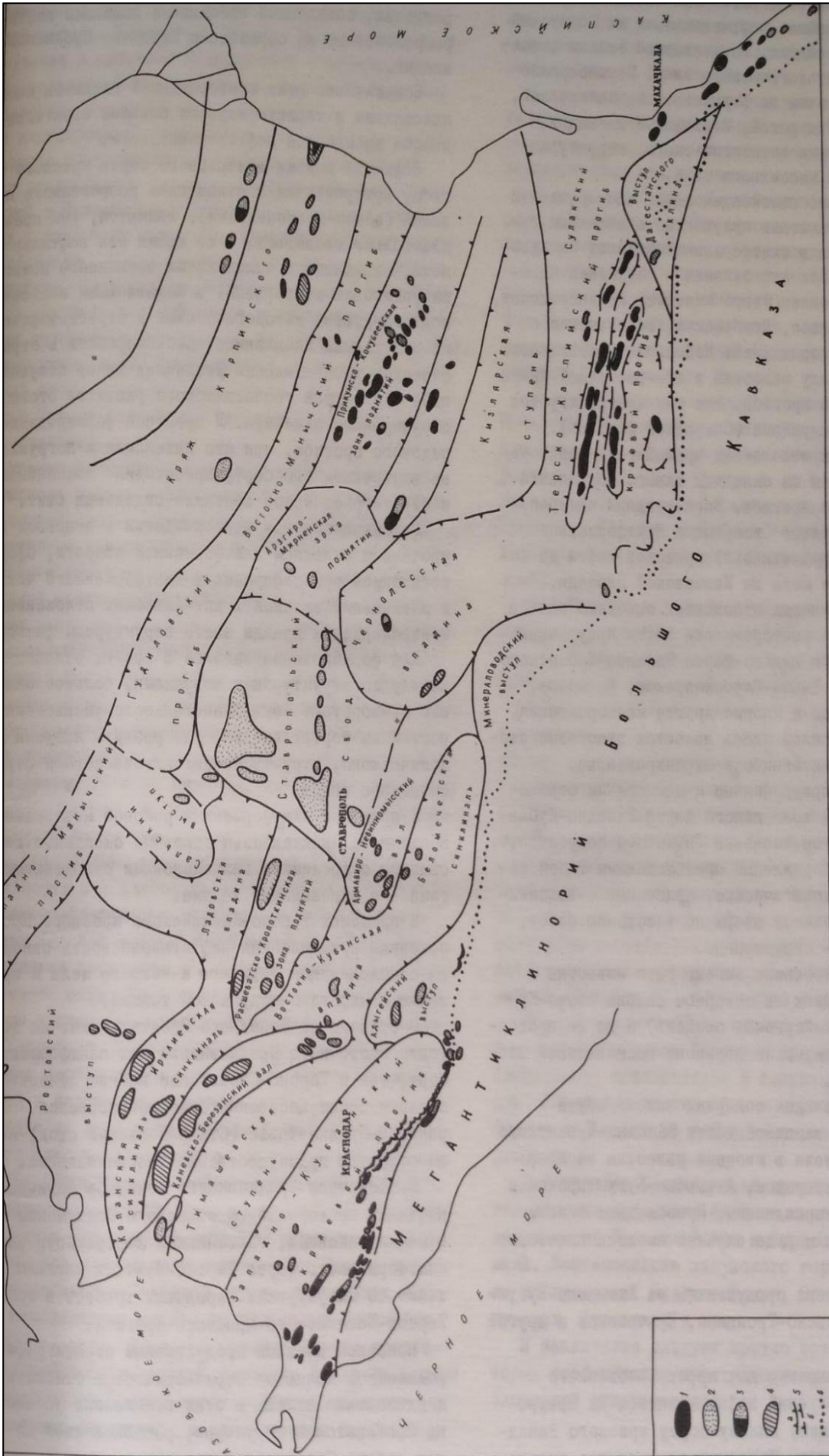


**Рис. 6. Схема размещения месторождений нефти и газа Западного Предкавказья:**

1 – границы нефтегазоносных областей; 2–8 – месторождения, приуроченные к: 2 – палеозойским отложениям; 3 – мезозойским отложениям: 3.1 – юрским отложениям; 3.2 – меловым отложениям; 4 – кайнозойским отложениям: 4.1 – палеогеновым отложениям; 4.2 – неогеновым отложениям; 5 – газовое месторождение; 6 – газоконденсатное месторождение; 7 – нефтяное месторождение [73].



**Рис. 7. Схема нефтегазогеологического районирования Терско-Каспийского бассейна [174].**



**Рис.8. - Карта нефтяных и газовых месторождений Предкавказья. Месторождения: 1 - нефтяные, 2 - газовые, 3-газоконденсатные, 4 - газоконденсатные, 5 - границы основных тектонических элементов различных порядков (а - первого, б - второго), 6 - выходы на поверхность меловых отложения [96].**

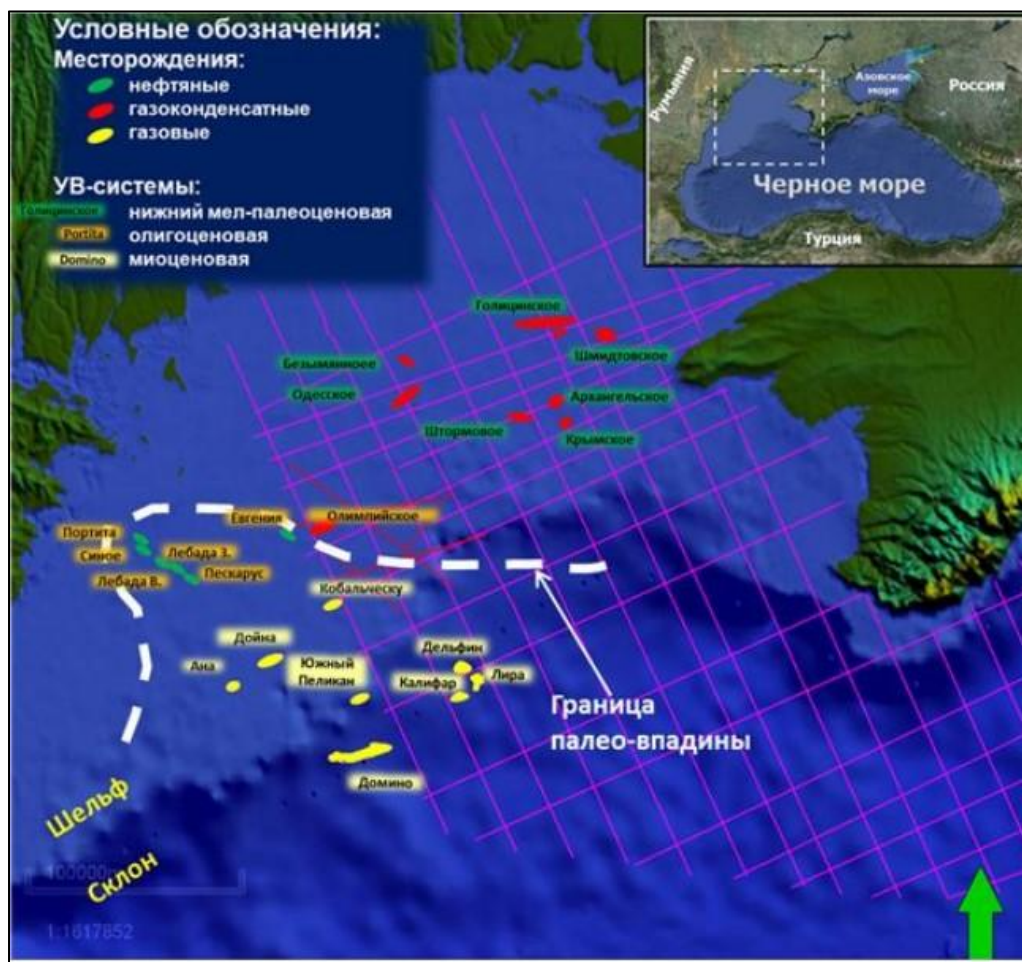


Рис.9. Схема нефтегазоносности Северо-западной части акватории Чёрного моря [112] .

Указанные выше бассейны и НГО приурочены к *мезо-кайнозойскому комплексу*. Так, например, в Калмыкии нижняя граница доступных залежей достигает 2500-3100 м; Дагестане - 3900 м, Краснодарском крае - 3300 м, Ставропольском крае - 3500 м, Северной Осетии, Чеченской республике - 3900-4000 м [28; 93]. В палеозойском комплексе значимых залежей для промышленного освоения, а тем более добычи в настоящий момент на большей части ЧКР не отмечено. Следует заметить, что в последние годы проводятся исследования для определения перспектив нефтегазоносности палеозойских отложений. Несмотря на данные поиски более 80-85% всех УВ региона сформированы и аккумулированы в отложениях новейшего и альпийского тектоно-седиментационных циклов. К данным циклам относится палеоген-неогеновый комплекс (в пределах средне-верхнего эоцен-плиоцена), юрско-палеогеновый комплекс (в пределах верхней юры-нижнего мела-нижнего-среднего эоцена) [42; 71; 89; 141; 174-175]. Нефтяные толщи располагаются и в породах нижнего и средне-верхнетриасового возраста [34; 73].

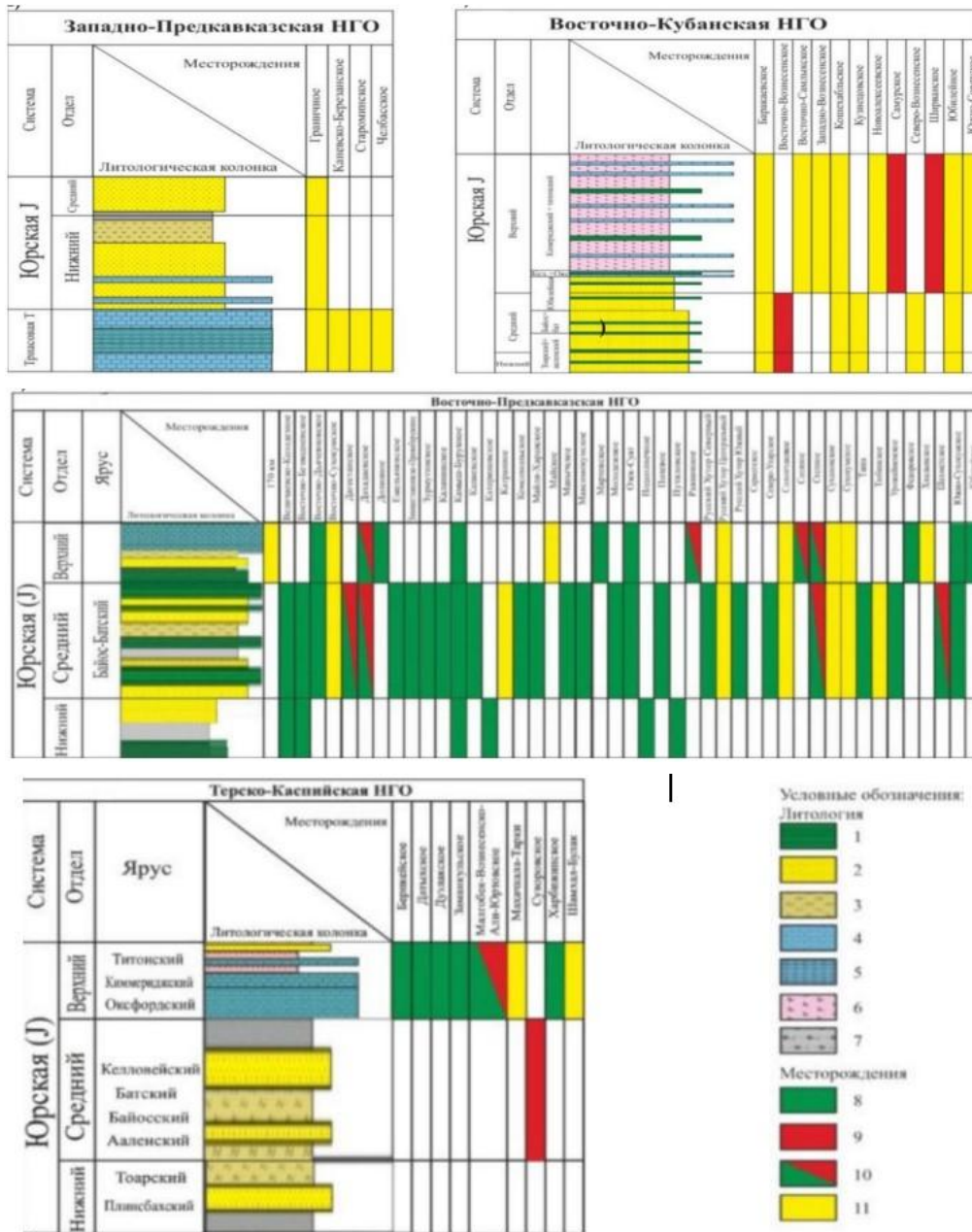
Отложения *нижней и средней юры* (рис.10) наблюдаются не повсеместно. Отложения данного возраста известны в районе Западно-Кубанского прогиба, Восточно-Кубанской впадины, Адыгейского выступа, Терско-Каспийском прогиба, Восточно-Ставропольской впадины. На отмеченных областях наблюдаются породы терригенного состава: аргиллиты, алевролиты, песчаники, глинистые сланцы.

В Адыгейском выступе также встречаются вулканогенно-осадочные породы. Мощность названных пород меняется от 30 до 1700 м, что обусловлено, например, частичным их вымыванием. Отличительной чертой образований данного времени является их литологическая неоднородность, большое количество конгломератов, замещение песчаных пластов глинисто-алевролитовыми, что связано с прибрежно-дельтовой природой их образования. Также можно выделить региональные перерывы вплоть до полного размыва толщ [103].

*Верхняя юра* охватывает территории от Западно-Кубанского прогиба и Восточно-Ставропольской впадины до Терско-Каспийского передового прогиба [103]. Характеризуется в пределах отмеченных территорий тремя литолого-стратиграфическими комплексами: келловейский терригенно-карбонатный, оксфорд-кимериджский известняковый, титонский комплекс [129]. Важной чертой строения является широкий диапазон мощности: от первых десятков до 2200-3000 м [103].

В западном Предкавказье отложения келловейского комплекса установлены в Западно-Кубанском прогибе, Восточно-Кубанской впадине и представлены крупнозернистыми песчаниками и мелкогалечными конгломератами. Выше их сменяют глины и алевролиты. Мощность слоев 1-3 м. Сами отложения располагаются на глубине 2500-3000 м. Однако к северу они погружаются до глубины 5000 м. В Восточно-Кубанской впадине келловейско-киммерийский комплекс представлен толщами трещиноватых и трещиновато-кавернозных известняков с прослоями глинистых доломитов, мергелей, известковых аргиллитов. Средняя их мощность от 60-80 до 300 м. Титонский комплекс наиболее распространён в пределах Предкавказья в Западно-Кубанском прогибе и Восточно-Кубанской впадине. Он характеризуется породами терригенного состава мощностью до 400 м [103].

В юго-западной части Прикаспийской впадины верхнеюрские отложения развиты в пределах Сарпинского мегапрогиба и в восточной части Астраханского свода. Нижняя часть разреза верхнеюрского комплекса представлена 45-ти метровой толщей песчаников келловейского возраста, перекрытых глинами мощностью до 60 м.



**Рис.10. Месторождения и залежи УВ в юрских отложениях на примере крупных НГО:**

Литология: 1 – глины, 2 – песчаники, 3 – алевролиты, 4 – известняки, 5 – доломиты, 6 – ангидриты, 7 – аргиллиты; Месторождения: 8 – нефтяные, 9 – газовые, 10 – нефтегазовые, 11 – нефтегазоконденсатное [74].

Для верхней части разреза оксфордского и титонского возраста характерен карбонатный и карбонатно-терригенный состав пород: известняки, мергели, глины известковистые. Известняки и мергели особенно преобладают в пределах Сарпинского мегапрогиба, в котором также предполагается наличие пород киммериджского возраста [89].



Верхнеюрские породы титонского и киммериджского возраста отсутствуют в северной части вала Карпинского. В южной части вала позднеюрские отложения представлены только породами оxfordского возраста и сложены переслаиванием песчаников, алевролитов, аргиллитов и глин с редкими карбонатными прослоями. Их общая толщина составляет до 50 м. В ЗМП верхнеюрские отложения оxfordского возраста сложены преимущественно доломитами и известняками общей толщиной до 80 м. Толщина отложений уменьшается с юга на север и с востока на запад с постепенным замещением на глины и глинистые алевролиты [89].

*Меловые отложения* (рис. 11) в пределах Западного Предкавказья представлены альбским и аптским комплексами. Отложения нижнего мела сложены глинами с прослоями песчаников и алевролитов. Мощность первого комплекса 100-350 м. Мощность апта 170-180 м (на севере) и до 80 м (северо-востоке) [96].

В Восточном Предкавказье отложения мела представлены чередованием песчано-алевролитовых и карбонатных пластов. Песчаные пласты разделены между собой маломощными глинами. Общая мощность отложений в пределах территории от 500 до 1200 м. Верхнемеловые отложения в границах Предкавказья также представлены терригенными породами с мощностью до 150 м. [96].

Меловые отложения обнаруживаются и в юго-западной части Прикаспийской впадины. Они отсутствуют только на сводах высоких соляных куполов. Нижнемеловые отложения включают неокомский, аптский и альбский комплексы. Первые два часто образуют единую апт-неокомскую нефтегазоносную толщу, имеют широкую площадь распространения (отсутствуют лишь в западной части Сарпинского мегапрогиба) и представлены переслаиванием песчаных и алевроито-глинистых отложений. Их общая мощность превышает 80 м. [89].

Породы раннемелового и позднемелового возраста широко развиты в границах вала Карпинского и ЗМП. Они представлены преимущественно терригенными отложениями, максимальная толщина которых составляет около 700 м. Стратиграфическая полнота разреза нижнемеловых отложений убывает на валу Карпинского и в ЗМП в направлении с востока на запад, и из разреза выпадают валанжинские и готеривские отложения. Неокомские отложения (толщина до 50 м) сложены песчаниками, чередующимися с глинистыми алевролитами и глинами. В нижней части аптского разреза выделен продуктивный горизонт, представленный серыми песчаниками и алевролитами [89].

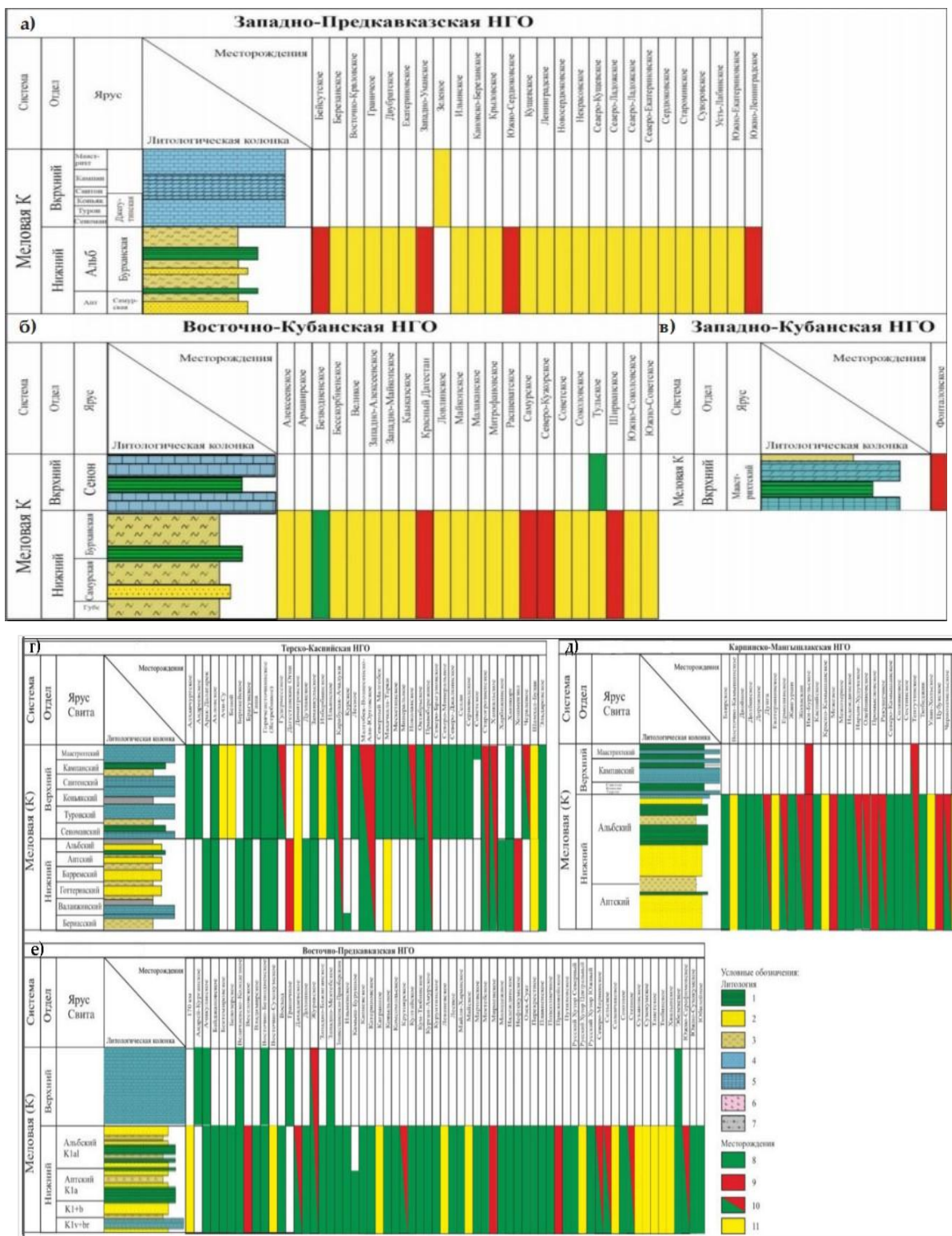


Рис. 11. Месторождения и залежи УВ в меловых отложениях. См. условные обозначения в рис.10 [74].

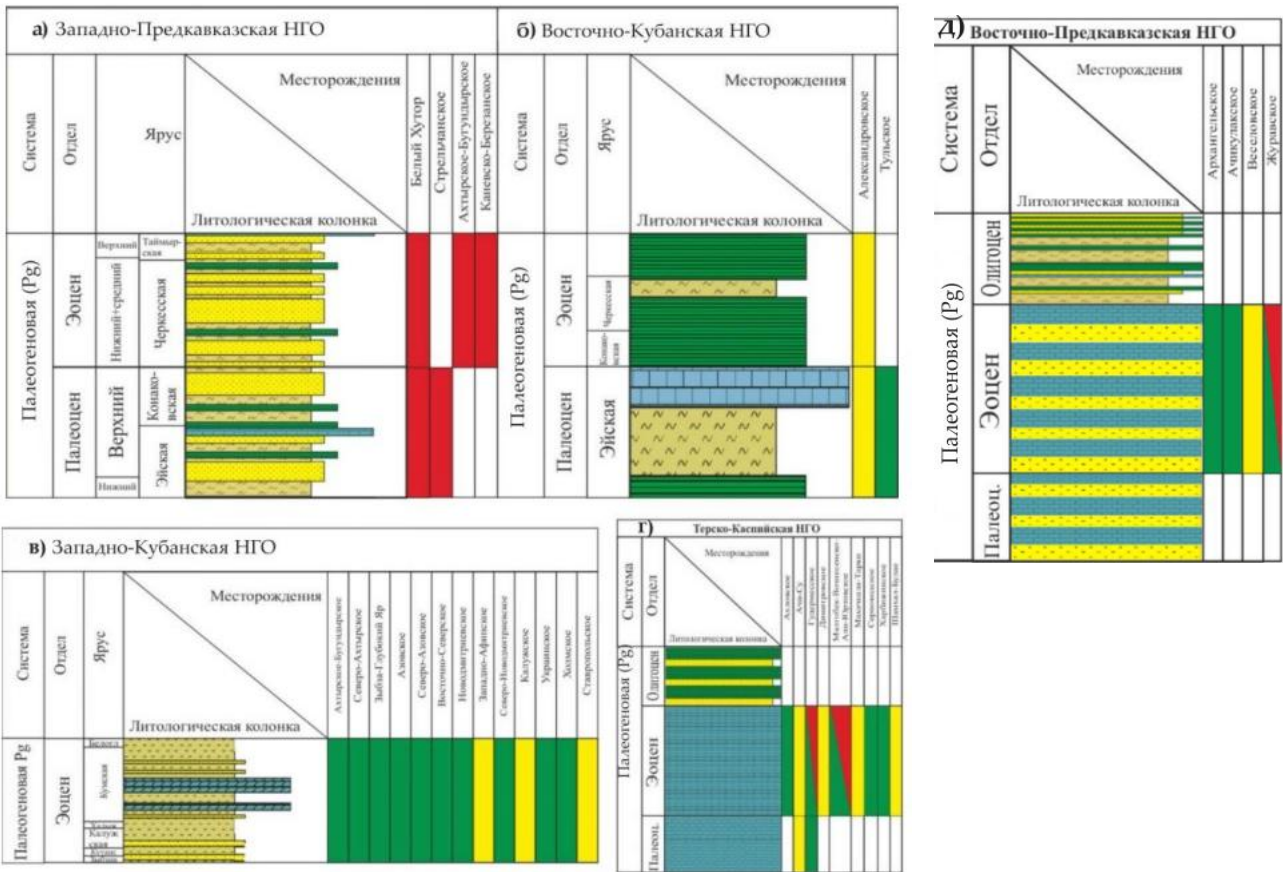
Он развит в восточной части вала Карпинского (Промысловский блок) и отсутствует в его западной части. Для верхней части аптского разреза характерно преобладание песчаных пачек с увеличением глинистости вверх по разрезу. Суммарная мощность аптских отложений составляет 50-150 м. Альбские отложения развиты повсеместно на калмыцких территориях вала Карпинского и ЗМП. Наибольшая их толщина отмечена в Промыловско-Цубукской зоне вала Карпинского. Нижняя часть разреза альбских отложений сложена сравнительно однородной толщей песчаников с отдельными прослоями алевролитов и глин. Верхняя часть альбского разреза представлена чёрными глинами с песчано-алевролитовыми прослоями.

Отложения верхнемелового комплекса испытали частичное размытие, а на отдельных участках вала Карпинского отсутствуют в разрезе полностью. Позднемеловые отложения представлены сеноманскими, турон-коньякскими, сантонскими, кампанскими и маастрихтскими отложениями.

Они характеризуются в целом карбонатным составом пород с отдельными включениями известняково-мергельных и терригенных пластов. Мощность карбонатной толщи в пределах вала Карпинского уменьшается в западном направлении, и карбонатные фации сменяются карбонатно-терригенными. Толщина верхнемеловых отложений на валу Карпинского составляет в среднем 210 м, в Восточно-Манычском прогибе 220 м. Наибольшая толщина выявлена на локальных участках южного склона вала Карпинского и ЗМП (более 650 м) [89].

*Эоценовые отложения* (рис.12) в пределах Кубани, юга Ставрополя, Прикумской зоны сложены светло-серыми, белесыми, плитчатыми мергелями и известняками. Их мощность в районе Ставрополя до 100 м, в Кубанской зоне до 250 м. [103]. В целом в пределах региона выделяются белоглинская, кумская, хадыженская, калужская, кутаисская, зыбзинская свита. Отмеченные свиты представлены мергелистыми глинами и мергелями, песчаниками. Мощность отдела доходит до 630 м. [129]. В равнинном и предгорном Дагестане рассматриваемые отложения характеризуются форамниферовой серией и сложены также мергелями, мергелистыми глинами, глинистыми известняками. Мощность отложений изменяется от 280 м в предгорном Дагестане до 50-70 м в равнинной его части [103].

*Олигоцен* на территории Предкавказья (рис. 13-14) может быть отнесён к нижней части майкопской серии: хадумской и баталпашинской свитам. Свиты сложены буратовато-серой, темно-серой, тонкослоистой глиной, переходящей в буровато-серые мергели с прослоями глины; белесыми известняками или светло-бурными мергелями; карбонатными глинами [103]. Мощность серии от 0 до 300 м, увеличиваясь до 1500-1800 м. на границе с Западно-Кубанским и Керченско-таманским прогибами [129].

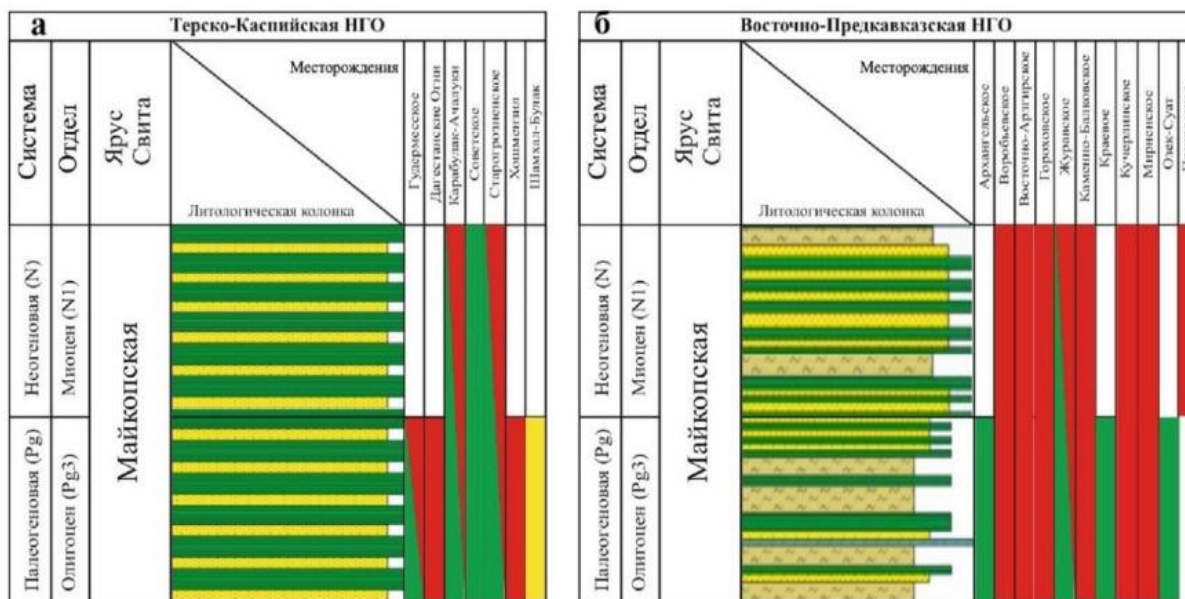


**Рис.12. Месторождения и залежи УВ в палеоценовых и эоценовых отложениях на примере крупных НГО. См. условные обозначения в рис.10. [74].**

На территории Предгорного Дагестана майкопские отложения получили широкое распространение и представлены глинистыми образованиями. Основной их особенностью в данной части региона является существенное колебание мощности. Для всей серии она меняется от 40 до 1900 м. Сокращение мощности происходит в юго-восточном направлении вследствие размыва осадков [103, с.86].

Наиболее полно отложения данного отдела проявляются и в юго-западной части Прикаспийской впадины. Здесь они представлены в Сарпинском мегапрогибе, где их толщина в многочисленных бессолевых мульдах составляет до 3-4 км. [89, с.23].

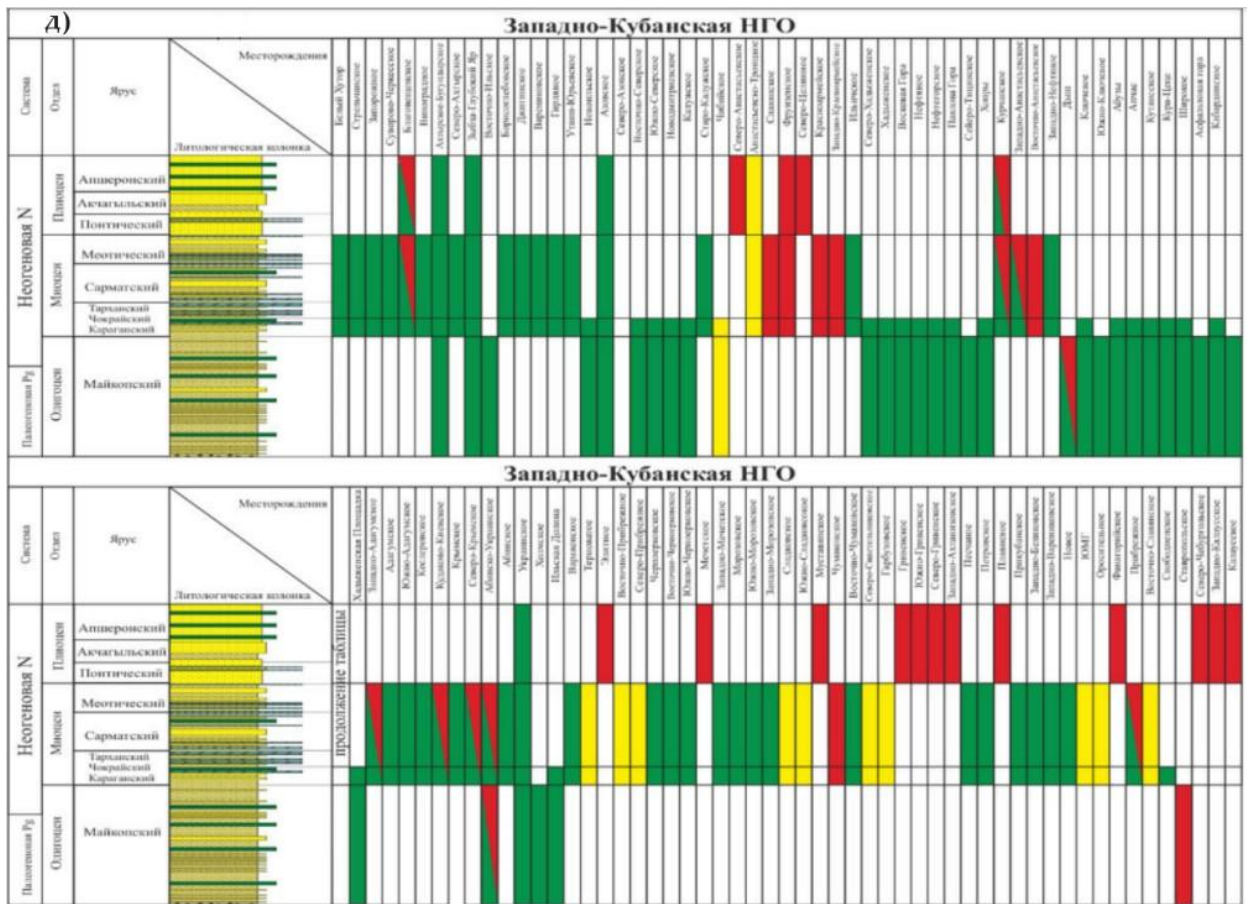
*Миоцен-плиоценовые отложения* (рис.14) представлены преимущественно Тортонским, Сарматским и Меотическим ярусом. Плиоценовые отложения - Понтическим и Киммерийским ярусами. Мощность Тортонского - 100-400 м. Сарматский ярус имеет мощность от 2 до 580 м. Меотический ярус - от 10 до 200 м. В свою очередь, мощность Понтического яруса - 5-100 м., а Киммерийского - 400-250 м. Выделяется также Киммерийско-Куяльницкий ярус.



**Рис. 13. Месторождения и залежи УВ в Терско-Каспийской олигоцен-миоценовом комплексе:** а – в Терско-Каспийской НГО; б – в Восточно-Предкавказской НГО. [71]. См. условные обозначения в рис.10.

Он сложен морскими прибрежными осадками, большое развитие получили песчано-алевролитовые отложения, с прослоями глин. Мощность 150-400 м. Для миоцен-плиоценовых отложений характерны известковистые глины, песчано-алевролиты, глины; глины с редкими прослоями известняка, песчаника, бурого железняка; глины с песчанистыми прослоями, мергели, доломитизированные, трещиноватые, органогенные известняки [129]. В юго-западной части Прикаспийской впадины отложения указанных отделов представлены глинистой толщей, мощность которой достигает в Сарпинском мегапрогибе 570 м. [89, с.23].

На территории Восточного Предкавказья основание разреза слагают конгломераты и пески, обнажающиеся на северных склонах Терско-Сунженского хребта и в глубоких врезках рек. Выше по разрезу залегают галечники, известняки, конгломераты и песчаники. Склоны Терско-Сунженского хребта сложены конгломератами и галечниками, а по мере удаления вглубь впадины – глинами и песками с прослоями мергелей и ракушечников [157]. Для территории Предкавказья значимую роль играют сармат-меотические отложения. Они выступают как водоупор для подземных напорных вод, представленный сплошной толщей глин с редкими прослоями песчаников [101, с. 50].



**Рис. 14** Месторождения и залежи УВ в олигоцен-миоценовых отложениях на примере Западно-Кубанской НГО. См. условные обозначения в рис.10 [74].

*Отложения четвертичного возраста* — это элювиальные, делювиальные, аллювиальные, лессовидно-лиманные отложения [129]. Они развиты на всей территории региона. Например, в Прикаспии, они представлены песками и глинами. Общая мощность четвертичных отложений порядка 200-500 м. В пределах вала Карпинского четвертичные отложения представлены глинистыми и песчаными породами. Наибольшая их толщина отмечена на Промысловской площади вала Карпинского (до 180 м) [89].

Четвертичные отложения равнинной части Восточного Предкавказья представлены мелкозернистыми песками, грубозернистыми песчано-глинистыми породами хвалынского, хазарского и бакинского ярусов. Их мощность может достигать до 400-500 м [101]. Здесь выделяется Апшеронский ярус и верхнечетвертичные аллювиальные отложения. Первый сложен грубозернистыми песчаниками и неотсортированными песками с прослоями серых известковистых глин. Мощность апшеронских отложений колеблется в широких пределах, достигая 350 м (в среднем 90-110 м) как в равнинной части, так и в прогибах и остальной

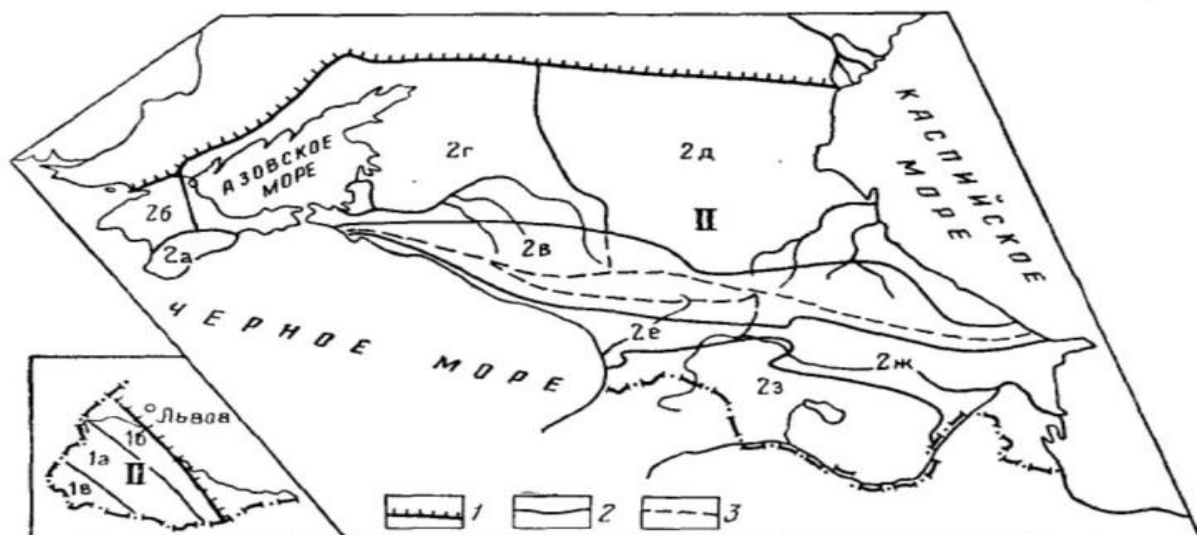
территории. Среднечетвертичные отложения представлены аллювиальными песчано-галечниковыми отложениями р. Сунжа и ее притоков, а также толщей эолово-делювиально-пролювиальных отложений лёссовой формации. Верхнечетвертичные аллювиальные отложения представлены галечниками и песками, слагающими 5 и 4 надпойменные террасы рек Сунжа и Аргун [157], а также 2 и 1 террасу р. Кума мощностью 10-17 м [117].

Четвертичные отложения Западного Предкавказья в типичном строении имеют преимущественно лёссовую структуру. Нижнечетвертичные встречаются в водораздельных равнинах, представлены маломощными суглинками (до 1 м). Среднечетвертичные — это буровато-желтые и буроватые, палевые суглинки в основании, мощностью 0,5-1,8 м. Выше залегает маломощная комковатая глина (0,2-0,5 м). Далее её покрывает слой лёссовидных пород мощностью 5,0-8,4 м [117].

Верхнечетвертичные отложения района подразделяются на три горизонта. Первый (мощностью до 3 м), состоит из погребенных коричнево-бурых черноземновидных и светло-коричневых почв. Второй горизонт (мощностью до 1 м) – бурые почвы с прослоем суглинков (до 0,3 м). Последний горизонт - мощная толща (до 4-8 м) палевых, буровато-желтых лёссовидных образований с современной почвой. Горизонт распространён на водораздельных равнинах [117].

Изучив особенности геологического строения региона, остановимся теперь на гидрогеологических условиях. Согласно существующему гидрогеологическому районированию, территория Северного Кавказа и Предкавказья расположена в пределах 2 крупных артезианских бассейнов – *Восточно-Предкавказского (ВПАБ)*, *Азово-Кубанского бассейна (АКАБ)* (рис.15). Прикаспий в свою очередь приурочен к *Прикаспийскому артезианскому бассейну (ПАБ)*.

*Восточно-Предкавказский (ВПАБ)* вместе с субмаринной частью, входящей в Каспийское море, имеет площадь порядка 250 тыс км.<sup>2</sup> [101]. Гидрогеологический разрез Восточно- Предкавказского артезианского бассейна представлен на рис. 16. Северная его граница проходит по центральной части вала Карпинского, а южная по оси Главного Кавказского Хребта и является частью Средне-Каспийского мегабассейна. В его пределах располагаются гидрогеологические структуры третьего порядка: Терско-Кумский, Алчанхурсткий, Сунжеский, Дагестанский, Кусарский бассейны [47].



**Рис. 15. Схема гидрогеологического районирования Карпатской и Крымско-Кавказской областей:**

**Условные обозначения:** 1 - граница гидрогеологических структур первого порядка; 2 - граница гидрогеологических структур второго порядка; 3 - границы внешних областей питания артезианских бассейнов. 1а - Горные Карпаты, 1б - Предкарпатский артезианский бассейн, 1в - Закарпатский артезианский бассейн, 2а - Горный Крым, 2б - Западно-Крымский артезианский бассейн, 2в - Большой Кавказ, 2г - Азово-Кубанский артезианский бассейн, 2д - Восточно-Предкавказский артезианский бассейн, 2е - Восточно-Черноморский артезианский бассейн, 2ж - Курнынский артезианский бассейн, 2з - Малый Кавказ [47].

Глубина залегания грунтовых вод на большей территории бассейна до 3-5 м в долинах рек, прикаспийских районах, и повышается до 20-30 м и более в районе водоразделов, где распространены спорадически [46-47; 101]. Данные воды располагаются преимущественно в четвертичных отложениях хвалынского и хазарского ярусов, преимущественно песчано-глинистых. Минерализация вод возрастает к району Прикаспия и может достигать до 10, 50 и даже 100 г/л.

Ниже четвертичных отложений залегают напорные воды среднемиоценового и сармат-плиоценового комплекса, сложенные песчано-глинистыми породами, мощностью до 300 м, и до 2000-4000 м в Терско-Каспийском прогибе. Здесь встречаются напорно-безнапорные минерализованные воды в делювии, развитом на майкопских и сарматских глинах. Последние являются повсеместно развитым водоупором [47].



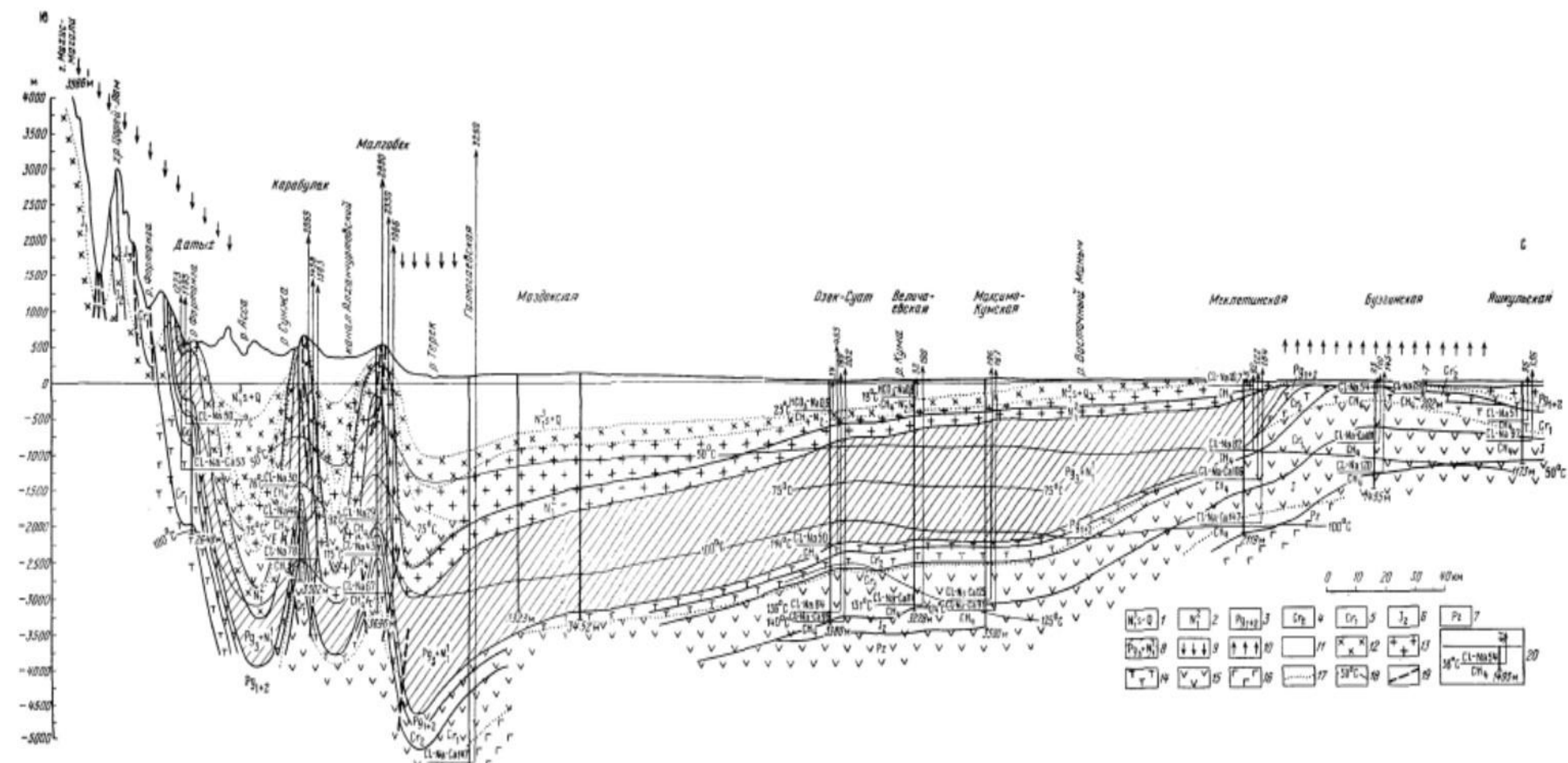


Рис. 16 Гидрогеологический разрез Восточно-Предкавказского артезианского бассейна [47].

**Условные обозначения к рис. 16.** - Водоносные комплексы: 1 сармат, постплиоценовый, преимущественно песчано-глинистая толща с водоупорными глинами нижнего сармата в основании; 2 - среднемиоценовый, песчано-глинистые отложения; 3 - палеоцен-эоценовый, мергели, песчаники, алевролиты, глины; 4 - верхнемеловой, известняки; 5 - нижнемеловой, переслаивание песчаников, алевролитов и глин; 6 - среднеюрский, песчаниково-глинистая толща; 7 - палеозойский, метаморфические породы. Региональный водоупор: 8 - глинистая толща майкопской серии; 9 - область питания; 10 - область разгрузки. Зоны с минерализацией подземных вод, г/л: 11 - до 1; 12 - 1-10; 13 - 10-35; 14 - 35-70; 15 - 70-140; 16 - свыше 140; 17 - границы распространения вод с различной минерализацией; 18 - изотермы; 19 - тектонические нарушения; 20 - буровая скважина (обобщённые данные). Цифры означают: слева - температура воды, в числителе состав и минерализация воды в г/л; в знаменателе - основной компонент газового состава; справа - вверху - абсолютная отметка пьезометрического напора, внизу - глубина забоя, м. [47].

Отдельный интерес представляет Терско-Кумский бассейн так как большая его часть располагается в пределах Восточно-Предкавказской и части Терско-Каспийской НГО.

*Терско-Кумский бассейн (ТКАБ)* занимает территории Терско-Кумского междуречья, левого берега р. Кумы, правого берега р. Терек. [47]. В его пределах выделяется 3 структурно-гидрогеологических этажа: мезозойский, миоценовый, плиоцен-четвертичный.

Этажи разделены между собой водоупорными толщами глинистых отложений майкопского и сарматского возраста. Мезозойский этаж вскрыт на глубинах от 3 до 5,5 тыс м. на нефтегазовых месторождениях Прикумской зоны поднятий, Ставропольском поднятии. В связи с достаточно глубоким залеганием вод данного комплекса и перекрытом региональным водоупором считаем возможным подробно на нем не останавливаться. Водоносные горизонты данного этажа изолированы между собой глинистыми толщами. Минерализация вод находится в пределах от 30 до 160 г/л. Температура вод может достигать 200 °С, хотя средние значения находятся в пределах 160-180 °С. Воды карбонатного состава.

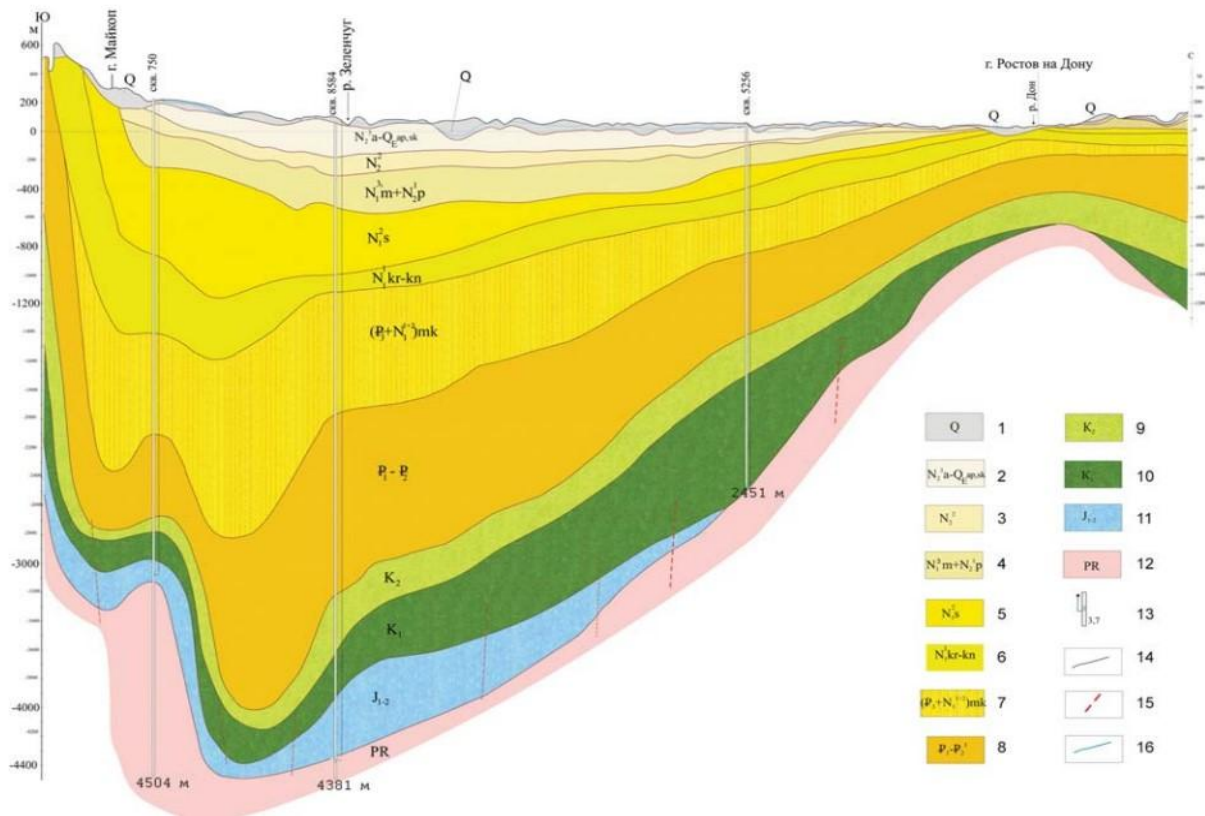
Миоценовый этаж представлен верхнемайкопским, чокракским, караганским горизонтом. Водоносные пласты образованы высокопроницаемыми мелкозернистыми и среднезернистыми песчаниками. Глубина залегания от 600-700 м на севере до 3500-4000 м в осевой части Терско-Сулакского прогиба. Чокракский горизонт в Восточном Предкавказье распространён повсеместно, только ближе к северу бассейна переходит в чокракско-караганский. В среднемиоценовых отложениях водоносными являются мощные пласты высокопроницаемых мелко и среднезернистых песчаников с высокой водообильностью. Воды

хлоридно-гидрокарбонатные, хлоридно-натриевые, со средней температурой от 88 до 105 °С, минерализацией 5г/л. [101].

Плиоцен-четвертичный этаж также развит повсеместно. Основные водоносные горизонты плиоценовых отложений представлены мощными песчаными пластами акчагыльского и апшеронского яруса. *Акчагыльский горизонт* образован песчано-глинистыми и песчано-галечниковыми пластами. Средняя мощность 300-350 м. Значительное количество песчаных пластов имеет мощность от 2 до 20 м. располагается на глубине от 150-200 м (район Сухая Кума-Артезиан) до 1200-1400 м (в Предгорьях). Минерализация 1-1,2 г/л. *Апшеронский горизонт* - представлен нижней глинистой и верхней преимущественно песчаной толщами. Мощность отложений 900-1000 м (Аксай), 520 м (Караман), 270 м (Артезиан). Залегает на глубине от 50-200 м (Прикумск-Артезиан), до 800-1000 м (линия Главсулак-Степное). В среднем вскрыт на глубине 140-160 м. Коэффициент фильтрации пластов 3-16 м/сут. Воды гидрокарбонатные, пресные со средней минерализацией 0,7-1,0 г/л. Температура изменяется от 25 до 55 °С. [101].

*Водоносные горизонты четвертичных отложений* в целом представлены мелкозернистыми песками, грубозернистыми песчано-галечными отложениями хвалынского, хазарского и бакинского яруса. Общая мощность горизонтов до 400-500 м. Хазарский и хвалынский горизонт в свою очередь имеют мощность от 10 до 280 м, и от 15 до 80 м [101] соответственно. Данные горизонты менее водообильны. Значительные диапазоны мощностей обусловлены наличием песчано-галечниковых отложений. Коэффициент фильтрации аллювиальных отложений верхнего плейстоцена оценивается в 150 м<sup>2</sup> /сут., нижнего плейстоцена - 50 м<sup>2</sup> /сут. Мощность толщи песчаников достигает 250 м. Минерализация вод комплекса чаще всего составляет 0,5-0,6 г/л. Отложения бакинского яруса сложены мелкозернистыми песками мощностью около 100 м с линзовидными прослоями глин [157].

*Азово-Кубанский бассейн (АКАБ)* (рис.17) включает в себя ряд более малых бассейнов: Индольский, Егорлыкский, Невинномысский, Керченско-Таманский [47]. Занимает западную часть Скифской плиты. Грунтовые воды располагаются в аллювиальных отложениях р. Кубань и Дон, в суглинистых грунтах, на глубинах 1-6 м. На остальной территории грунтовые воды лежат в среднем на глубинах 5-60 м. Область питания артезианского бассейна на юге приурочена к передовым хребтам Кавказа и Ставропольскому поднятию. Региональными дренами для подземных вод являются реки Кубань, Дон, Маныч. Минерализация вод бассейна - 0,3-0,5 г/л. [16; 47].



**Рис.17. Гидрогеологический разрез Азово-Кубанского артезианского бассейна:**

1—6, 8, 9 — водоносные комплексы: 1 — четвертичный (суглинки, супеси, пески с прослоями гравия и гальки), 2 — верхнеплиоцен-эоплейстоценовый (переслаивание песков и глин), 3 — среднеплиоценовый (пески, пески с прослоями глин), 4 — верхнемиоцен-нижнеплиоценовый (известняки, переслаивание песков с известняками, пески с прослоями глин), 5 — среднемиоценовый (разнозернистые пески, известняки, глины), 6 — нижнемиоценовый (глины с прослоями известняков и песков), 8 — палеоцен-эоценовый (прослойки песков, песчаников, алевро-литов, реже известняки и мергели среди глин), 9 — верхнемеловой (пески, мергели, песчаники, известняки); 7 — водоупорная толща майкопской серии (глины с редкими прослоями и линзами песков, песчаников, алевролитов); 10—11 — слабоводоносные комплексы: 10 — нижнемеловой (доломитизированные известняки, пески, песчаники в толще глин), 11 — ниже-среднеюрский (песчано-глинистые сланцы); 12 — коренные породы складчатого основания; 13 — скважины (стрелка — высота напора); 14 — границы между гидрогеологическими таксонами; 15 — разломы (предполагаемые); 16 — пьезометрический уровень [16].

Ниже располагаются водоносные горизонты неоген-четвертичного этажа, в пределах которого выделяются плиоцен-меотический и сармат-среднемиоценовый комплексы, которые сложены песками, песчаниками, алевролитами, известняками. Между собой комплексы разделяются сарматской толщей глин, мощностью от 5 до 250 м. В целом для АКАБ региональным водоупором являются отложения майкопской серии (мощность в северной части до 100 м, южной до 1000-1200 м). Минерализация вод колеблется в пределах от 0,4 до 4 г/л и имеют сульфатно-хлоридный, хлоридный состав. Стоит отметить, что в Западно-Кубанском прогибе из-за гидродинамических аномалий (значительное уплотнение глинистой толщи) напор вод в сарматских отложениях значительно превышает отметки областей выходов этих отложений, что может говорить о их восходящей миграции. Данный тип разгрузки в вышележащие горизонты характерен в регионе именно для Азово-Кубанского бассейна [47].

*Прикаспийский артезианский бассейн (ПАБ)* каспийского гидрогеологического района. На данной территории выделяются: подсолевой гидрогеологический этаж, представленный палеозойскими карбонатно-терригенными породами; солевой гидрогеологический этаж и надсолевой этаж, представленные триасовыми, юрскими, меловыми водоносными комплексами верхнего надсолевого палеозоя и мезозоя. Схематический геологический разрез плейстоцена территории Северо-Западного Прикаспия и выделенные типы геофильтрационного строения представлены на рис. 18 и 19.

Подземные воды на территории Северо-Западного Прикаспия относятся к *апшеронским и акчагыльским* песчаным отложениям. Залегают между наиболее выдержанных в пределах артезианского бассейна слабопроницаемых толщ глин до 300 м мощностью. Воды перекрыты отложениями плейстоцена и их связь с поверхностью затруднена. По химическому составу воды прикаспийского артезианского бассейна солёные и рассольные. Минерализация от 5-50 г/л до 300 г/л. Подземные воды плейстоцена в вертикальном разрезе новейшего гидрогеологического этажа приурочены к первой от поверхности песчано-глинистой толще верхнего и среднего плейстоцена мощностью до 70 м. Зона аэрация представлена песками. Глубина залегания грунтовых вод варьируется менее одного и до десяти метров главным образом на глубине 3-5 м или до 3 м. Глубина привязана к речным долинам [50].

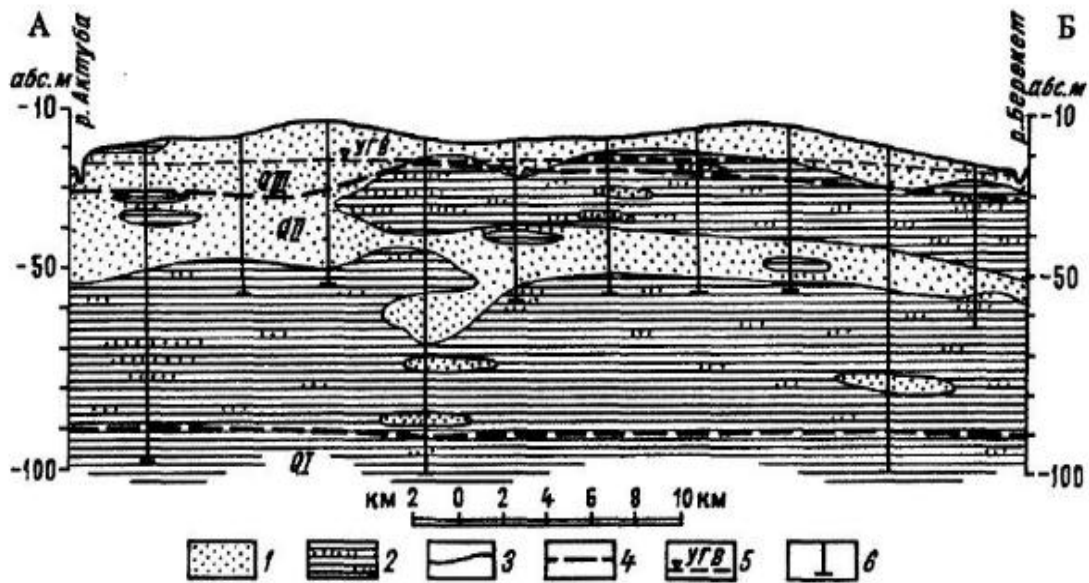


Рис. 18 Схематический геологический разрез плейстоцена территории Северо-Западного Прикаспия: 1 - пески, 2 - глины, 3- литологические границы, 4 - стратиграфические границы, 5 - свободная поверхность подземного потока, 6 - скважины [50].

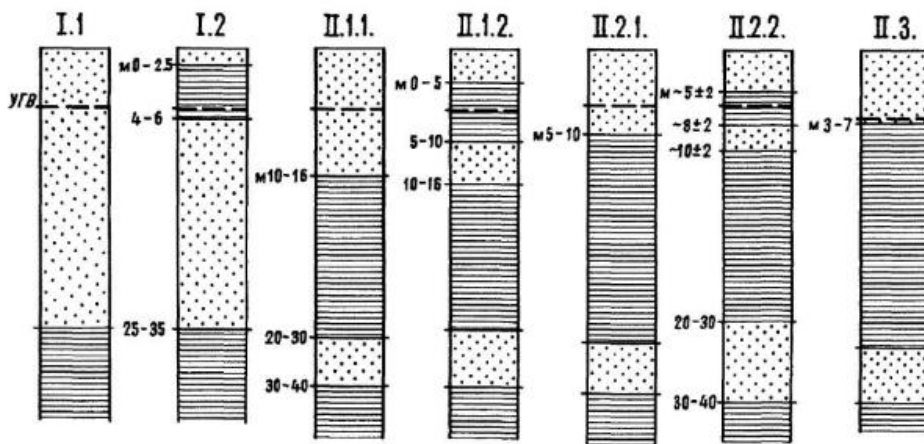


Рис.19. Разрезы водоносного комплекса плейстоцена Северо-Западного Прикаспия, характеризующие типичные условия его литолого-геофильтрационного строения [50].

Водоносный комплекс четвертичных отложений состоит из водоносных песчаных и слабопроницаемых глинистых пластов. Зона аэрации сложена хволынскими отложениями и преимущественно песчаная. Мощность глинистых отложений в водоносном комплексе 15 и более метров [128]. Подошвой комплекса являются плотные бакинские и апшеронские глины мощностью до 200 м. Они исключают связь четвертичного комплекса с нижележащими водами. В низах бакинских глин встречаются песчаные линзы до 10-15 м мощностью, имеющие воды минерализованного хлоридно-натриевого состава. Кровля бакинских глин залегает на глубине от 27 до 59 м. Их мощность 50-80 м. Глины имеют низкую водопроницаемость и коэффициент фильтрации не превышает 0,001 – 0,005 м/сут. [128], что может свидетельствовать о их высоком потенциале в минимизации риска загрязнения подземных вод нефтью и нефтепродуктами. Так как многие воды в регионе используются для питьевых и различных хозяйственных целей это играет существенную роль.

### **3.3. Научно-методические основы оценки устойчивости геологической среды региона к нефтяному загрязнению.**

Прежде чем перейти к вопросам устойчивости геологической среды к химическим загрязнениям следует определиться с используемыми в данном исследовании терминами, дабы избежать в последующем неточностей.

**Геологическая среда** - верхняя часть литосферы, представляющая собой многокомпонентную динамическую систему: горные породы, подземные воды, газы, физические поля (По СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения»).

**Грунт** - любая горная порода, почва, осадок и техногенные минеральные образования, рассматриваемые как многокомпонентные динамические системы и часть геологической среды, изучаемые в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью (По ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация»).

**Зона аэрации** - толща неводонасыщенного грунта, расположенная над свободной поверхностью потока подземных вод и капиллярной каймой (По ГОСТ 23278-2014 «Грунты. Методы полевых испытаний проницаемости»).

Теперь перейдём непосредственно к понятию устойчивости. Не ставя целью подробной анализ существующих определений отметим, на наш взгляд, наиболее важные моменты. Прежде всего, если его рассматривать применительно к природной среде, то смысловая нагрузка сводится к тому, что среда не утрачивает свои качества, свойства и функции на протяжении длительного времени при давлении (воздействии) на неё. Геологическая среда здесь не является исключением. В отношении понимания её устойчивости можно выделить ряд родственных подходов. Например, В.Д. Ломтадзе (1985) называет устойчивой геосреду, в которой геологические процессы и явления по своей интенсивности и масштабам не превышают предельно допустимого уровня [98]. Согласно Т.И. Аверкиной (1994), устойчивость геологической среды подразумевает её способность противостоять конкретному воздействию [2]. С позиции Г.К. Бондарика (1984) понятие «устойчивость» отражает способность среды подавлять внешние импульсы и сохранять свои функции на протяжении длительного времени. При этом необходимо определять границы допустимых изменений среды, чтобы определить пределы устойчивости [44]. Е.М. Сергеев с соавторами (1985) увязывают устойчивость геосреды со степенью развития экзогенных геологических процессов [152]. Схожую точку зрения высказывает и Г.И. Рудько (1990). Он приходит к выводу, что устойчивость геосреды напрямую зависит от развития геологических процессов, способных нарушить равновесие системы и тем самым привести к негативным последствиям для человека [44].

Рассмотренные понятия устойчивости геосреды прежде всего обусловлены задачами инженерной геологии, что в определённой степени справедливо. Однако впоследствии именно данные подходы заложили основу для понимания устойчивости геосреды уже исходя из потребностей геоэкологии. Наиболее полно такая формулировка устойчивости геосреды отражена в работах 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* [154]. Близкое по смыслу определение можно обнаружить и в работе Л.А. Строковой (1997): «Устойчивость геологической среды понимается как способность массива горных пород сопротивляться внешним воздействиям без перехода в новое качество, без проявления нежелательных инженерно-геологических процессов и явлений, опасных для эксплуатации объектов, окружающей среды» [149, с.23].

Как можно заметить, рассмотрение понятия устойчивости взаимосвязано и с такими определениями как «уязвимость» и «чувствительность» среды. Первое включает в себя



степень зависимости системы от техногенного воздействия, неспособность противостоять ему. Второе - связано с глубиной изменений, происходящих в системе (среде), характером последствий. Несмотря на широкое использование обозначенных характеристик среды, в смысловом плане, обнаруживается неоднозначность трактовок. Например, уязвимость и чувствительность могут рассматриваться как антонимы по отношению к устойчивости, т.е. чем больше степень уязвимости или чувствительности, тем меньше устойчивость и наоборот. С другой стороны они могут пониматься и как самостоятельные критерии. Так, для оценки влияния нефтяного загрязнения на морские побережья используется индекс экологической чувствительности, отражающий потенциальную чувствительность морского побережья к нефтезагрязнению. При его определении учитываются степень защищенности берега от волнового воздействия, скорость миграции нефти, время естественного удержания нефти, биологическая продуктивность микроорганизмов [75]. В инженерной геологии Г.К. Бондариком предложен термин «чувствительность геологической среды», под которым понимается степень способности реагировать на внешние воздействия [44]. Уязвимость как самостоятельный показатель выступает в качестве меры степени опасности разрушения функциональных связей между компонентами среды, обеспечивающих ее целостность. Вместе с тем, при рассмотрении техногенного воздействия на подземные воды может выступать как синоним чувствительности. При данном подходе, уязвимость будет отражать лишь физические и биохимические свойства водоносного горизонта для транспортировки загрязняющих веществ с поверхности и нижележащие слои [75]. С нашей точки зрения все описываемые показатели взаимодополняющие, при этом уязвимость и/ или чувствительность среды говорят о характере устойчивости.

Из совокупности оценок и подходов можно заключить, что если рассматривать устойчивость геосреды с позиции её загрязнения, то она реализуется посредством сопротивления, ассимилирования поллютанта, что позволяет нивелировать токсический эффект или не нарушать функционирование геосреды. 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 [75]. 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 предполагать, что чем выше степень устойчивости, тем сильнее потенциал самоочищения у среды. Таким образом, устойчивость геологической среды можно рассматривать как интегральный показатель уровня

*естественной сопротивляемости геологической среды техногенному воздействию с позиции ее самосохранения и самовосстановления.*

Подчеркнём, что сама устойчивость может рассматриваться с разных сторон: инженерно-технической, геологической, физико-механической, химической, биологической и т.д. Если же брать во внимание нефтедобычу, то её воздействие проявляется главным образом в отношении изменения напряжённого состояния массива, изменения гидрогеологических условий, оседания земной поверхности, загрязнения грунтов и подземных вод [70].

*Оседание земной поверхности* связано с падением внутрипластового давления, которое возникает при откачке нефти и других углеводородов. Оно же сказывается и на изменении напряжённого состояния массива. Само оседание проходит «обычно очень плавно», так как извлечение нефтяных флюидов неодномоментно, «охватывает большие площади, но имеет меньшую вертикальную амплитуду и поэтому мало заметно» [85].

*Изменение гидрогеологических условий* происходит вследствие «замещения нефти водой, усиления водообмена, образования новых водоносных горизонтов, смещения потока вод, изменения уровней, уклонов, скорости движения воды, химического состава и температуры подземных вод» [85].

*Загрязнение грунтов и подземных вод* в работе было рассмотрено ранее. В дополнение к описанному обозначим общую схему загрязнения: загрязнитель аккумулируется в почвах, затем за счёт атмосферных осадков мигрирует в зону аэрации, из которой потом попадает в подземные воды и при их разгрузке в поверхностные водные объекты.

При рассмотрении загрязнения геологической среды нефтью и нефтепродуктами необходимо иметь в виду, что загрязнители аккумулируются не только в самой почве или формируют линзу над подземными водами, но и сорбируются в частицах пород, расположенных в зоне аэрации. На это влияет ряд факторов: концентрация, скорость, длительность поступления нефти в грунтовый массив, а также, литологические, фильтрационные и гидрогеологические особенности среды. Например, известно, что у крупнозернистых песков сорбционная ёмкость – 3500 мг/кг, у глин – 175000 мг/кг [100].

Относительно глубины проникновения нефти и нефтепродуктов в грунты необходимо указать, что в настоящее время глубинное нефтяное загрязнение исследователями не фиксируется, так как по своему смыслу не может считаться загрязнением, а представляет собой естественную (природную) миграцию, генерацию флюидов. Как отмечается в работе [125] глубина просачивания нефти и её продуктов может достигать в поверхностном слое 5-15 см., а в некоторых случаях доходить до двух метров [57].

В аридных экосистемах Предкавказья, например, наиболее часто встречается поверхностное загрязнение нефтепродуктами (в количестве от 1 до 10% от массы почвы) [77].

Между тем встречаются данные, что в почвах, сложенных песками, супесями или при наличии трещиноватых пород глубина загрязнения может достигать до 8,5 м [41]. Так же имеются исследования, показывающие, что загрязнение нефтью и нефтепродуктами доходит до глубин 24-31 м (Грозненский нефтяной район) [157]. Таким образом, наиболее распространено поверхностное загрязнение до глубины 10-20 м.

В целом, если анализировать особенности проникновения нефти и нефтепродуктов в грунты, то они напрямую зависят от *мощности пород зоны аэрации и литологического её строения*. В рассматриваемом регионе особенности данной зоны отражены в табл. 9 (составлена на основе - Карта зоны аэрации СССР м. 1:5 000 000 (н.ред. Н.В. Роговская, А.Я. Сыровакшина, А.А. Комарова), ВСЕГИНГЕО, 1983 г.).

Анализируя данную таблицу, можно выделить следующее: очевидная маломощность зоны аэрации в поймах рек, связана с выходом грунтовых вод или же с их близким залеганием к поверхности; наибольшую мощность зона аэрации имеет в районе 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.

Грунтовые воды, как можно обратить внимание, залегают на глубинах от первых метров до 10 м (лощины, балки, речные долины и т.п.), от 10 до 20, местами 30 м (на равнинах). В частности, в Приазовье - от 10 до 25 м (на водоразделах), от 5 до 25 м (на склонах долин), от 3 до 5 м (в поймах). На равнинах Восточного Предкавказья - близко к поверхности (в долинах р. Кума и Терек) и более 30-50 м в остальной части; в Терско-Сунженском низгогорье - от 1 до 13 м (в долине р. Терек) [46]. Отметим также, что в Восточном Предкавказье грунтовые воды в ряде областей имеют спорадическое распространение. Однако, ввиду того, что отсутствие грунтовых вод носит сугубо локальный характер, при региональной оценке устойчивости данный фактор является малозначимым.

Таблица 9. Мощность и строение зоны аэрации.

Область	Общая мощность пород зоны аэрации (м)					
	Пойменный рельеф		Равнинный рельеф		Предгорный рельеф	
	Азово-Кубанский бассейн					
	Мощность	Строение пород	Мощность	Строение пород	Мощность	Строение пород
Индо-кубанский суббассейн	0 - 3,0; 0-5,0.	Покровные суглинки Маломощные суглинки (тяжёлые и средние) Палевые суглинки	0-10,0.	Суглинки (тяжёлые и средние) и лёгкие глины Маломощные суглинки палевые суглинки	0-20,0. 0-50,0 и более	Глины с прослоями крупнозернистых песков и галечника
Западно-Предкавказская НГО	0 - 3,0.	Пески, супеси, маломощные суглинки	0-10,0. 0-20,0.	Лессовидные суглинки, супеси и глинистые пески.	-	-
Восточно-Кубанская НГО	0-5,0.	Пески, супеси, маломощные суглинки	0-10,0	Лессовидные суглинки, супеси и глинистые пески.	0-20,0. 0-50,0	Глины с прослоями крупнозернистых песков и галечника
Терско-Каспийский бассейн						
Восточно-Предкавказская НГО	0 - 3,0.	Пески, супеси, маломощные суглинки	0-10,0; 0-20,0. 0-50 и более	Средне и мелкозернистыми пески пористые, рыхлые лессовидные суглинки, с переходом в песчано-гравийные отложения с примесями гальки и прослоями глин.	0-20,0.	Глины с прослоями крупнозернистых песков и галечника
Терско-Каспийская НГО	0 - 5,0.	Пески, супеси, маломощные суглинки	0-20,0. 0-50 и более	Лессовидные суглинки, супеси и глинистые пески. Пески гравийные.	0-20,0; 0-50,0 и более	Глины с прослоями крупнозернистых песков и галечника Лессовидные суглинки, супеси и глинистые пески. Пески.

Рассмотрим теперь некоторые важные свойства грунтов, влияющие на инфильтрацию: коэффициент фильтрации, водопроницаемость, нефтеемкость или сорбционная ёмкость (табл. 10. (составлена на основе материалов ГОСТ 25100-2020. «Грунты. Классификация»; [14]; [82])). Данные показатели, согласно Г.К. Бондарьку (2007), влияют на устойчивость геологической среды в зоне аэрации при поступлении в неё нефти и нефтепродуктов [22]. Способность к сорбции описывается В.М. Гольдбергом (1984). Задерживание углеводородов зависит от

свободного объёма капилляров. Причём, чем выше влажность грунта, тем ниже его способность сорбировать, так как значительный объем пор заполнен водой [48]. Указанные показатели учитываются и Н.Н. Бракоренко (2015) при оценке устойчивости геосреды относительно углеводородного загрязнения, в частности нефтепродуктами [23].

**Таблица 10. Некоторые свойства грунтов, влияющие на инфильтрацию загрязнения**

Тип грунта	Коэффициент фильтрации (м/с) (по Н.Н. Маслову)	Водопроницаемость (по ГОСТ 25100-2020)	Сорбционная ёмкость (л/м <sup>3</sup> ) (по В.А. Королеву)
Песок крупнозернистый, гравелистый	Более 50	Сильноводопроницаемый или очень сильноводопроницаемый	15
Песок среднезернистый	До 50	Сильноводопроницаемый	25
Песок мелкозернистый	До 5	Водопроницаемый или сильноводопроницаемый	25
Песок пылеватый	До 5	Водопроницаемый	25
Супесь	До 0,5	Слабоводопроницаемый или водопроницаемый	25
Суглинки	до $5 \cdot 10^{-5}$	Слабоводопроницаемый или водопроницаемый	40
Глинистый	Менее $5 \cdot 10^{-5}$	Водонепроницаемый	40
Нетрещиноватые песчаники	до $5 \cdot 10^{-5}$	Водонепроницаемый	-
Слаботрещиноватые глинистые сланцы, песчаники, известняки	До 0,5	Слабоводопроницаемый или водопроницаемый	-

Анализируя табл. 10 можно сделать выводы, что наиболее устойчивыми являются глинистые грунты, наименее - песчаные, при этом видна их зависимость от гранулометрического состава.

Устойчивость геологической среды сопряжена кроме всего прочего с типом почв, располагаемых над зоной аэрацией, так как характеристики различных почв приводят и к разнице в сорбции поллютанта. Устойчивость почв к нефтяному загрязнению в рассматриваемых областях изучается в ряде работ. Например, С.И. Колесников с соавторами (2018) изучая почвы Приазовья, установили следующий ряд устойчивости: луговая почва  $\geq$  чернозем обыкновенный  $\geq$  лугово-болотная почва  $\geq$  чернозем обыкновенный (североприазовский)  $>$  темно-каштановая солонцеватая почва  $\geq$  солончак гидроморфный маршевый  $>$  солончак гидроморфный соровый = рисовая почва  $\geq$  чернозем южный (Крым)  $\geq$  Чернозем южный (Тамань). Построение последовательности основано на изменении биологических свойств почвы (общая численность бактерий, активность каталазы и дегидрогеназы, обилие бактерий *Azotobacter*, фитотоксические свойства), влияющих на

способность к разложению нефти, при 1,5,10% нефтяном загрязнении от массы сухой почвы. Указанные концентрации обусловлены наиболее часто фиксируемой степенью загрязнения при нефтедобыче и транспортировании [118], чтобы было отмечено ранее. В рамках нашего исследования эта последовательность имеет интерес не только исходя из выделенных параметров, но и в связи с тем, что изучаемые почвы распространены в районах Индоло-Кубанского суббассейна и Западно-Предкавказской НГО.

Похожие исследования, проводимые Р.М. Даудом с соавторами (2021) в отношении почв как Предкавказья, так и Северо-Западного Прикаспия позволили выделить ряды устойчивости как к сырой нефти, так и нефтепродуктам. При этом учитывались аналогичные биологические показатели и сорбционные свойства почвы. В отношении нефти и мазута почвы образуют следующий ряд: чернозем обыкновенный  $\geq$  темно-каштановые почвы  $\geq$  каштановые почвы  $\geq$  светло-каштановые  $>$  песчаные почвы  $\geq$  бурые полупустынные  $>$  солонцы полупустынные  $>$  солончаки гидроморфные. По отношению к бензину (легкий углеводород): чернозем обыкновенный  $>$  каштановые почвы  $>$  темно-каштановые почвы  $\geq$  светло-каштановые  $\geq$  песчаные почвы  $\geq$  солонцы полупустынные  $>$  бурые полупустынные  $>$  солончаки гидроморфные [60]. В этих рядах мы уже наблюдаем почвы, встречающиеся на территориях Восточно-Предкавказской НГО, Терско-Каспийской НГО, Восточно-Кубанской НГО.

Интерес также вызывает работа Д.И. Мощенко (2023). Автором на основе анализа влияние нефти на почвы Центрального Предкавказья и северного склона Кавказа определены ранги их устойчивости: чернозем обыкновенный = чернозем типичный (горный) = горно-луговая (степная)  $\geq$  чернозем выщелоченный (горный) = чернозем оподзоленный (горный)  $\geq$  горно-луговая дерново-горфянистая  $\geq$  дерново-карбонатная = темно-серая лесная  $>$  бурая лесная  $\geq$  горно-луговая дерновая = горно-луговая [110].

Можно заметить, что такие почвы как луговая, чернозем обыкновенный, черноземы горные, лугово-болотная почва, горно-луговая степная, темно-каштановая, каштановая, светло-каштановая наиболее устойчивы к нефтезагрязнению, в силу своих биологических свойств. 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 оструктуренности.

При оценке устойчивости геосреды к химическим (нефтяным) воздействиям важно учитывать не только выше отмечаемые особенности, но также *относительную защищенность подземных вод*. Если нефть или её продукты в итоге попадают в подземные воды, используемые для различных хозяйственных нужд, то это создаёт определённую степень риска.

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, прежде всего, 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. На данное обстоятельство указывает, в частности, В.М. Гольдберг (1984). 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 [48].

Для оценки же степени защищенности вод наиболее простой методикой представляется методика Н.В. Роговской (1976), отражённая в табл. 11 [138].

Из вышеуказанного следует, что при нефтяном загрязнении необходимо учитывать как защищенность или уязвимость грунтовых вод, так и напорных вод. Поэтому, считаем целесообразным выделить в рамках исследования нижележащий водоносный комплекс, что позволит более полно рассмотреть вопрос устойчивости. Таким комплексом в изучаемом регионе выступают воды верхнеплиолиоценовых отложений, приуроченные к апшеронскому и акчагыльскому ярусу [45].

**Таблица 11. Условные категории защищенности подземных вод при химическом загрязнении.**

Категория защищенности	Грунтовые воды			Напорные воды
	Мощность выдержанных водоупорных слоев зоны аэрации, м			Мощность глин первого от поверхности выдержанного водоупора
	Глины	Суглинки	Чередование глин и суглинков	
Защищенные	>10	>10	> (5 глин +50 суглинки)	> 10
Условно защищенные	3–10	30–100	< (5+50) или > (1,5+15)	3–10
Незащищенные	<3	<30	< (1,5+15)	>3

Верхнем их водоупором в Западном Предкавказье являются скифские глины мощностью до 50 м. Они отделяют горизонт от четвертичных суглинков, песков, выступают локальным 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 [80]. Нижним водоупором выступают глины надпонтической свиты (сарматские). В данной части региона также выделяются воды среднего плиоцена, заключённые между глинистыми толщами скифского и киммерийского яруса [45].

В Восточном Предкавказье напорные воды лежат в надмайкомпском водоносном этаже, в комплексах апшеронского и агчагыльского яруса. Первый залегает на глубинах от 100 до 300 м. Он представлен на большей части территории песками, песчаниками рыхлыми с прослоями песчанистых глин и конгломератов [157], залегающих в толще слабоводопроницаемых суглинков и глин, являющихся водоупорами. Воды агчагыльского 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, в пределах впадин) 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) [45].

Таким образом, изучение геологической среды определяется средней или наиболее часто встречаемой глубиной добываемой нефти. Однако при изучении нефтяного загрязнения граница сдвигается до глубины залегания региональных водоупоров, а иногда и локальных, являющихся надёжными естественным геохимическим барьерами. Так же при анализе устойчивости геологической среды не последнюю роль играет глубина миграции нефти и её продуктов, устойчивость почв к нефтяному загрязнению. Как бы хорошо не были бы изучены ранее описываемые критерии, мы намеренно подчёркиваем их в данной работе, тем самым отмечая их значимость.

От условий, которые влияют на устойчивость геосреды теперь следует перейти к проведению ее оценки для изучаемых областей. Единый или комплексный методический подход в данном случае отсутствует, ввиду многообразия природных условий и задач, для которых определяется устойчивость. Решить данную проблему пытались М.К. Абсаметов с соавторами (2017) в части разработки общей модели автоматизированной экспертной оценки геологической среды, загрязненной нефтепродуктами. В ней учитывались различные физико-химические и механические свойства грунтов, грунтовых вод, рельефа. Между тем, устойчивость самого типа почв, относительная защищенность нижележащего водоносного горизонта при экспертной оценке не нашли своего должного отражения [1], что лишь



подтверждает тезис о том, что определение устойчивости не может происходить по абсолютно одинаковым формам.

Несмотря на данное обстоятельство, сложившиеся практики позволяют представить следующий примерный алгоритм при оценке устойчивости геосреды:

1. Определить критерии для конкретного типа воздействия (табл. 12).
2. На основе анализа критериев с помощью простейшего метода балльных оценок (качественный метод) проранжировать их, с целью дифференциации условий (табл.13-16). При этом критерию, который может быть связан с низкой устойчивостью даётся наименьший балл (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. 17).
4. Провести типизацию территории (табл. 19), 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 12. Основные критерии устойчивости геологической среды к нефтяному загрязнению региона.**

№	Критерий	Предполагаемая градация степени устойчивости		
		Высокая	Средняя	Низкая
1	Морфология рельефа	Предгорный	Равнинный	Пойменный
2.	Степень защищенности грунтовых вод	Защищенные	Условно защищенные	Незащищенные
3	Степень защищенности подземных вод нижележащего водоносного комплекса	Относительно защищены	Условно защищены	Относительно незащищены

4	Тип почв	Луговые, чернозем обыкновенный, черноземы горные, лугово-болотные, темно-каштановые, каштановые, светло-каштановые.	Солончаки полупустынные, темно-каштановые солонцеватые, 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
---	----------	---	---	--

**Таблица 13. Ранжирование по преобладающей форме рельефа.**

Форма рельефа	Предгорный	Равнинный	Пойменный
Балл	3	2	1

**Таблица 14. Ранжирование по степени защищенности грунтовых вод.**

Степень защищенности грунтовых вод	Защищенные	Условно защищенные	Незащищенные
Балл	3	2	1

**Таблица 15. 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
Балл	3	2	1

**Таблица 16. Ранжирование по относительной защищенности подземных вод нижележащего водоносного комплекса**

Защищенность подземных вод	Относительно защищены	Условно защищены	Относительно незащищены
Балл	3	2	1

**Таблица 17. Балльный диапазон степени устойчивости геологической среды.**

<b>Степень устойчивости</b>	Высокая	Средняя	Низкая
<b>Балл</b>	<b>11 и более</b>	<b>Св. 8 до 11</b>	<b>Менее 9</b>

Полученные балльные диапазоны (табл. 17) позволяют провести типизацию территории. Однако, прежде чем переходить к интегральной оценки, необходимо предварительно определить категории защищенности грунтовых вод. На данный момент их отнесение к той или иной категории базируется на СП 502.1325800.2021 «Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ» (Приложение Ж). Анализ проводится с учетом таких параметров как глубина залегания уровня грунтовых вод, мощность слабопроницаемых грунтов и их литологический состав. Результат представлен в табл. 18.

**Таблица 18. Определение категории защищенности грунтовых вод изучаемых областей**

Уровень грунтовых вод (м)	Балл	Тип и мощность слабопроницаемых грунтов	Балл	Сумма баллов	Категория
<b>Индоло-кубанский суббассейн</b>					
3	1	Легкие суглинки мощностью до 2 м.	2	3	I. Незащищенные
4-5	1	Тяжелые, средние суглинки мощностью от 2 до 4 м.	4	5	I. Незащищенные
10	2	Средние суглинки - 0,3 м. Толща средних и тяжелых суглинков - 4-8м Суглинки до 1 м. Глина 0,5 м.	14	16	IV. Условно-защищенные
20	3	Глины мощностью до 18-20 м.	20	23	V. Защищенные
50 и более	5	Глины мощностью более 20 м	25	30	VI. Защищенные
<b>Западно-Предкавказская НГО</b>					
3	1	Пески, супеси, маломощные суглинки до 2 м.	1	2	I. Незащищенные
10-20	2	Средние суглинки - 0,3 м. Толща тяжелых суглинков - 4-8м Супеси до 1 м. Глина 0,5 м.	12	14	III. Условно-защищенные

<b>Восточно-Кубанская НГО</b>					
5	1	Пески, супеси, маломощные суглинки до 2 м.	1	2	I. Незащищенные
10	2	Средние и тяжелые суглинки до 2 м. Супеси - 1,4-2 м. Пески-глинистые - 3,4 м.	6	8	II. Незащищенные
20	3	Глины мощностью до 18-20 м.	20	23	V. Защищенные
50	5	Глины мощностью более 20 м	25	30	VI. Защищенные
<b>Восточно-Предкавказская НГО</b>					
3	1	Пески, супеси, маломощные суглинки до 2 м.	1	2	I. Незащищенные
10-20	2	Средние и тяжелые суглинки мощностью 4-6 м	6	8	II. Незащищенные
		Средние и тяжелые суглинки мощностью 10-12 м	12	14	III. Условно-защищенные
20-30	3	Глины мощностью 16-18 м	18	21	V. Защищенные
50	5	Средние и тяжелые суглинки мощностью 16-18 м	18	23	V. Защищенные
<b>Терско-Каспийская НГО</b>					
1-10	1	Суглинки - 3 м.	2	3	I. Незащищенные
		Глины - до 1 м.	2	3	I. Незащищенные
5	1	Пески, супеси, маломощные суглинки до 2 м	1	2	I. Незащищенные
10-20	2	Средние суглинки до 8 м.	8	10	II. Незащищенные
20-30	3	Глины - 16-18 м.	18	21	V. Защищенные
20-30	3	Глины - 3-4 м. Средние и тяжелые суглинки до 3 м.	4	7	II. Незащищенные
50	5		4	9	II. Незащищенные
50 и более	5	Глины - 18-20 м.	20	25	VI. Защищенные

После проведённого анализа перейдём теперь к интегральной оценке устойчивости геосреды территории (табл. 19). и построению картографической модели на ее основе.

Таблица 19. Интегральная балльная оценка степени устойчивости геологической среды.

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

Результаты балльной оценки отражены на рис.20. При этом следует обратить внимание, что в картографической модели сделано допущение по объединению Западно-Предкавказской и Восточно-Кубанской НГО в одну область (по аналогии с рис.5.), 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.

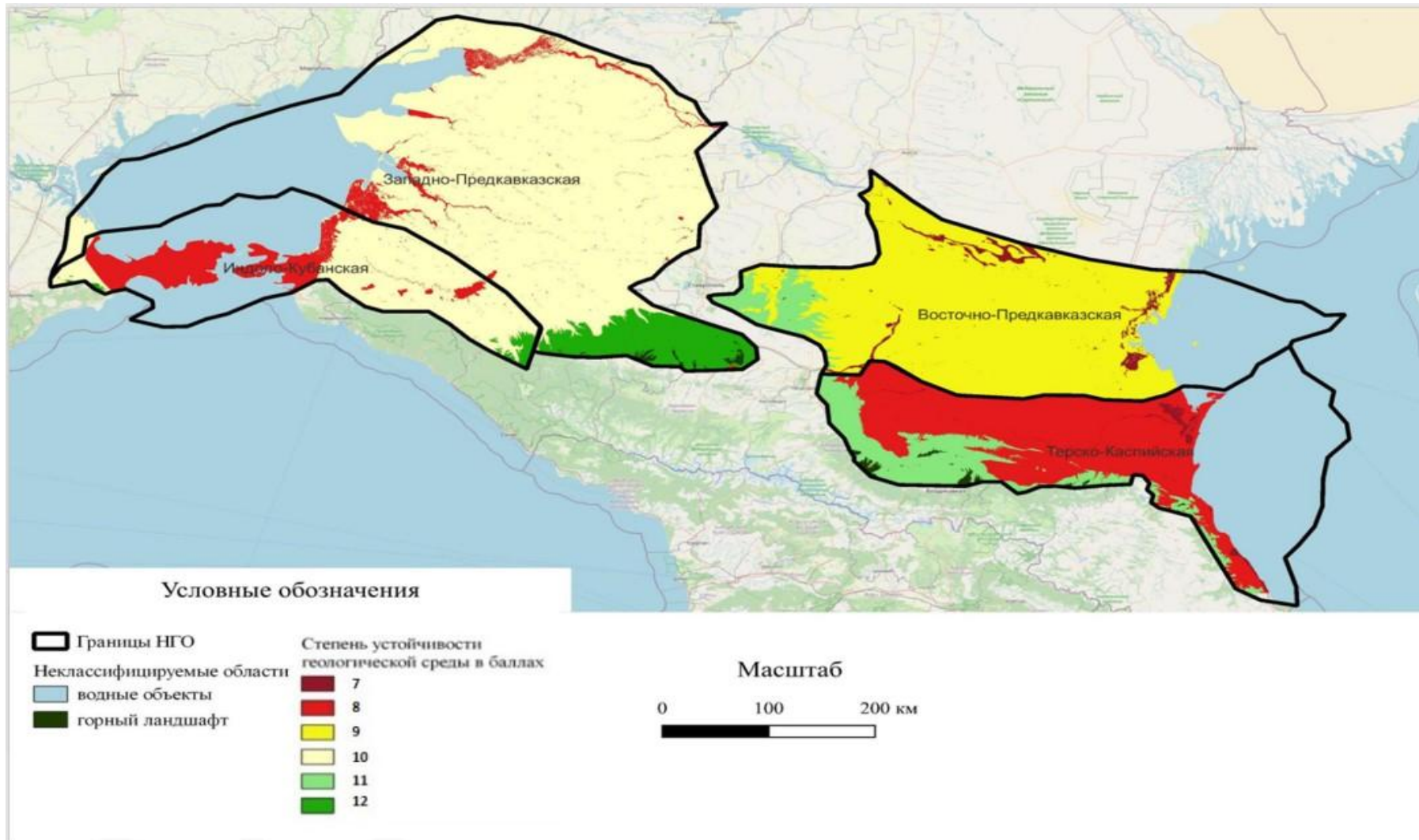


Рис.20. Карта интегральной оценки устойчивости геологической среды к нефтяному загрязнению основных НГО региона

Как можно заметить из табл. 19 и рис.20. *высокая устойчивость* геологической среды наблюдается в предгорных районах (что вполне ожидаемо) 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 защищенными 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.

Своё 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 простираться 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, которе распространены в виде отдельных прослоев. Несмотря на это, подземные воды, как и в других областях защищены сарматскими глинами.

Относительно данной области считаем необходимым отметить, что проведённая типизация устойчивости геологической среды к нефтяному загрязнению соотносится с имеющимися исследованиями (например, [39]; [157]). Так, наиболее уязвимым признается Грозненский нефтяной район, где за многие годы сформированы техногенные нефтяные горизонты, способствующие загрязнению всей геологической среды. Причём отмечается, что в восточной части данный процесс происходит интенсивнее, в виду погружения апшеронских отложений под толщу высокопроницаемых четвертичных отложений. Данные факторы способствуют тому, что грунт более чем на 24-29 м пропитан нефтью и нефтепродуктами [157]. В целом проведенная оценка, особенно в отношении Восточного Предкавказья соотносится и с данными регулярно проводимого мониторинга состояния недр (Гидроспецгеологией), по



результатам которого фиксируются в пойменных участках очаги загрязнения грунтовых вод нефтепродуктами. Таким образом, проблема нефтяного загрязнения описываемой области до конца пока не решена, что говорит об актуальности и важности проведения природовосстановительных мер.

На территориях со средней степенью устойчивости также 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 исходя из стадии эксплуатации объектов проводить мониторинг изменения геологической среды и необходимость ремедиации. Для проектируемых объектов учёт устойчивости геосреды может выступать в качестве одного из критериев выбора места их размещения, тем самым содействующих реализации экосистемного подхода в развитии территории.

## ГЛАВА 4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ТЕРРИТОРИЙ, ПОДВЕРЖЕННЫХ НЕФТЯНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ

### 4.1. Современные методы восстановления почвенно-растительного комплекса и грунтов.

Восстановление почвенно-растительного комплекса и грунтов вместе с ним как части геологической среды играет существенную, если не ключевую роль при нефтяном загрязнении. Ранее отмечалось, что основным видом реабилитации территории в сфере недропользования остаётся рекультивация. При её проведении наиболее распространёнными мероприятиями являются удаление загрязненного участка и замена его плодородным слоем и вскрышными породами, с благоприятными почвообразующими условиями [76]. В зависимости от направления рекультивации может происходить и посев трав.

Однако важно отметить, что в настоящее время при её проведении известны практики, когда происходит засыпка загрязненной почвы без учёта всех особенностей местности, и/ или всех особенностей геологической среды, так как обращается внимание только на плодородную её часть. Стоит признать, что такой подход, а особенно заполнение территории только слоем привозного грунта (песка и торфа), без предварительной подготовки почвы является большей ошибкой [90], так как это не способствует полноценному восстановлению. В свою очередь многие из применяющихся физико-химических методов связаны с экскавацией почвы, что требует сложного технического оборудования, больших энергозатрат и, как следствие, являются весьма дорогими [31].

В среднесрочной и долгосрочной перспективе, такие шаги, можно предполагать приводят или могут приводить к обеднению растительности, изменению потока грунтовых вод и их физико-химического состава и т.д. Такая проблема характерна для всей геологической деятельности и для добычи углеводородов в том числе. Стоит обратить внимание и на такое обстоятельство, что методы восстановления, разработанные для одной климатической зоны, могут не подходить для другой зоны, ввиду чего необходимо адаптировать их к конкретным условиям. Поэтому важно отметить, что мероприятия по реабилитации (рекультивации, в частности) следует планировать ещё на предпроектной стадии разработки месторождения и закладывать с учётом всех существующих особенностей территории, применяя экосистемный подход, так как восстановление наиболее эффективно, когда оно проводится систематическим образом — от планирования до выполнения и мониторинга [227]. При этом учёт устойчивости геологической среды, как было отмечено ранее, позволяет оценить необходимость комплексности реабилитационных мероприятий, сформировать подход к реализации

смешанной реабилитации, что может позволить в будущем более полноценному восстановлению территории.

Однако безусловно существуют и достижения в данной области, в части именно увеличение доли современных методов. Здесь стоит отметить, например, подход, связанный с использованием агавы сизалевой (*Agave sisalana* Perrine), способной прорасти в аридных районах с высокой степенью загрязнения и имеющей мощную корневую систему. Данное растение предлагается использовать для повышения эффективности восстановления нефтезагрязненных почв Апшерона, полупустынных и пустынных территорий ЧКР [64]. Кроме того, имеются исследования и относительно совершенствования способов биоремедиации для восстановления грунтов на основе применения активного ила, обладающего консорциумами бактерий нефтедеструкторов [13].

В мировой практике при фиторемедиации большое значение уделяется таким травам, как райграс однолетний (*Lolium multiflorum*), хлебная трава (*Brachiaria brizantha*), ореховая трава (*Cyperus rotundus*) и пырей муламбимби (*Cyperus brevifolius* Rottb.), которые считаются наиболее эффективными для восстановления нефтезагрязненных почв благодаря разветвленной, обширной и волокнистой корневой системе. Многолетние травы - овсяница высокая (*Festuca arundinacea* Schreb.) и райграс многолетний (*Lolium perenne* L.) также рассматриваются как фиторемедианты по аналогичным причинам [247].

Кроме того исследования последних лет в различных климатических зонах России выявили десятки пригодных для фиторемедиации растений: овсяница красная и луговая, мятлик луговой, костёр безостый, рожь озимая, овёс, донник, рапс, люцерна, кукуруза, вика, клевер, суданская трава, дягиль лекарственный, крестовник скученный [153] и т.д.

Если же рассматривать территорию Прикаспия, Предкавказья, то в последние годы для восстановления грунтов данных районов рассматриваются органические сорбенты, такие как овечья шерсть, древесные опилки, биочар, гумат натрия, а также применение технологии биостимулирования [27-28]; [106]; [161]. Нельзя не отметить в этом направлении, например, работу С.И. Колесникова, К.Ш. Казеева, В.Ф. Валькова и др. (2007), в которой для восстановления загрязненных чернозёмов рассматриваются в качестве ремедиантов фосфогипс и мочевины. Исследователи в ходе серии экспериментов приходят к выводу, что их использование целесообразно, но при этом замечают, о необходимости дополнительных исследований для определения их доз при различной степени загрязнения [76 с.162]. Способам фиторемедиации чернозёмов посвящена работа А.В. Швеца (2009). В ней, автор рассматривает возможность и перспективность применения сорго и приходит к выводу о способности данной культуры прорасти, и о её высокой продуктивности в

нефтезагрязненных почвах [164]. Таким образом, общая тенденция исследований - это поиск и расширение возможностей применения биологических способов восстановления (ремедиации).

#### **4.2. Оценка эффективности методов ремедиации нефтезагрязненных почв по результатам модельного эксперимента.**

Следуя отмеченной тенденции, в ключе нашего научного изыскания 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 легкоглинистый (Ростовская обл., Азовский район, см. табл. 20.). Выбор данного типа почв обусловлен тем, что чернозёмы наиболее устойчивы к нефтяному загрязнению [76], 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 значительной доли риска при увеличении техногенной нагрузки. Поэтому и возникает необходимость изучения особенностей ремедиации данного типа почв, позволяющих снизить степень негативного воздействия на него.

**Таблица 20. -Агрохимические и структурные показатели почвы, используемой в опыте**

<b>Показатель</b>	<b>Значение/Характеристика</b>
Структура	Комковато-зернистая
Плотность	Рыхлая и слабоуплотненная
Пористость	Благоприятная порозность
рН	6,8-7,2
Содержание гумуса (%)	7%
Азот	0,4%
Фосфор	0,35%
Калий	0,25%
Кадмий	Менее 0,1 мг/кг
Ртуть	Менее 0,04 мг/кг
Мышьяк	Менее 0,6 мг/кг
Свинец	Менее 3,5 мг/кг

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, см табл. 21). Технические параметры масла отражены на основе данных производителя [102]. Его выбор обусловлен тем, что данный вид нефтепродуктов представляет собой первичную перегонку нефти, имеет минимальное количество примесей, широко применяется в технике на нефтяных промыслах, сельском хозяйстве, других отраслях; используется при значительных диапазонах температур. 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.

**Таблица 21. Технические показатели масла**

Показатель	Метод испытания	Значение
Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	ГОСТ Р 51069 / ASTM D1298 / ASTM D4052	881
Вязкость кинематическая при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с	ГОСТ 33 / ASTM D445	13,5
Вязкость кинематическая при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	ГОСТ 33 / ASTM D445	99
Индекс вязкости	ГОСТ 25371	138
Динамическая вязкость (CCS) при -30°С, мПа·с	ASTM D5293 / ГОСТ 52559	5 285
Динамическая вязкость (MRV) при -25°С, мПа·с	ASTM D4684 / ГОСТ 52257	22 183
Щелочное число, мг КОН на 1 г масла	ГОСТ 30050 / ASTM D2896	6,1
Сульфатная зольность, %	ГОСТ 12417 / ASTM D874	0,9
Испаряемость по методу Ноака, %	ASTM D5800 / DIN 51581-1	10
Температура вспышки в открытом тигле, °С	ГОСТ 4333 / ASTM D92	228
Температура застывания, °С	ГОСТ 20287 (метод Б)	-32

Для ремедиации загрязненной 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<sup>6</sup> КОЕ/гр.) и растения (овёс обыкновенный (*Avena*

*sativa*), мятлик луговой (*Poa pratensis*), люцерна изменчивая (*Medicago x varia* Martyn) и их различные комбинации (табл. 22.).

**Таблица 22. 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 <i>Метаризиум</i> (в начале опыта, затем повторно по истечении 30 и 40 суток)
О-№4	Загрязненная почва+биорепарат <i>Bionex</i> (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 <i>Метаризиум</i> (в начале опыта, затем повторно по истечении 30 суток)
О-№9	Загрязненная почва+цеолит с грибами рода <i>Метаризиум</i> +биорепарат <i>Bionex</i> (в начале опыта)+доломитовая мука (дополнительно по истечении 40 суток)
О-№10	Загрязненная почва+доломитовая мука+цеолит с грибами рода <i>Метаризиум</i> (в начале опыта)+биорепарат <i>Bionex</i> (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 <i>Bionex</i> + мятлик луговой (по истечении 10 суток)
О-№14	Загрязненная почва+люцерна+цеолит с грибами рода <i>Метаризиум</i> (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 <i>Метаризиум</i> +люцерна (по истечении 10 суток)+биорепарат <i>Bionex</i> + мятлик луговой (по истечении 20 суток)+доломитовая мука (по истечении 30 суток).

Выбор данных способов продиктован существующими исследованиями [37-38]; [83] и нормативами (ГОСТ Р 57447-2017. «Наилучшие доступные технологии. Рекультивация земель и земельных участков, загрязненных нефтью и нефтепродуктами», ГОСТ Р 57446-2017. «Наилучшие доступные технологии. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков. Восстановление биологического разнообразия», ГОСТ Р ИСО 22030-2009. «Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений»). Так,

например, Т.Ю. Коршунова (2019); Ю.М. Сотникова, В.В. Фадеев, А.С. Григориади и др. (2021) отмечают, что свою эффективность при проведении фиторемедиации доказали растения из семейств злаковых и бобовых. В частности злаки образуют множество корней, что приводит к устойчивости к эрозии и связыванию углеводов [83]; [145]. Мятлик луговой в свою очередь не требователен к температурным условиям и отзывчив на удобрения [119]. Согласно ГОСТ Р 57447-2017 выступает в качестве наилучшей доступной технологии (НДТ). Люцерна как эффективный фиторемедиант отмечена в работах [145-147]. Кроме того, корни люцерны играют роль в увеличении популяции микроорганизмов нефтеструктуров, посредством создания благоприятной для них среды [146]. Стоит отметить и такой факт, что овёс обыкновенный и мятлик луговой являются распространёнными культурами в Предкавказье.

Выбор бакпрепарата (Bionex Oil Solvent) обусловлен его новизной на российском рынке. 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. На наш взгляд это связано с тем, что на рынке он появился не более 10 лет назад и скорее всего не так широко известен. Так, в виде порошка и суспензии (что и было использовано в опыте) препарат выпущен в 2019-2020 гг. (<https://bionex.pro/companу>). Поэтому важно было изучить его потенциал, несмотря на утверждения производителя. В дополнение стоит отметить, что такие препараты как Байкал-ЭМ-1, Путидойл, Деворойл, БАК-ВЕРАД и другие отечественные разработки имеют широкое распространение, многократно протестированы и подтвердили свою эффективность, исходя из чего их применение в исследовании являлось бы очевидным подтверждением их действия. В последнее десятилетие (с 2013-2014 гг) применяется кроме указанных и такой биопрепарат как Dor-Uni. Однако в его составе 5 штаммов бактерий, в то время как Bionex содержит 8 штаммов анаэробных бактерий, что позволяет сделать предположение о его большей эффективности. Поэтому при выборе биопрепарата выбор был сделан в пользу Bionex Oil Solvent, так как ставилась задача определить перспективность его использования.

Применение же различных минеральных сорбентов является повсеместным. Вопрос же возникает каким образом их можно сочетать для достижения наилучшего эффекта.

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 [126] и принятых нормативов. Так, например, в Санкт-Петербурге для территории нефтехранилищ установлено значение ПДК по нефти и нефтепродуктам равное 2000 мл/кг. В Татарстане используется градация загрязнения близкая к Ю.И. Пиковскому, в частности значения от 2000 до 3000 мг/кг

соответствуют среднему уровню, от 3000 до 5000 мл/кг – высокому и более 5000 мл/кг означают очень высокий уровень загрязнения [161, с.101]. На выбор концентрации загрязнения также повлияла работа Т.Г. Кольцовой с соавторами (2014). Исследуя проблемы нефтяного загрязнения чернозёмов авторы пришли к выводу, что концентрация нефти и её продуктов в размере 2,7 г/кг в чернозёме типичном, а также 2,3 г/кг в чернозёме оподзоленном не приводит к токсическому действию особенно в отношении растений [79].

Кроме того, оценка степени загрязнения проходила по органолептическим признакам (использовались как дополнительный показатель) в соответствии с ГОСТ Р 57447-2017. Согласно данному документу - очень сильная степень загрязнения характеризуется присутствием на поверхности почвы свободной, легко мигрирующей по поверхности нефти, почва при этом значительно пропитана нефтью; при сильной степени загрязнения — между частицами грунта присутствует свободная нефть, которая легко выжимается руками; на срезе почвы преобладает присущая нефти тёмная окраска; при средней степени загрязнения — нефть почти не выжимается, но грунт загрязняет руки: окраска среза более светлая, просматривается естественная окраска грунта; при слабой степени загрязнения — грунт почти не загрязняет руки, но ощущается запах нефтепродуктов; окраска грунта почти такая же, как и у соответствующего незагрязнённого.

Все образцы после внесения поллютанта соответствовали по совокупности оценок умеренно-опасной степени загрязнения.

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 (рис.21.).

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). Исключение составлял контрольный образец, в котором на начальной стадии эксперимента проводилось только аэрирование с целью стимулирования самовосстановления. В целом поддерживались условия, приближенные к естественным (влажность более 60%, температура - в пределах 22-26 °С 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). Важность указанных параметров при биоразложении нефти и нефтепродуктов отмечена в большинстве исследований схожей тематики [83]; [105]; [114]; [194].





**Рис. 21. Инкубация образцов, содержащих фиторемедианты.**

Оценка же эффективности восстановления проходила посредством определения фитотоксичности, через каждые 10 суток (повторяемость опыта -  $n=5$ ). Анализ фитотоксичности как вид исследования в отечественной и зарубежной практике показал свою значимость и состоятельность [5]; [25]; [27]; [38]; [118]; [139]; [178]; [192]; [195]; [238] и др. Применение способов анализа, связанных с оценкой токсичности почв позволяет диагностировать существующую опасность, фактический риск или ущерб для экосистемы на текущий момент [241]. Исходя из вышеописанного можно заключить, что данный метод не просто зарекомендовал себя, а может применяться наравне с остальными.

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. О эффективности применения оценки фитотоксичности по всхожести семян клевера указано, например, в работе Г.К. Васильевой и соавторов (2013) [31].

Недавние исследования ИФХиБПП РАН по применению данного метода и его сравнение с традиционными методами оценки по таким тест-растениям как кресс-салат (*L. Sativum*) и пшеница (*T. Vulgare*) продемонстрировали большую чувствительность клевера к поллютантам и возможность его использования взамен указанных [243].

Важность оценки по прорастанию семян отмечается также в работе А.В. Захарова (2009) [66]. О возможности применения клевера в качестве тест-растения можно судить и по работе [184]. Проведение анализа проходило по следующей схеме:

- 1) Естественно 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:

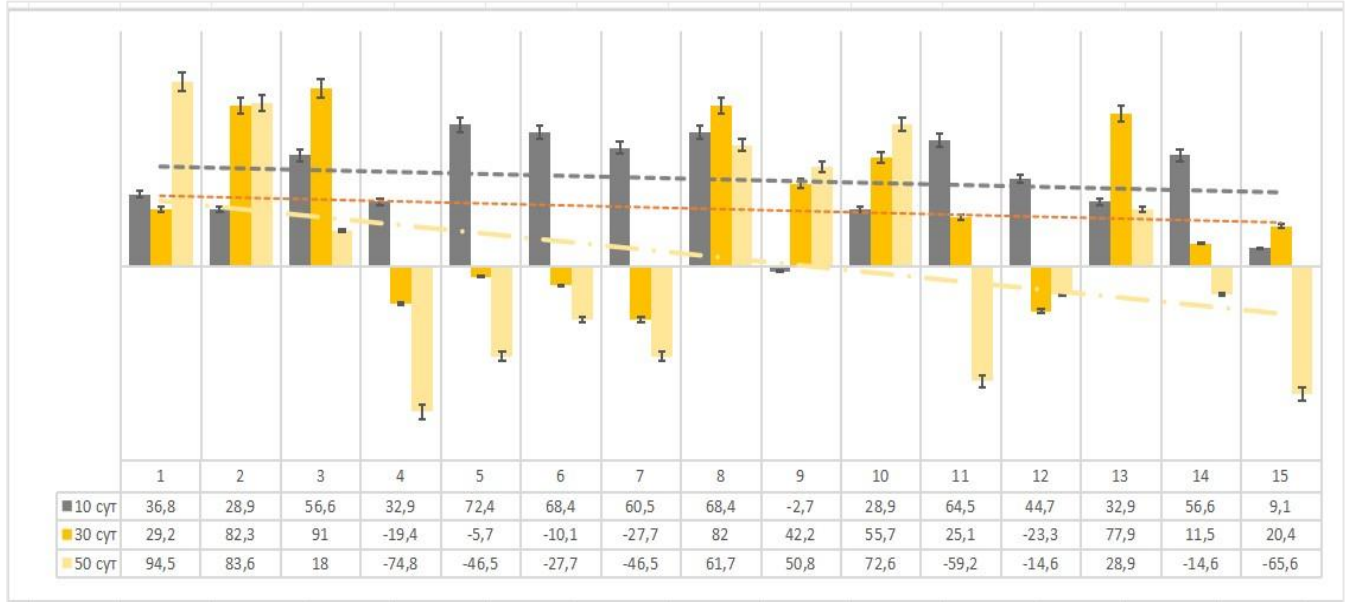
$$\Phi = 100 - \frac{N \cdot 100}{N_0} \quad (4.1.)$$

где,  $\Phi$  – 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, полном восстановлении [5]; [67]; [213]; [243]. Примеры прорастания тест-растения запечатлены на рис. 22.

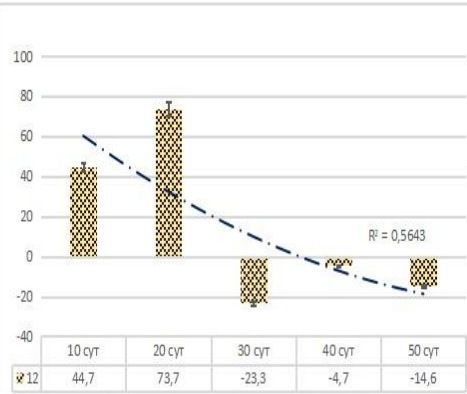
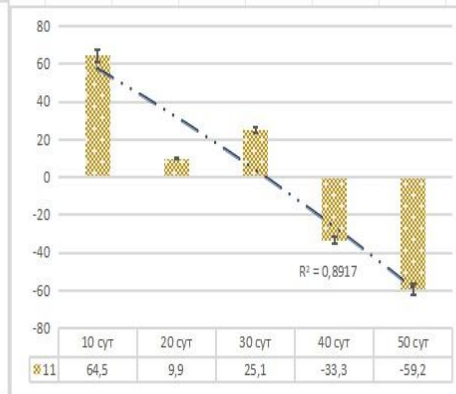
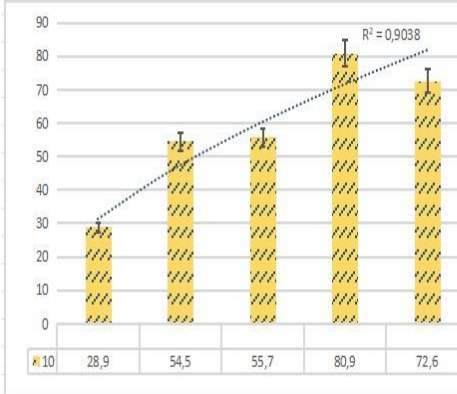
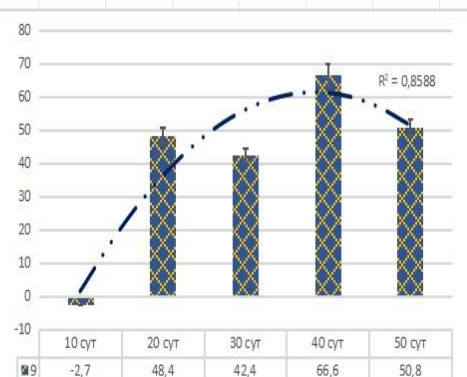
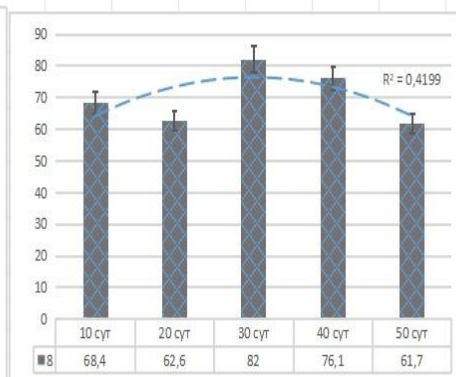
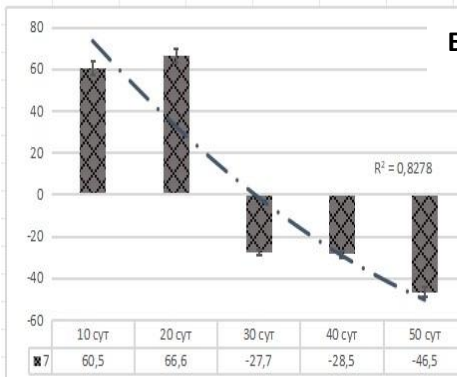
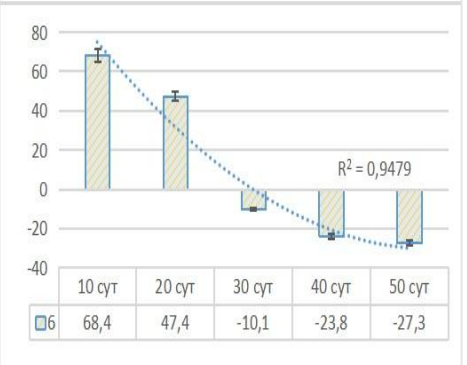
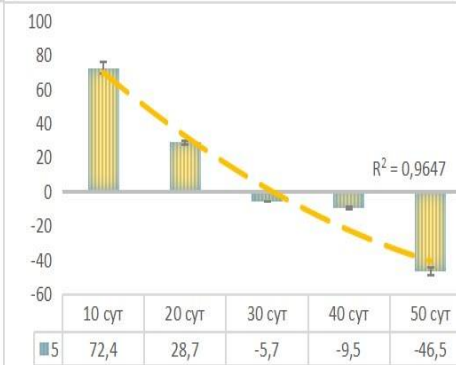
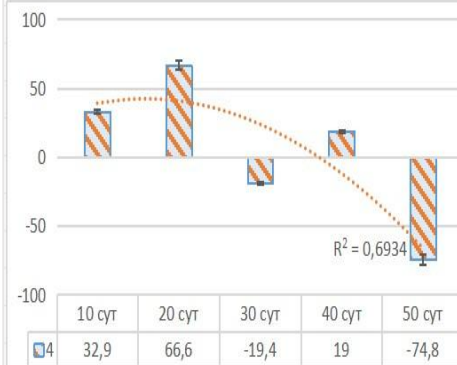
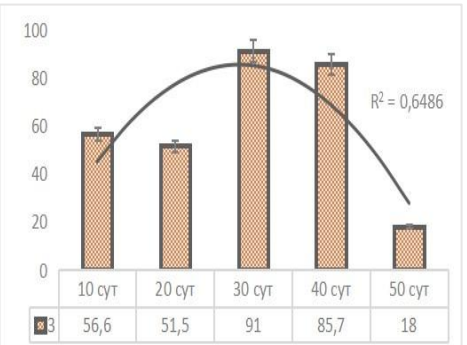
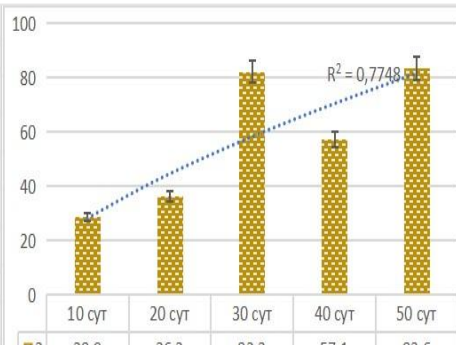
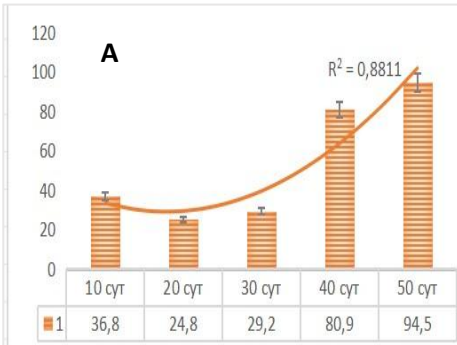
При оценке фитотоксического эффекта также учитывалось, что главным ограничением применения клевера в качестве тест-растения является, то, что его можно использовать на нейтральных, слабокислых, слабощелочных почвах (рН от 5,5 до 7,5), так как клевер не прорастает ни в кислых, ни в щелочных почвах [243]. Так как в ходе всего опыта значение рН оставалось стабильным в пределах 7,0-7,5 то подобное ограничение не сказалось на результатах. Результаты же исследования представлены на рис. 23.- 24. Анализ полученных данных излагается в конце, с целью резюмирования и обобщения всех показателей.

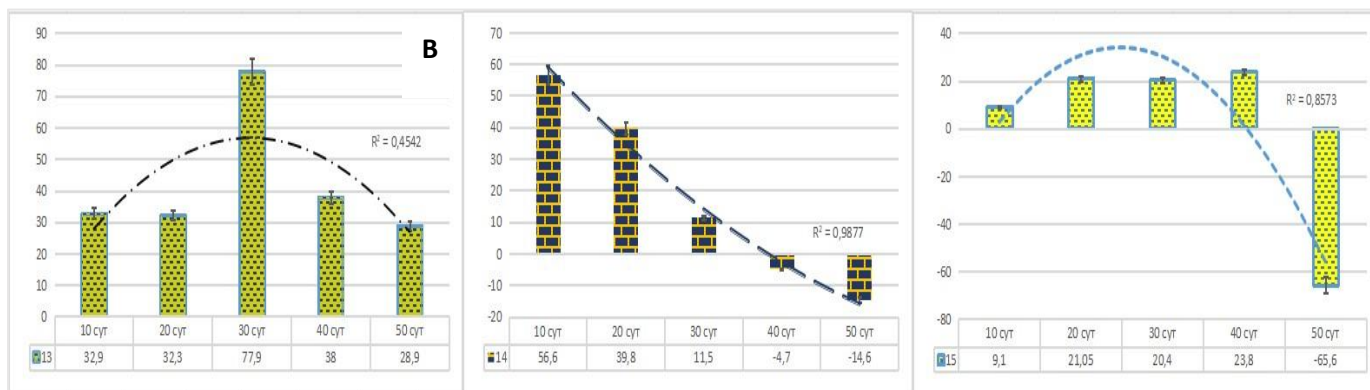


**Рис. 22. - Оценка фитотоксичности на различных этапах на примере ряда образцов: А - Образцы с минеральными сорбентами и бакпрепаратом, Б - Образцы с фиторемедиантам.**



**Рис. 23. - Обобщённая оценка фитотоксического эффекта (%)**





**Рис 24. - Оценка фитотоксического эффекта в течении всего эксперимента (%): А - образцы №1-6, Б - образцы №7-12, В - образцы №13-15.**

Кроме того, исходя из ГОСТ 12038-84, ГОСТ Р ИСО 22030-2009 и работы [76] учитывались такие показатели как *энергия прорастания и всхожесть тест-растения, а также длина корня и побега*. Данные показатели также напрямую связаны с оценкой токсичности и представляют интерес (табл. 23-24). В частности, оценка по всхожести семян обладает следующими преимуществами: высокая чувствительность к токсическому стрессу, способность семян сохранять свою жизнеспособность долгое время и экономичность [244].

Всхожесть в образцах О-№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.

**Таблица 23. 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	45,7	57,1	37,1	11,4	11,4	45,7	57,1	45,7	11,4	5,7
О-№2	34,2	8,5	20	22,8	5,7	48,5	11,4	28,5	25,7	8,5
О-№3	22,8	5,7	11,4	8,5	34,2	34,2	5,7	17,1	8,5	42,8
О-№4	45,7	60	22,8	45,7	77,1	62,8	77,1	40	48,5	91,4
О-№5	37,1	85,7	65,7	65,7	65,7	25,7	85,7	68,6	64,6	65,7
О-№6	25,7	40	71,4	74,3	57,1	22,9	54,3	71,4	75,7	57,1
О-№7	28,6	31,4	68,6	77,1	65,7	25,7	40	82,9	76,4	77,1
О-№8	20	8,5	2,8	11,4	14,2	34,2	11,4	8,5	14,2	20

О-№9	42,8	25,7	20	14,2	22,8	60	37,1	25,7	20	25,7
О-№10	17,1	14,2	5,7	8,5	11,4	37,1	22,8	5,7	11,4	14,2
О-№11	45,7	77,1	51,4	65,7	71,4	42,9	77,1	48,9	63,5	65,7
О-№12	22,9	25,7	80	62,3	51,4	25,7	20	80	60,6	62,3
О-№13	48,6	51,4	11,4	37,1	51,4	48,6	51,4	14,3	37,1	11,4
О-№14	31,4	45,7	57,1	60,0	54,3	31,4	45,7	57,1	62,9	42,9
О-№15	65,7	60,0	51,4	45,7	34,3	65,7	60,0	51,4	45,7	74,3

**Таблица 24. 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	10	20	10	20	4	10	10	10	15
О-№2	8	4	5	5	4	32	26	26	27	28
О-№3	10	7	7	5	8	35	31	31	27	31
О-№4	15	20	10	15	20	42	45	37	39	45
О-№5	13	16	17	16	18	27	31	34	35	44
О-№6	15	18	18	23	26	25	36	41	43	46
О-№7	14	15	20	24	21	30	31	35	41	42
О-№8	10	5	5	8	10	33	25	26	32	31
О-№9	15	10	10	7	10	41	31	30	31	32
О-№10	10	5	5	4	10	30	29	27	30	32
О-№11	11	21	21	21	19	23	38	39	42	46
О-№12	12	14	25	18	19	26	32	38	43	47
О-№13	4	15	10	10	10	5	9	10	8	12
О-№14	10	15	20	20	20	10	10	15	15	15
О-№15	15	15	20	20	20	15	11	10	15	15

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

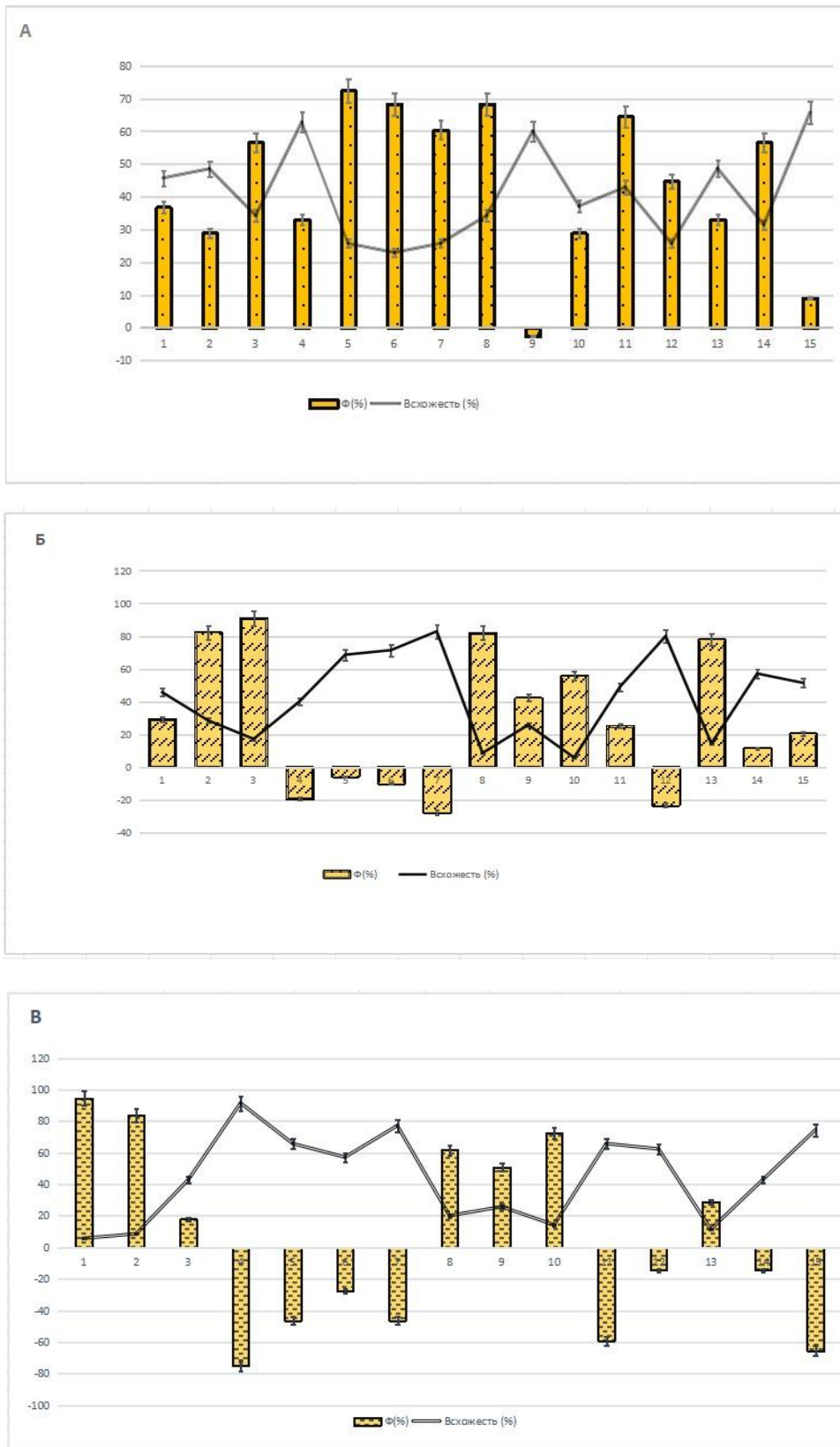
$$REI = \frac{A-B}{A} \cdot 100 \quad (4.2.)$$

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 [219]. Его значения приведены в табл. 25.

**Таблица 25. 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

Следующим этапом исследования стал поиск взаимосвязей между полученными данными. Так, в частности, были установлены прямые зависимости между коэффициентом фитотоксичности и всхожестью тест-растения (рис. 25.).



**Рис.25. Взаимосвязь между коэффициентом фитотоксического эффекта и всхожестью тест-растения: А - спустя 10 сут, Б - спустя 30 сут, В - спустя 50 сут.**



Из рис. 25 становится очевидно, что снижение показателя фитотоксичности (Ф) приводит к увеличению всхожести и наоборот. Здесь стоит отметить, что существует точка зрения относительно того, что всхожесть семян в большей степени не зависит от степени загрязнения. С таким выводом сложно согласиться, ведь установленные в ходе эксперимента зависимости показывают обратное. Данную точку зрения не подтверждают также и многочисленные примеры хронического нефтяного загрязнения почв. Всхожесть растений стоит полагать всё-таки зависит от концентрации поллютанта, так как значительное наличие нефти и её продуктов приводит к целому комплексу негативных последствий для развития растений (см. главу 1.). К тому же, как видно, из табл. 24 по итогам 50 суток наилучшую 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. 26.). 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 загрязнённую 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. 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.



**Рис. 26. Взаимосвязь между коэффициентом фитотоксического эффекта и ингибированием удлинения корня: А - спустя 10 сут, Б - спустя - 30 сут, В - спустя 50 сут.**

Поставленный опыт первоначально заключал в себе задачу, определение действенности биологических методов восстановления. Однако в ходе его проведения возникла сопутствующая этому задаче в выборе способов оптимальной оценки результатов. Исходя из представленного материала, применение при оценке эффективности ремедиации методик, основанных только на критериях подавления роста корня или всхожести, проростка семян или даже при их сочетании представляется недостаточной. Связано это прежде всего на

наш взгляд с тем, что на основании такого ограниченного круга показателей не представляется возможным заключить о степени восстановления почв. К тому же нельзя забывать о двойственном эффекте загрязнения, отмеченном ранее. Исходя из этого необходим более комплексный подход. Более целесообразно применять как методику, выбранную нами за основу (РАН), так и анализ по физическим показателям, морфологическим характеристикам тест-растений.

**Анализируя теперь 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 N, P, K) и кислорода. Данное предположение обусловлено 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. Однократное внесение бакпрепарата привело 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 загрязнителя.

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 (как показывает рис. 24) показатель коэффициента фитотоксического эффекта составил 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 как видно из табл. 24-26 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.

В целом при использовании сорбентов наблюдается кратковременный эффект очищения почв от нефтепродуктов, связанный с ограниченностью погложительных свойств сорбентов. Исходя из этого возникает необходимость дополнительного их внесения, как только снимается очищенный слой почвы.

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 x 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 в виду, что

набольший эффект достигается в случае если его высаживать по истечении 10 суток, так как период его активного роста составляет в среднем 20-30 суток.

Кроме обозначенного стоит отдельно остановиться на анализе ряда образцов. Так, в образце О-№1 на начальных стадиях эксперимента наблюдалось снижение концентрации загрязнения, что обусловлено, с большей долей вероятности, процессами самоочистки и улетучивания лёгких фракций, периодическим аэрированием в начале опыта. Однако по истечении 50 суток можно было зафиксировать рост загрязнения, так как нефтепродукты аккумулировались в нижележащих горизонтах и процессы самоочистки замедлялись. К концу эксперимента значительно снижался и приток кислорода, так как аэрирование не проводилось в дальнейшем, что определено сыграло свою роль. Кроме того, по окончании эксперимента на дне сосуда ощущался яркий, характерный нефтяной запах и высокая влажность почвы, что также стало дополнительным свидетельством об аккумулировании загрязнителя в данной области.

В образце О-№9 аналогично в самом начале эксперимента было зафиксировано резкое снижение токсичности почвы, что можно объяснить действием биопрепарата, однако далее, подъём показателей может быть обусловлен тем, что не производилась подкормка микроорганизмов. Таким образом, первоначальный эффект был нивелирован. Значительные колебания показателя токсичности наблюдались и в образце О-№13. Однако в итоге, рост мятлика лугового позволил снизить данный показатель (до 28,9% на 50 сутки) и переломить ситуацию.

В целом эксперимент определил оптимальные комбинации, которые позволяют достичь значительного эффекта очищения. Наиболее показательными признавались те образцы, которые давали равномерный, устойчивый тренд на снижение фитотоксичности. Прежде всего это образцы, в которых находились растения. Эффективным также можно считать и применение биопрепарата *Bionex*, однако следует учесть, ранее отмеченное условие о необходимости периодического его внесения.

Безусловно важно отметить, что лабораторные исследования не всегда могут моделировать природные условия, такие как пространственная неоднородность, биологические взаимодействия, климатические эффекты и ограничения переноса питательных веществ [226], что приводит к их некоторой ограниченности, но тем не менее, они позволяют определить направления, перспективные технологии, которые можно рассматривать для решения обозначенных проблем.

### 4.3. Рекомендации по реабилитации нефтезагрязненных территорий региона.

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. Здесь необходимо отметить, что существует мнение, о необходимости проведения реабилитационных мероприятий при загрязнении почв в концентрациях от 5 до 10 г/кг [158]. С данным суждением сложно согласиться так как существующие исследования (приведённые в том числе в работе), проведённые лабораторные опыты в настоящей работе показывают, что уже при концентрации 3 г/кг снижается способность к самовосстановлению, ухудшаются свойства и структура почвы, проявляется фитотоксичность.

Необходимо также учитывать, что самовосстановление в случаях нефтяного загрязнения зависит прежде всего от геоэкологических условий среды, свойств нефти и/или нефтепродуктов, наличия значительного (достаточного) числа бактерий нефтедеконструкторов 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, но 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 учетом того, что в данной области распространены техногенные горизонты и/или отдельные нефтяные линзы, то можно рассматривать возможность инъектирования бакпрепаратов (Bionex или и иной марки) на основе консорциумов анаэробных бактерий в виде эмульсии, суспензии или иного раствора, с целью деструкции нефти и ее продуктов, уменьшения линз.

При значительной степени загрязнения указанных территорий на первом этапе ремедиации рекомендуется высаживать овёс обыкновенный как наиболее толерантный фиторемедиант или же вносить биопрепарат Bionex. На последующем этапе для доочистки рекомендуется удалять овес 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 стабильной 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 и- 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. Проведённый 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.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абсаметов М.К., Шагарова Л.В., Муратова М.М.* Концептуальная модель экспертной системы регулирования загрязненной нефтепродуктами геологической среды // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. Т. 25. № 2. С. 306—316
2. *Аверкина Т.И.* Пример оценки устойчивости массивов песчано-глинистых пород к техногенному загрязнению // Геоэкология. 1994. № 1. С. 114—120.
3. *Антонинова Н. Ю., Л.А. Шубина.* К вопросу об экологической реабилитации нарушенных земель Южного Урала // Башкирский экологический вестник. – 2011. – № 3-4(28-29). – С. 40-43
4. *Апулу О. Г., Потравный И.М., Сухорукова И.В.* Методы обоснования и выбора технологий рекультивации загрязненных нефтью земель // Экология и промышленность России. – 2021. – Т. 25. – № 6. – С. 38-43. – DOI 10.18412/1816-0395-2021-6-38-43
5. *Арзамазова А.В., Кинжаев Р.Р., Трофимов С.Я.* Опыт применения яровой пшеницы в целях фитотестирования нефтезагрязненных почв // Проблемы агрохимии и экологии. – 2016. – № 2. – С. 47-51
6. *Арманд Д.Л.* Географическая среда и рациональное использование природных ресурсов. М.: Наука, 1983 - 243 с.
7. *Атаев З. В., Братков В.В.* (2011). Ландшафтное разнообразие особо охраняемых природных территорий российского Кавказа. Географический вестник=Geographical bulletin, (1), сс. 4-10.
8. *Атаев З. В., Братков В.В.* География и региональные особенности пространственной дифференциации и селитебной освоенности ландшафтов Северного Кавказа // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. – 2013. – № 2(23). – С. 85-95
9. *Атаев З. В., Братков В. В.* (2019) Горные ландшафты Северного Кавказа. Географический вестник=Geographical bulletin, (3), сс. 26–31.
10. *Ахмадиев А. К., Экзарьян В. Н.* Реабилитация природной среды — структурный элемент экологической безопасности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 2. – С. 112–120. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-112-120
11. *Ахмадиев А.К., Экзарьян В.Н.* Реабилитация природной среды в зарубежных странах: опыт правового регулирования. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020;63(4):88—97. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-88-9>

12. *Ахмадиев А.К.* Зоны экологического бедствия и их правовая неопределенность // Общество: политика, экономика, право. 2022. № 12. С. 82–87. <https://doi.org/10.24158/pep.2022.12.13>
13. *Бабаев М.П., Наджафова С.И., Ибрагимов А.Г.* Использование активного ила для очистки городских почв Баку от нефтяных загрязнений // Почвоведение. – 2015. – № 7. – С. 887. – DOI 10.7868/S0032180X15070023
14. Базовые понятия инженерной геологии и экологической геологии: 280 основных терминов / Колл. Авторы: Трофимов В.Т., Королев В.А., Харькина М.А. и др. // Под ред. В.Т. Трофимова. – М.: ООО «Геомаркетинг», 2021. 320 с.: табл., ил.
15. *Бакаева М.Д., Кузина Е.В., Рафикова Г.Ф. и др.* Применение продуцирующих ауксины бактерий при фиторемедиации загрязнённой нефтью почвы // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 144–150. doi: 10.25750/1995-4301-2020-1-144-150
16. *Барон В. А.* Обоснование детальности общего гидрогеологического районирования на примере Азово-Кубанского артезианского бассейна // Разведка и охрана недр. – 2014. – № 8. – С. 61-67
17. *Башкин В.Н., Галиулин Р.В.* Рекультивация нарушенных почв на Тазовском полуострове // Жизнь Земли. 2020. Т. 42. № 2. С. 153-159.
18. *Блажеев С.А.* Эколого-правовое регулирование отношений в нефтегазовом комплексе России: дис. ... канд. юр. наук : 12.00.06 / Блажеев Ярослав Александрович - Москва, 2016. 229 с.
19. *Блиновская Я. Ю., Размахин К.К., Зацепина П.П.* Перспективы использования сыпучих сорбентов для ликвидации разливов тяжелых нефтепродуктов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2017. – № 2. – С. 30-32.
20. *Богоявленский В. И., Богоявленский И.В.* Арктика и Мировой океан: глобальные и российские тренды развития нефтегазовой отрасли // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2019. – Т. 218. – № 4. – С. 152-179.
21. *Богоявленский В. И.* Эмиссия парниковых газов, глобальное потепление и нефтегазовая отрасль России // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2022. – Т. 236. – № 4. – С. 466-488.
22. *Бондарик К.Г.* Инженерно-геологические изыскания: учебник / К.Г. Бондарик, Л.А. Ярг. – М.: КДУ, 2007.- 424 с.
23. *Бракоренко Н. Н., Емельянова Т.Я.* Критерии экологической оценки геологической среды в связи с воздействием нефтепродуктов // Вестник Томского государственного университета. – 2015. – № 393. – С. 213-217. – DOI 10.17223/15617793/393/34

24. Бубнов А. Г., Буймова С. А., Моисеев Ю. Н. Фиторемедиация почвенных экосистем от последствий их загрязнения нефтепродуктами // Пожарная и аварийная безопасность. – 2019. – № 4(15). – С. 44-55.
25. Булуктаев А. А. Фитотоксичность и ферментативная активность почв Калмыкии при нефтяном загрязнении // Юг России: экология, развитие. – 2017. – Т. 12, № 4. – С. 147-156
26. Булуктаев, А. А. Изменение солевого состава почв Черных земель при нефтяном загрязнении // Юг России: экология, развитие. – 2018. – Т. 13, № 2. – С. 184-195.
27. Булуктаев А. А. Фитотоксичность нефтезагрязненных почв аридных территорий (в условиях модельного эксперимента) // Russian Journal of Ecosystem Ecology. – 2019. – Vol. 4 (3).
28. Булуктаев А. А. Изменение биологических и химических свойств почв Калмыкии при их загрязнении нефтью и нефтепродуктами : дис ... канд. биол. наук : 1.5.15. / Булуктаев Алексей Александрович- Ростов-на-Дону, 2022. - 194 с.
29. Бурые пустынно-степные почвы. Бурые пустынно-степные солонцеватые и солончаковатые почвы [электронный ресурс] / Атлас почв Российской Федерации //URL:<https://soil-db.ru/soilatlas/razdel-3-pochvy-rossiyskoy-federacii/burye-pustynno-stepnye-pochvy-burye-pustynno-stepnye-soloncevatye-i-solonchakovatye-pochvy> (дата обращения 11.10.23).
30. Быстрова А.К. Проблемы транспортной инфраструктуры и экологии в Каспийском регионе (добыча и экспортные перевозки углеводородов). М.: ИМЭМО РАН, 2009. с.96.
31. Васильева Г.К., Стрижакова Е.Р., Бочарникова Е.А. и др.. Нефть и нефтепродукты как загрязнители почв. Технология комбинированной физико-биологической очистки загрязненных почв // Российский химический журнал. – 2013. – Т. 57, № 1. – С. 79-104
32. Ветрова А.А., Забелин В.А., Иванова А.А., Адаменко Л.А., Делеган Я.А., Петриков К.В. Биодegradация нефти консорциумом штаммов-нефтедеструкторов в лабораторных модельных системах // Юг России: экология, развитие. 2018. Т.13, N1. С.184-198. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-1-184-198
33. Влияние мелиорантов на биологическое состояние чернозема при нефтезагрязнении : монография / Т. В. Минникова, С. И. Колесников, К. Ш. Казеев, Ю. В. Акименко ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019. – 92 с.
34. Волкова П.А., Лавренова Е.А., Левицкая М.С., Суюнбаев Т.Н. Нефтегазоматеринские толщи триасовых отложений Восточного Предкавказья. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2023;65(1):55—66. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-55-66>

35. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов.-2-е изд., стереотипное. - М.: Институт риска и безопасности, 2007. - 368 с.
36. Вяткина Е.В., Лавренова Е.А., Левицкая М.С., Серикова У.С. Перспективы нефтегазоносности эоцен-палеоценовых отложений Черноморско-Каспийского региона по результатам бассейнового анализа и численного моделирования. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2023;65(1):43—54. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-43-54>
37. Высоцкая Л.Б., Архипова Т.Н., Кузина Е.В., Рафикова Г.Ф., Ахтямова З.А., Иванов Р.С., Тимергалина Л.Н., Кудоярова Г.Р. Сравнение реакции растений различных видов на нефтяное загрязнение // Биомика. 2019. Т.11(1). С. 86 – 100. DOI:10.31301/2221-6197.bmcs.2019-06
38. Гаврилин И. И., Шигапов А.М. Перспективы использования биоиндикационных методов исследования при оценке фитотоксичности нефтезагрязненных почв // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 10(109). – С. 33-39.
39. Гайрабеков У. Т. Техногенная трансформация природно-антропогенной среды горного региона при длительном воздействии нефтяного комплекса: на примере Чеченской Республики : дис. ... д-ра геогр. наук : 25.00.36 / Гайрабеков Умар Ташадиевич- Москва, 2019. - 330 с.
40. Гасанов Г.Н., Бекеев А.Х., Арсланов М.А. Дефлированные почвы Западного Прикаспия. Потенциал продуктивности и приемы реализации: Монография. - СПб. : Издательство «Лань», 2017. - 260 с.
41. Гашева М.Н., Гашев С.Н., Сороматин А.В. Состояние растительности как критерий нарушенности лесных биоценозов при нефтяном загрязнении // Экология. – 1990. – №2. – С.77-78
42. Гвоздецкий Н.А. Физическая география Кавказа - Москва : Изд-во Моск. ун-та, 1954-1958. - 2 т.; Вып. 1: Общая часть; Большой Кавказ. - 1954. - 208 с.
43. Геология, поиски и разведка месторождений углеводородов на акваториях Мирового океана. - М.: ООО «Издательский дом Недра», 2016. - 411 с.: ил.
44. Герасимова А.С., Королев В.А. Проблемы устойчивости геологической среды к техногенным воздействиям. - М., 1994. - 47 с // Гидрогеол, инж. геология: Обзор /АО «Геоинформмарк. - Библиогр.: с.41-47 (72 назв)
45. Гидрогеология СССР. Том IX (Северный Кавказ). - Москва: Недра, 1968. – 488 с.

46. Гидрогеология СССР. Сводный том в пяти выпусках. Вып 5. Инженерно-геологическое районирование и закономерности формирования инженерно-геологических условий территории СССР. М., «Недра», 1975, 264 с. (ВСЕГИНГЕО)
47. Гидрогеология СССР. Сводный том в пяти выпусках. Вып 1. Основные закономерности распространения подземных вод на территории СССР. М., «Недра», 1976, 656 с. (ВСЕГИНГЕО)
48. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения / В. М. Гольдберг, С. Газда. - Москва : Недра, 1984. - 262 с.
49. Глазовская М.А., Пиковский Ю.И. Скорость самоочищения почв от нефти в различных природных средах. Природа, 1980. №5, С.118-119.
50. Голованова О. В. Формирование подземных вод плейстоцена Северного Прикаспия в связи с эксплуатацией Астраханского газового комплекса : дис. ... канд. геол-минерал. наук : 25.00.07, 25.00.36 / Голованова Ольга Васильевна - Москва, 2004. - 137 с.
51. Головин В.Г., Черных Н.А., Маркелов К.А., Зволинский В.П. Экологические системы Северного Прикаспия в условиях загрязнения. Москва.: Издательство «Оргсервис-2000», 2006. – 452 с.
52. Гольдберг В.М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. Ленинград, Гидрометеиздат, 1987, 248 с.
53. Городников О. А., Петрашев С.В. Способ распыления сорбентов при ликвидации аварийных разливов нефти с помощью подводного аппарата // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2016. – № 3. – С. 15-17
54. Горно-луговые почвы. Горные лугово-степные почвы/ Атлас почв Российской Федерации //URL:<https://soil-db.ru/soilatlas/razdel-3-pochvy-rossiyskoy-federacii/gorno-lugovye-pochvy-gornye-lugovo-stepnye-pochvy> (дата обращения 11.10.23).
55. Гречишкина Ю. И. Сохранение и воспроизводство плодородия чернозёмных почв для повышения продуктивности агроценозов Центрального Предкавказья : дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.04 / Гречишкина Юлия Ивановна; - Ставрополь, 2020. - 469 с
56. Грива Г.И. Геоэкологические условия разработки газовых месторождений Ямала. - Томск: Томский государственный университет, 2005. - 352 с.
57. Груздкова Р.Л. Распространение нефтяного загрязнения в почве // Загрязнение почв и сопредельных сред. Труды ин-та экспер. метеорологии. – М.: Гидрометиздат.1990. – Вып. 17(145). – С.69-73
58. Губайдуллин М.Г. Методы защиты верхней части геологической среды на основе локального мониторинга при эксплуатации нефтяных месторождений Европейского

- Севера России : монография / М. Г. Губайдуллин, Н. А. Макаровский, Б. Х. Хамидов; Сев. (Арктич). федер. ун-т. – Архангельск: ИПЦ САФУ, 213. – 168 с.
59. *Гусейнова Л. И. Г.* Экогеографические условия трансформации почв предгорий Северо-Восточного склона Большого Кавказа // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2022. – № 2. – С. 14-24. – DOI 10.46689/2218-5194-2022-2-1-14-24
60. *Дауд Р.М.* Биодиагностика устойчивости аридных почв Юга России к загрязнению тяжелыми металлами, нефтяными углеводородами и биоцидами: монография / Р. М. Дауд, С. И. Колесников, Т. В. Минникова и др.; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2021. – 216 с.
61. *Ефремкин И.М., Холмянский М.А.* Геоэкологическое сопровождение освоения нефтегазовых месторождений арктического шельфа. – СПб : «Недра», 2008. – 316 с. + цвет. вкл.
62. *Жаркова М. Г.* Оценка экотоксичности тяжелых металлов и нефти по биологическим показателям чернозема : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Жаркова Мария Геннадьевна - Ростов-на-Дону, 2009. - 242 с.
63. *Журавлев, А. М., Чернышов В.И.* Оценка экологической безопасности проектов разработок нефтяных месторождений в Российской Федерации // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2000. – № 4. – С. 37-52
64. *Заманова А. П.* Рост и развитие *Agave sisalana* Perrine на старых нефтепромысловых землях Апшеронского полуострова // Бюллетень науки и практики. – 2022. – Т. 8. – № 8. – С. 20-24. – DOI 10.33619/2414-2948/81/03
65. *Занозин В. В.* Характерные черты рельефа Северного Прикаспия // Геология, география и глобальная энергия. – 2011. – № 1(40). – С. 138-144.
66. *Захаров А. В.* Оценка воздействия нефти и нефтепродуктов на агроценозы Центрального Черноземья и приемы их восстановления: дис. ... канд. с.-х. наук : 03.00.16 / Захаров Алексей Владимирович - Воронеж, 2009. - 136 с.
67. *Зиннатшина Л.В.* Экологическая оценка влияния натуральных сорбентов на эффективность биоремедиации нефтезагрязнённой серой лесной почвы : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08; 03.02.13 / Зиннатшина Лидия Викторовна. - Пушкино, 2019. - 161 с.
68. *Игнатьева М.Н., Стровский В.Е., Юрак В.В. и др.* Правовое обеспечение восстановления земель, нарушенных горными работами: отечественный опыт // Известия Уральского государственного горного университета. – 2021. – № 2(62). – С. 183-190.

69. *Израэль Ю.А., Цыбань А.В.* Антропогенная экология океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1989 - 530 с.
70. Инженерно-геологические аспекты рационального использования и охраны геологической среды / [Л. Г. Балаев, Л. Д. Белый, Ф. В. Котлов и др.; Отв. ред. Е. М. Сергеев]. - Москва : Наука, 1981. - 240 с.
71. *Исмаилов Д. Д.* Условия формирования олигоцен-миоценовой углеводородной системы на территории Терско-Каспийского нефтегазоносного бассейна и перспективы поисков скоплений нефти и газа : дис. ... канд. геол-минерал. наук : 25.00.12 / Исмаилов Джавидан Джейхунович - Москва, 2022. - 118 с
72. *Карцев А.А., Вагин С.Б.* Вода и нефть. М., «Недра», 1977, 112 с.
73. *Керимов В.Ю., Яндарбиев Н.Ш., Мустаев Р.Н., Кудряшов А.А.* (2021). Углеводородные системы Крымско-Кавказского сегмента Альпийской складчатой системы. Георесурсы, 23(4), с. 21–33. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.4.3>
74. *Керимов В.Ю., Мустаев Р. Н., Лавренова Е. А., Романов П. А.* Закономерности размещения скоплений углеводородов в мезо-кайнозойском комплексе Черноморско-Каспийского региона // SOCAR Proceedings Special Issue No. 1 (2022) 001-015 <http://dx.doi.org/10.5510/OGP2022SI100656>
75. *Кесорецких И.И.* Уязвимость ландшафтов: понятие и оценка: монография / И.И. Кесорецких, С.И. Зотов. - Москва: ИНФРА-М, 2022. - 189 с.- (Научная мысль).
76. *Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф., Азнаурьян Д.К., Жаркова М.Г.* Биодиагностика экологического состояния почв, загрязнённых нефтью и нефтепродуктами. Ростов н/Д: Изд-во ЗАО Росиздат, 2007. – 192 с.
77. *Колесников С.И., Дауд Р.М., Кузина А.А. и др.* Региональные нормативы содержания мазута в аридных почвах юга России // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2019. – № 3(288). – С. 25-29. – DOI 10.33285/2411-7013-2019-3(288)-25-29.
78. *Колотова О. В.* Биодеструкция и биоремедиация : монография / О. В. Колотова, Е. Э. Нефедьева, И. В. Могилевская, В. Ф. Желтобрюхов, Ю. Н. Картушина ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – 152 с.
79. *Кольцова Т.Г., Сунгатуллина Л.М., Григорьян Б.Н., Петров А.М.* Оценка фитотоксичности чернозёмных почв в условиях нефтяного загрязнения // Вестник Казахского технологического университета. – 2014. - №17(15). – С.261-267
80. *Конашинская Е. П.* Оценка устойчивости геологической среды урбанизированных территорий при геоэкологических исследованиях на основе результатов статического зондирования : На примере лёссовых отложений Нижнего Дона : дис. ... канд. геол-минерал. наук : 25.00.36 / Конашинская Елена Павловна - Ростов-на-Дону, 2002. - 152 с.



81. *Копылов И.С.* Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы: монография / И.С.Копылов ; Перм. гос. нац. иссл. ун-т. – Пермь, 2013. – 166 с.
82. *Королев В.А.* Очистка грунтов от загрязнений. – М.: МАИК «Наука / Интерпериодика», 2001 – 365 с.
83. *Коршунова Т.Ю.* Микробиологические технологии ликвидации нефтезагрязнений в различных климатических условиях: дис....д-ра. биол. наук: 03.01.06, 03.02.03 / Коршунова Татьяна Юрьевна - Уфа, 2019. – 437 с.
84. *Котенко М.Е., Асгерова Д.Б.* Агроэкологическая характеристика почв и фитоценозов подгорно-приморских равнин Западного Прикаспия. – Махачкала: Издательство АЛЕФ, 2022. – 226 с.
85. *Котлов Ф.В.* Изменение геологической среды под действием деятельности человека. М., «Недра», 1978, с. 263
86. *Красноперова С.А.* К проблеме гидрогеологической защищенности подземной гидросферы от нефтяного загрязнения // Управление техносферой: электрон. журнал. 2018. Т.1. Вып. 2. С. 185 – 193. URL: <http://f-ing.udsu.ru/technosphere>
87. *Кривицкий С.В.* Экологическая реабилитация водных объектов // Экология и промышленность России. – 2007. – № 5. – С. 20-23
88. *Крохмаль А. Г.* Экологические основы сохранения экосистем Северного Кавказа : дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.16 / Крохмаль Александр Григорьевич- Адлер, 2007. - 284 с. С.43
89. *Куранов В.И.* Перспективы нефтегазоносности республики Калмыкия и прилегающей акватории Каспийского моря на основе новейших геолого-геофизических данных: дис. ... канд. геол-минерал. наук : 25.00.12 / Куранов Юрий Вячеславович - Ставрополь, 2022. - 185 с.
90. *Кустышева И. Н., Скипин Л. Н., Ваганов Ю. В., Суслов С. Л.* Рекультивация нарушенных земель под нефтегазовыми объектами // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2015. – № 4. – С. 27-31.
91. *Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г.* Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий.— М.: ИКИ РАН, 2016.— 334 с.
92. *Лазарева В. Г.* Пространственное распределение растительного покрова Северо-Западного Прикаспия в современных геоэкологических условиях : дис. ... д-ра биол. наук : 03.02.08 / Лазарева Виктория Георгиевна - Ухта, 2021. - 360 с.
93. *Лебедько Г. И.* Геодинамические критерии оценки нефтегазоносности Терско-Каспийского передового прогиба // Геология нефти и газа. – 2013. – № 4. – С. 18-28

94. *Лепехин П.П.* Комплексный мониторинг земель объектов сахалинского нефтегазового комплекса : дис... канд.геогр.наук 25.00.26 / Лепехин Павел Павлович - Москва, 2018. - 188 с.
95. *Летарев А.А., Монинец С.Ю.* Проблемы прогнозирования риска разливов нефти в море. Монография. - Владивосток: Мор.гос.ун-т, 2006. - 122 с.
96. Литологические и стратиграфические залежи нефти и газа Предкавказья: (Перспективы и методика поисков и разведки) / А. Г. Алексин, Г. Т. Юдин, В. И. Корнеев, А. И. Дьяконов ; АН СССР. М-во нефт. пром-сти СССР. Ин-т геологии и разработки горючих ископаемых. - Москва : Наука, 1970. - 113 с.
97. *Лиханова И. А., Кузнецова Е.Г., Лантева, Е.М.* Природовосстановление как альтернатива рекультивации в северных регионах России // Проблемы региональной экологии. – 2021. – № 5. – С. 48-51. – DOI 10.24412/1728-323X-2021-5-48-51.
98. *Ломтадзе В.Д.* Инженерно-геологический анализ, оценка и прогноз при инженерных изысканиях // Инженерная геология. 1985. № 4. С. 3–11.
99. Лугово-каштановые почвы [электронный ресурс] / Атлас почв Российской Федерации // URL: <https://soil-db.ru/soilatlas/razdel-3-pochvy-rossiyskoy-federacii/lugovo-kashtanovyey-roshvu> (дата обращения 11.10.23).
100. *Лукьянчиков В.М.* Закономерности распределения линз нефтепродуктов по поверхности грунтовых вод // В кн.: Изучение загрязнения подземных вод на опытно-производственных полигонах. М., ВСЕГИНГЕО, 1990-76 с
101. *Мамаев О.А.* Подземные воды Восточного Предкавказья (формирование, гидрогеохимия и процессы радиотеплогенерации) / О. А. Мамаев; Российская акад. наук, Дагестанский науч. центр, Ин-т проблем геотермии и Ин-т геологии. - Махачкала : ДНЦ РАН, 2006. - 280 с
102. Масло моторное LUKOIL STANDARD 15W-40, SF/CC [электронный ресурс] / ЛУКОЙЛ // URL: <https://ru.lukoil-shop.com/> (дата обращения 26.11.2023)
103. Мезозойско-кайназойские комплексы Предкавказья (строение и корреляция) / Е.А. Гофман, И.Э. Сорокина, В.Л. Егоян и др. – М.: Наука, 1988. – 94 с.
104. *Минаев Н.Д.* Оценка состояния загрязненных нефтью и нефтепродуктами поверхностных вод и донных отложений водных объектов на территории Самотлорского месторождения : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.27 / Минаев Николай Дмитриевич. - Ханты-Мансийск, 2019. - 180 с.
105. *Минникова Т.В., Колесников С.И., Денисова Т.В.* Влияние азотных и гуминовых удобрений на биохимическое состояние нефтезагрязненного чернозема // Юг России: экология, развитие. 2019. Т.14, N2. С.189-201. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-2-189-201

106. *Минникова Т.В., Ревина С.Ю., Колесников С.И.* Ферментативная диагностика состояния нефтезагрязненных почв Юга России после ремедиации биочаром и гуматом натрия // Мониторинг, охрана и восстановление почвенных экосистем в условиях антропогенной нагрузки : Материалы Международной молодежной научной школы, Ростов-на-Дону, 27–30 сентября 2022 года. – Ростов-на-Дону - Таганрог: Южный федеральный университет, 2022. – С. 571-574
107. *Митягина М.И., Лаврова О.Ю.* Многолетний комплексный спутниковый мониторинг загрязнений поверхности Балтийского и Каспийского морей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9. №5 С. 269-288.
108. *Молчанов Э.Н.* Формирование горно-луговых черноземовидных почв высокогорий Северного Кавказа // Почвоведение. – 2008. – № 12. – С. 1438-1452
109. *Молчанов Э. Н.* Горно-луговые почвы высокогорий Западного Кавказа / Э. Н. Молчанов // Почвоведение. – 2010. – № 12. – С. 1433-1448.
110. *Мощенко Д. И.* Экологическое состояние почв Центрального Предкавказья и Кавказа при химическом загрязнении : дис. ... канд. биол. наук : 1.5.15. / Мощенко Дарья Ивановна - Ростов-на-Дону, 2023. - 122 с.
111. *Мустаев Р.Н., Лавренова Е.А., Керимов В.Ю. Романов П.А.* Прогноз скоплений углеводов в мезо-кайнозойском комплексе Черноморско-Каспийского региона по результатам моделирования // SOCAR Proceedings Special Issue No. 1 (2022) 027-034
112. *Наумова М.Н.* Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности верхнемиоценовых отложений северо-западной части черного моря : дис. ... канд. геол.-минерал. наук : 25.00.12 / Наумова Мария Николаевна - Москва, 2019. - 156 с.
113. *Немировская И.А.* Углеводороды в океане (снег-лед-вода-взвесь-донные осадки). – М.: Научный мир, 2004. – 328 с.
114. Нефтезагрязненные биогеоценозы (Процессы образования, научные основы восстановления, медико-биологические проблемы): монография / А. А. Оборин [и др.]; УрО РАН; Перм. гос. ун-т; Перм.гос.техн.ун-т. – Пермь, 2008. – 511 с.: ил.
115. *Никофоров А.С.* Биоремедиация нефтезагрязненных луговых почв юга Тюменской области : дисс ... канд.биол. наук : 03.02.08. / Никифоров Артур Сергеевич - Тюмень, 2021. - 142 с.
116. *Новоселова Е.И.* Структурно-функциональная трансформация биогеоценоза при нефтяном загрязнении и пути его восстановления: Монография. – Уфа: РИО БашГУ, 2004. – 126 с.
117. Опорные инженерно-геологические разрезы лессовых пород Северной Евразии: монография / В. Т. Трофимов и др. ; под ред. В. Т. Трофимова ; Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Геологический фак. - Москва : Университет. Кн. дом, 2008. - 607 с.

118. Оценка устойчивости основных почв и экосистем Приазовья к загрязнению тяжелыми металлами и нефтью : монография / С. И. Колесников, А. А. Кузина, Н. А. Вернигорова [и др.]. — Ростов-на-Дону : ЮФУ, 2018. — 111 с.
119. Патент № 2620829 С1 Российская Федерация, МПК А01В 79/02. Способ рекультивации разрушенных земель в зоне многолетней мерзлоты: № 2016114053: заявл. 12.04.2016: опубл. 30.05.2017 / С. А. Егурцов, Ю. В. Иванов, Т. В. Скрынник [и др.] ; заявитель Публичное акционерное общество "Газпром".
120. *Патин С.А.* Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана. М.: Пищепромиздат, 1979. 304 с
121. *Патин С.А.* Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа. М. Изд-во ВНИРО, 1997. 350 с.
122. *Патин С.А.* Нефть и экология континентального шельфа. М., 2001, 247 с.
123. *Патин С.А.* Морской нефтегазовый комплекс: источники и факторы экологического риска // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе №4. 2015, С.5-12
124. *Петухова Г.А.* Механизмы устойчивости организмов к нефтяному загрязнению среды: Монография. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2008. 172 с.
125. *Пиковский Ю.И.* Трансформация техногенных потоков нефти в почвенных экосистемах // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. Под.ред. М.А. Глазовской. – М.: Наука, 1988. – С.7-41
126. *Пиковский Ю.И.* Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде / Ю. И. Пиковский. - М. : Изд-во МГУ, 1993. - 206,[1] с.
127. *Питулько В.М., Кулибаба В.В.* Реновация природных систем и ликвидация объектов прошлого экологического ущерба – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2017. – 497 с. – (Научная мысль)
128. *Питьева К. Е.* Геохимия подземных вод в условиях освоения нефтегазовых месторождений: монография / К. Е. Питьева, А. В. Гоман, А. О. Серебряков. -- Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2006. – 223 [3] с.
129. *Попков И.В.* Изучение морфологии и условий формирования дислокаций Северо-Западного Кавказа в связи с нефтегазоносностью : дис. ... канд. геол-минерал. наук : 25.00.12 / Попков Иван Васильевич - Москва, 2016. - 153 с.
130. *Попков В.И.* Новые тектонические карты Черноморско-Каспийского региона // Нефтяная геология, гидрогеология и геотехника Юга России : сборник научных трудов. Краснодар, 2023 - С.14-20

131. Пунанова С. А., Родкин М.В. Геоэкологические риски при освоении сланцевых углеводородных ресурсов // Геология нефти и газа. – 2022. – № 1. – С. 109-118. – DOI 10.31087/0016-7894-2022-1-109-118.
132. Путилина В. С., Юганова Т.И. Изменение состава нефтяного загрязнения при фильтрации через зону аэрации // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2018. – № 1. – С. 42-50.
133. Пучков М. Ю. Агроэкологическое обоснование формирования адаптивных фитоценозов в условиях Северного Прикаспия : дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.07, 03.00.16 / Пучков Михаил Юрьевич - Астрахань, 2009. - 354 с.
134. Растегаев О.Ю., Субботин В.Е., Ченцов А.М. и др. Практические направления экологической реабилитации почв при их химическом загрязнении // Теоретическая и прикладная экология. – 2012. – № 4. – С. 38-41
135. Реабилитация // Большая российская энциклопедия. Электронная версия (2017); <https://old.bigenc.ru/law/text/3500353> (Дата обращения: 24.01.2023)
136. Редина М.М., Хаустов А.П. Экологическая безопасность в нефтегазовом комплексе: монография. - М.: РУДН, 2016. - 196 с.
137. Реймерс Н.Ф. Экология : Теории, законы, правила, принципы и гипотезы / Н. Ф. Реймерс. - Москва : Журн. "Россия молодая", 1994. - 364,[2] с.
138. Роговская Н.В. Карта естественной защищенности подземных вод от загрязнения // Природа. – 1976. – № 3. – С. 21–25.
139. Руденко, Е. Ю., Зимичев В.А. Влияние нефтяного загрязнения на черноземную почву // Проблемы региональной экологии. – 2011. – № 3. – С. 74-79
140. Салиева Р. Н., Латыпова В.З., Салиев И.Р. Экологическое оздоровление и сохранение уникальной водной системы реки Волги: вопросы законодательного обеспечения // Теоретическая и прикладная экология. – 2019. – № 3. – С. 142-148. – DOI 10.25750/1995-4301-2019-3-142-148.
141. Сенин Б.В., Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Леончик М.И. Влияние структурно-геодинамических систем на формирование и распределение углеводородного потенциала Черноморско-Каспийского региона //SOCAR Proceedings Special Issue No. 1 (2022) 059-072
142. Сенин Б.В., Керимов В.Ю., Леончик М.И., Серикова У.С. Углеводородные ресурсы территорий и акваторий Черноморско-Каспийского региона // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2023. – № 1(180). – С. 16-30
143. Серые лесные почвы [электронный ресурс] / Атлас почв Российской Федерации //URL: <https://soil-db.ru/soilatlas/razdel-3-pochvy-rossiyskoy-federacii/serye-lesnye-pochvy> (дата обращения 11.10.23)

144. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1998. - 376 с.
145. Сотникова Ю. М., Федяев В. В., Григориади А. С., Гарипова М. И., Махмудов А. Р., Галин И. Р., Новоселова Е. И., Ямалеева А. А., Фархутдинов Р. Г. Оценка фиторемедиационного потенциала сельскохозяйственных растений при нефтяном загрязнении почвы // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2021. № 3. С. 99–109. doi:10.21685/2307-9150-2021-3-9
146. Сотникова Ю. М. Влияние микробиологических препаратов на ростовые и физиолого-биохимические процессы у растений люцерны и ржи в условиях нефтяного загрязнения почвы : дис... канд. биол. наук : 1.5.21. / Сотникова Юлия Михайловна - Уфа, 2022. - 172 с.
147. Степанова А.Ю., Орлова Е.В. Оценка эффективности использования растений райграса (*Lolium perenne* L.) и люцерны (*Medicago sativa* L.) для фиторемедиации нефтезагрязненного грунта // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки. – 2012. – № 3. – С. 327-330.
148. Степаньян О.В. Влияние нефтяного загрязнения на макрофиты Баренцева, Черного, Азовского и Каспийского морей в условиях современных климатических изменений : дис. ... д-ра биол. наук : 03.02.10 / Степаньян Олег Владимирович - Ростов-на-Дону, 2020. - 265 с.
149. Строкова Л. А. Инженерно-геологическое районирование территории Томского Приобья по степени устойчивости геологической среды к техногенной нагрузке : дис. ... канд. геол.-мин. наук : 04.00.07 / Строкова Людмила Александровна - Томск, 1997. - 199 с.
150. Тарабукин, Д. В. Модельная рекультивация *ex situ* и оценка ферментативной активности лесных подзолистых почв в условиях повышенного нефтяного загрязнения // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. – 2019. – Т. 5. – № 1. – С. 29-43. – DOI 10.21684/2411-7927-2019-5-1-29-43
151. Татосян М. Л. Влияние загрязнения нефтью и нефтепродуктами на биологическую активность чернозема обыкновенного : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.27 / Татосян, Маргарита Леоновна. - Ростов-на-Дону, 2003. - 175 с.
152. Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы // под ред. Е.М. Сергеева. М.: Недра, 1985. 332 с
153. Третьякова М. С. Перспективы использования эндо- и ризосферных микроорганизмов для восстановления загрязненных нефтью почв : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Третьякова Марина Сергеевна - Иркутск, 2018. - 121 с
154. Трофимов В.Т., Красилова Н.С. Методика оценки и картографирования устойчивости массивов горных пород к техногенным воздействиям // Геоэкологические проблемы

- урбанизированных территорий: Междунар. науч. конф. (Томск, 22–24 сент. 1999 г.). Томск, 1999. С. 65–66.
155. *Троц Н. М., Горшкова О.В.* Влияние сидеральных культур на баланс гумуса нефтезагрязненных черноземов Среднего Поволжья // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 4. – С. 3-7.
156. *Трусей И.В.* Стимуляция *in situ* автохтонных психрофильных и мезофильных микроорганизмов для биоремедиации грунтов, загрязненных нефтепродуктами : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Трусей Ирина Валерьевна - Красноярск, 2018. - 178 с
157. *Усманов А. Х.* Геоэкологическая оценка техногенного загрязнения углеводородами подземных вод г. Грозный : дис.... канд. геол-минерал. наук : 1.6.21. / Усманов Анди Хамзатович - Грозный, 2022. - 200 с.
158. *Фонова О.Г.* Модель экологического менеджмента зоны воздействия длительно существующих объектов логистики нефтепродуктов : дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36 / Фонова Оксана Геннадьевна - Воронеж, 2022. - 158 с.
159. *Хаустов А.П., Редина М.М.* Охрана окружающей среды при добыче нефти. – М.: Дело, 2006. – 552 с.
160. *Хотимский Б.Г., Топорский В.Б., Махولين О.А.* Нефть вчера и сегодня. Л., «Недра», 1977. 175 с.
161. *Цомбуева, Б.В.* Влияние деятельности нефтедобывающего комплекса на загрязнение земель юго-востока Республики Калмыкия : дис. ... канд. хим. наук : 03.02.08 / Цомбуева Баира Викторовна - Иваново, 2017. - 155 с
162. Черноземы выщелоченные и типичные мицелярно-карбонатные. Черноземы обыкновенные и южные мицелярно-карбонатные [электронный ресурс] / Атлас почв Российской Федерации //URL: <https://soil-db.ru/soilatlas/razdel-3-pochvy-rossiyskoy-federacii/chernozemy-vyshchelochennye-i-tipichnye-micelyarno-karbonatnye-chernozemy-obuyknovennyye-i-yuzhnyye> (дата обращения 08.10.2023)
163. *Шаркова С.Ю.* Изменение химических характеристик почвы под действием нефтезагрязнения // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. – 2011.- №25. – С.610-613
164. *Швец А.А.* Фиторемедиация загрязненных нефтью почв в условиях Северо-Западного Кавказа : дис. ... канд. сельскохоз. наук : 06.01.03 / Швец Александр Александрович; - Краснодар, 2009. - 129 с.
165. *Щерба В. А.* Рациональное использование минеральных ресурсов России и охрана геологической среды // Проблемы региональной экологии. – 2012. – № 1. – С. 196-201.

166. Щерба В. А. Освоение минеральных ресурсов России: проблемы комплексного использования и охраны окружающей среды // Вестник МГГУ им. М.А. Шолохова. Социально-экологические технологии. – 2012. – № 2. – С. 30-40.
167. Щерба В. А. Экологические проблемы "сланцевой революции" // Вестник МГГУ им. М.А. Шолохова. Социально-экологические технологии. – 2013. – № 2. – С. 120-126.
168. Экзарьян В.Н., Рукавицын В. В. Разработка критериев оценки сохранности окружающей среды при нефтедобыче // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2016. № 4. С. 70-74.
169. Экзарьян В. Н. Оценка экологических последствий в районах разработки месторождений полезных ископаемых // Сергеевские чтения. Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых : материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии в рамках Года экологии в России, Москва, 04–05 апреля 2017 года / Научный совет РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. – Москва: Российский университет дружбы народов (РУДН), 2017. – С. 81-86.
170. 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. С. 485–495. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2021-44-4-485-495>.
171. Экология: нефть и газ. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2009. - 680 с.
172. Экологические проблемы нефтяной промышленности / Ф.Р. Хайдаров, Р.Н. Хисаев, В.В. Шайдаков и др. - Уфа: ООО «Издательство научно-технической литературы «Монография», 2005. - 190 с.
173. Электронный атлас Каспийского моря [электронный источник] // URL: [http://de.geogr.msu.ru/casp/#hydro\\_ustie\\_4](http://de.geogr.msu.ru/casp/#hydro_ustie_4) (дата обращения 26.10.2023)
174. Яндарбиев Н.Ш., Козлова Е.В., Фадеева Н.П., Крылов О.В., Наумчев Ю.В. Геохимия углеводородов Терско-Каспийского прогиба. Георесурсы. 2017. Спецвыпуск. Ч. 2. С. 227-239. DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.22grs.2022.2.17>
175. Яндарбиев Н.Ш., Заксенхофер Р.Ф., Степанов А.Н., Яндарбиева Д.Н. (2022). О «палеозойских корнях» нефтей Восточного Предкавказья. Георесурсы, 24(2), с. 186–191. DOI <https://doi.org/10.18599/grs.2022.2.17>
176. Aerts, R., Honnay, O. Forest restoration, biodiversity and ecosystem functioning. BMC Ecol 11, 29 (2011). <https://doi.org/10.1186/1472-6785-11-29>
177. Aguilera, R., & Radetzki, M. (2015). The Price of Oil. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781316272527



178. *Alavi, E., Tajadod, G., Jafari Marandi, S. et al.* Vicia faba seed: a bioindicator of phytotoxicity, genotoxicity, and cytotoxicity of light crude oil. *Environ Sci Pollut Res* 30, 21043–21051 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23244-w>
179. *A. M. van Gestel*, “Soil ecotoxicology: state of the art and future directions,” *ZooKeys* 176, 275–296 (2012)
180. *Armstrong, T., Khursigara, A.J., Killen, S.S. et al.* Oil exposure alters social group cohesion in fish. *Sci Rep* 9, 13520 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49994-1>
181. *Arora, N.K.* Bioremediation: a green approach for restoration of polluted ecosystems. *Environmental Sustainability* 1, 305–307 (2018). <https://doi.org/10.1007/s42398-018-00036-y>
182. *Afshin Akhtar-Khavari* (2020) Restoration and cooperation for flourishing socio-ecological landscapes, *Transnational Legal Theory*, 11:1-2, 62-74, DOI: 10.1080/20414005.2020.1765290
183. *Afzal M, Khan QM, Sessitsch A* (2014) Endophytic bacteria: prospects and applications for the phytoremediation of organic pollutants. *Chemosphere* 117:232–242
184. *Banks, M.K., Schultz, K.E.* Comparison of Plants for Germination Toxicity Tests in Petroleum-Contaminated Soils. *Water Air Soil Pollut* 167, 211–219 (2005). <https://doi.org/10.1007/s11270-005-8553-4>
185. *Bradshaw, A. D.* (1983). The Reconstruction of Ecosystems: Presidential Address to the British Ecological Society, December 1982. *Journal of Applied Ecology*, 20(1), 1–17. <https://doi.org/10.2307/2403372>
186. *Brice B. Hanberry, Reed F. Noss, Hugh D. Safford, Stuart K. Allison, Daniel C. Dey*, Restoration Is Preparation for the Future, *Journal of Forestry*, Volume 113, Issue 4, July 2015, Pages 425–429, <https://doi.org/10.5849/jof.15-014>
187. *Burger, J.* Integrating Environmental Restoration and Ecological Restoration: Long-Term Stewardship at the Department of Energy. *Environmental Management* 26, 469–478 (2000). <https://doi.org/10.1007/s002670010105>
188. *Cairns, J.* (2002). Rationale for restoration. In M. Perrow & A. Davy (Eds.), *Handbook of Ecological Restoration* (pp. 10-23). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi:10.1017/CBO9780511549984.004>
189. *Carpenter, A., Reichelt-Brushett, A.* (2023). Oil and Gas. In: Reichelt-Brushett, A. (eds) *Marine Pollution – Monitoring, Management and Mitigation*. Springer Textbooks in Earth Sciences, Geography and Environment. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-10127-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-10127-4_6)
190. *Clewell, A.F., Aronson, J.* (2013). Recovery. In: *Ecological Restoration. The Science and Practice of Ecological Restoration*. Island Press, Washington, DC. [https://doi.org/10.5822/978-1-59726-323-8\\_4](https://doi.org/10.5822/978-1-59726-323-8_4)

191. *Crouzeilles, R., Curran, M., Ferreira, M. et al.* A global meta-analysis on the ecological drivers of forest restoration success. *Nat Commun* 7, 11666 (2016). <https://doi.org/10.1038/ncomms11666>
192. *Cruz, J.M., Tamada, I.S., Lopes, P.R.M. et al.* Biodegradation and Phytotoxicity of Biodiesel, Diesel, and Petroleum in Soil. *Water Air Soil Pollut* 225, 1962 (2014). <https://doi.org/10.1007/s11270-014-1962-5>
193. *da Silva Correa, H., Blum, C.T., Galvão, F. et al.* Effects of oil contamination on plant growth and development: a review. *Environ Sci Pollut Res* 29, 43501–43515 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19939-9>
194. *Dora Neina*, The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation, *Applied and Environmental Soil Science*, vol. 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/5794869>
195. *Dubrovskaya, E.V., Pozdnyakova, N.N., Muratova, A.Y. et al.* Changes in phytotoxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons in the course of microbial degradation. *Russ J Plant Physiol* 63, 172–179 (2016). <https://doi.org/10.1134/S1021443716010052>
196. *Elliot, R.* (1994). Ecology and the Ethics of Environmental Restoration. *Royal Institute of Philosophy Supplements*, 36, 31-43. <https://doi:10.1017/S1358246100006433>
197. *FAO, IUCN CEM & SER* (2021) Principles for ecosystem restoration to guide the United Nations Decade 2021–2030. Rome: FAO
198. *Fischer, Joern et al.* Making the UN Decade on Ecosystem Restoration a Social-Ecological Endeavour. *Trends in Ecology & Evolution*, January 2021, Vol. 36, No. 1. P 20-28. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.08.018>
199. *Gann GD, McDonald T, Walder B, Aronson J, Nelson CR, Jonson J, et al.* (2019) International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology* 27:S1–S46
200. *Gordon, Deborah.* No Standard Oil: Managing Abundant Petroleum in a Warming World (New York, 2021; online edn, Oxford Academic, 21 Oct. 2021), <https://doi.org/10.1093/oso/9780190069476.001.0001>
201. *Gornish ES, McCormick M, Begay M, Nsikani MM* (2021) Sharing knowledge to improve ecological restoration outcomes. *Restoration Ecology* 3:e1701345
202. *Hazaimah, .D., Ahmed, E.S.* Bioremediation perspectives and progress in petroleum pollution in the marine environment: a review. *Environ Sci Pollut Res* 28, 54238–54259 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15598-4>
203. *Higgs E* (2003) *Nature by design: people, natural process, and ecological restoration.* MIT Press, Cambridge, MA, <https://doi.org/10.7551/mitpress/4876.001.0001>

204. Higgs, E.S., Harris, J.A., Heger, T. et al. Keep ecological restoration open and flexible. *Nat Ecol Evol* 2, 580 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0483-9>
205. Hobbs, R.J. and Norton, D.A. (1996), Towards a Conceptual Framework for Restoration Ecology. *Restoration Ecology*, 4: 93-110. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.1996.tb00112.x>
206. Hutchinson, J. (1974). Land Restoration in Britain—by Nature and by Man. *Environmental Conservation*, 1(1), 37-41. <https://doi:10.1017/S0376892900003878>
207. Ian MacDonald, Deepwater Disaster: How the Oil Spill Estimates got it Wrong, Significance, Volume 7, Issue 4, December 2010, Pages 149–154, <https://doi.org/10.1111/j.1740-9713.2010.00449.x>
208. Jackson, L.L., Lopoukhine, N. and Hillyard, D. (1995), Ecological Restoration: A Definition and Comments. *Restoration Ecology*, 3: 71-75. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.1995.tb00079.x>
209. John A. Wiens, Richard J. Hobbs, Integrating Conservation and Restoration in a Changing World, *BioScience*, Volume 65, Issue 3, March 2015, Pages 302–312, <https://doi.org/10.1093/biosci/biu235>
210. John Cairns, Jr. and John R. Heckman. RESTORATION ECOLOGY: The State of an Emerging Field. *Annual Review of Energy and the Environment* 1996 21:1, 167-189, <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.21.1.167>
211. Kaźmierczak, U., Lorenc, M.W. & Strzałkowski, P. The analysis of the existing terminology related to a post-mining land use: a proposal for new classification. *Environ Earth Sci* 76, 693 (2017). <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6997-7>
212. Kim, A.R., Lim, B.S., Seol, J. et al. Principle of restoration ecology reflected in the process creating the National Institute of Ecology. *J ecology environ* 45, 12 (2021). <https://doi.org/10.1186/s41610-021-00187-w>
213. Kovaleva, E.I., Trofimov, S.Y. & Shoba, S.A. The Response of Higher Plants to the Oil Contamination of Soils in a Pot Experiment. *Moscow Univ. Soil Sci. Bull.* 77, 178–187 (2022). <https://doi.org/10.3103/S0147687422030073>
214. Li, Q., Liu, J. & Gadd, G.M. Fungal bioremediation of soil co-contaminated with petroleum hydrocarbons and toxic metals. *Appl Microbiol Biotechnol* 104, 8999–9008 (2020), <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10854-y>
215. Lithgow et al. Linking restoration ecology with coastal dune restoration. *Geomorphology*. 199 (2013) 214–224. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.007>
216. Littles, C., Karnezis, J., Blauvelt, K., Creason, A., Diefenderfer, H., Johnson, G., Krasnow, L. and Trask, P. (2022), Adaptive management of large-scale ecosystem restoration: increasing certainty of habitat outcomes in the Columbia River Estuary, U.S.A.. *Restor Ecol*, 30: e13634. <https://doi.org/10.1111/rec.13634>

217. *Lortie, C.J., St John, J. and Spangler, W.* (2019), Do or do not. There is no try in restoration ecology. *Restor Ecol*, 27: 955-958. <https://doi.org/10.1111/rec.12994>
218. *Marton, J.M., Roberts, B.J., Bernhard, A.E. et al.* Spatial and Temporal Variability of Nitrification Potential and Ammonia-Oxidizer Abundances in Louisiana Salt Marshes. *Estuaries and Coasts* 38, 1824–1837 (2015). <https://doi.org/10.1007/s12237-015-9943-5>
219. *Masakorala, K., Yao, J., Guo, H. et al.* Phytotoxicity of Long-Term Total Petroleum Hydrocarbon-Contaminated Soil—A Comparative and Combined Approach. *Water Air Soil Pollut* 224, 1553 (2013). <https://doi.org/10.1007/s11270-013-1553-x>
220. *McClain, C. R., Nunnally, C. & Benfield, M. C.* Persistent and substantial impacts of the Deepwater Horizon oil spill on deep-sea megafauna. *R. Soc. Open Sci.* 6, 9, (2019) <https://doi.org/10.1098/rsos.191164>
221. *McGenity, T.J., Folwell, B.D., McKew, B.A. et al.* Marine crude-oil biodegradation: a central role for interspecies interactions. *Aquat. Biosyst.* 8, 10 (2012). <https://doi.org/10.1186/2046-9063-8-10>
222. *Miller, B.A.* (2020). Unconventional Oil and Gas: Interactions with and Implications for Groundwater. In: *Buono, R., López Gunn, E., McKay, J., Staddon, C.* (eds) *Regulating Water Security in Unconventional Oil and Gas. Water Security in a New World.* Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-18342-4\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-18342-4_13)
223. *Mishra, I., Arora, N.K.* (2019). Rhizoremediation: A Sustainable Approach to Improve the Quality and Productivity of Polluted Soils. In: *Arora, N., Kumar, N.* (eds) *Phyto and Rhizo Remediation. Microorganisms for Sustainability*, vol 9. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-32-9664-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-32-9664-0_2)
224. *Mischa Schultz, Holly Jamieson, Emily Piontek, Jaime J. Coon & Samniqueka J. Halsey* (2022) The Importance of Cultural Values in Ecological Restorations: A Systematic Review, *Society & Natural Resources*, 35:9, 1021-1039, DOI: 10.1080/08941920.2022.2073625
225. *Mitra, A., Zaman, S.* (2020). Oil Pollution. In: *Environmental Science - A Ground Zero Observation on the Indian Subcontinent.* Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-49131-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-49131-4_10)
226. *Nilanjana Das, Preethy Chandran.* Microbial Degradation of Petroleum Hydrocarbon Contaminants: An Overview, *Biotechnology Research International*, vol. 2011. <https://doi.org/10.4061/2011/941810>
227. *Nilsson C, Aradottir AL, Hagen D, Halldórsson G, Høegh K, Mitchell RJ, et al.* (2016) Evaluating the process of ecological restoration. *Ecology and Society* 21:41. <https://doi.org/10.5751/ES-08289-210141>

228. *Palik, B.J., Goebel, P.C., Kirkman, L.K. and West, L.* (2000), USING LANDSCAPE HIERARCHIES TO GUIDE RESTORATION OF DISTURBED ECOSYSTEMS. *Ecological Applications*, 10: 189-202. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[0189:ULHTGR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[0189:ULHTGR]2.0.CO;2)
229. *Perring, M.P., Audet, P. & Lamb, D.* Novel ecosystems in ecological restoration and rehabilitation: Innovative planning or lowering the bar?. *Ecol Process* 3, 8 (2014). <https://doi.org/10.1186/2192-1709-3-8>
230. *Perrow, M., & Davy, A.* (2002). Preface. In M. Perrow & A. Davy (Eds.), *Handbook of Ecological Restoration* (pp. Xv-Xvi). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511549984.002
231. *Pulster, E.L., Gracia, A., Armenteros, M. et al.* A First Comprehensive Baseline of Hydrocarbon Pollution in Gulf of Mexico Fishes. *Sci Rep* 10, 6437 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62944-6>
232. *Reckendorf, A., Siebert, U., Parmentier, E., Das, K.* (2023). Chemical Pollution and Diseases of Marine Mammals. In: Brennecke, D., Knickmeier, K., Pawliczka, I., Siebert, U., Wahlberg, M. (eds) *Marine Mammals*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-06836-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-06836-2_5)
233. *Richard J. Hobbs and Viki A. Cramer.* Restoration Ecology: Interventionist Approaches for Restoring and Maintaining Ecosystem Function in the Face of Rapid Environmental Change. *Annual Review of Environment and Resources* 2008 33:1, 39-61 <https://doi.org/10.1146/annurev.environ.33.020107.113631>
234. *Schutte, C.A., Marton, J.M., Bernhard, A.E. et al.* No Evidence for Long-term Impacts of Oil Spill Contamination on Salt Marsh Soil Nitrogen Cycling Processes. *Estuaries and Coasts* 43, 865–879 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12237-020-00699-z>
235. *Sigman E, Elias M* (2021) Three approaches to restoration and their implications for social inclusion. *Ecological Restoration* 39: 27– 35
236. *Shcherba, V. A. Vorobyev K. A.* The development prospects of the shale industry in the world // Вестник евразийской науки. – 2018. – Vol. 10. – No 4. – P. 3.
237. *Stephen Haycox,* “Fetched Up”: Unlearned Lessons from the Exxon Valdez, *Journal of American History*, Volume 99, Issue 1, June 2012, Pages 219–228, <https://doi.org/10.1093/jahist/jas050>
238. *Stolbova, V.V., Beregela, D.V.* Correlation between phytotoxicity and properties of soils containing a group of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Moscow Univ. Soil Sci. Bull.* 70, 71–77 (2015). <https://doi.org/10.3103/S0147687415020088>

239. *Stolz, J., Bain, D., & Griffin, M. (Eds.).* (2022). *Environmental Impacts from the Development of Unconventional Oil and Gas Reserves*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781108774178
240. *Suding KN* (2011) Toward an era of restoration in ecology: successes, failures, and opportunities ahead. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 42:465–487. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102710-145115>
241. *Terekhova, V.A.* Biotesting of Soil Ecotoxicity in Case of Chemical Contamination: Modern Approaches to Integration for Environmental Assessment (a Review). *Eurasian Soil Sc.* 55, 601–612 (2022). <https://doi.org/10.1134/S106422932205009X>
242. *Urakawa, H., Rajan, S., Feeney, M.E., Sobecky, P.A. and Mortazavi, B.* (2019), Ecological response of nitrification to oil spills and its impact on the nitrogen cycle. *Environ Microbiol*, 21: 18-33. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14391>
243. *Vasilyeva, G.K., Kondrashina, V.S., Strijakova, E.R. et al.* Express-phytotest for choosing conditions and following process of soil remediation. *Environ Geochem Health* 44, 433–445 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00727-8>
244. *Wang X. Sun C. Gao S. Wang L. Shuokui H.* Validation of germination rate and root elongation as indicator to assess phytotoxicity with *Cucumis sativus* // *Chemosphere – 2001. - V.44. – P. 1711-172*
245. *Wiens, J. (Ed.).* (2013). *Oil in the Environment: Legacies and Lessons of the Exxon Valdez Oil Spill*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139225335
246. *Wilkinson, A.* Deepwater Horizon oil spill linked to Gulf of Mexico dolphin deaths. *Nature* (2015). <https://doi.org/10.1038/nature.2015.17609>
247. *Yavari, S., Malakahmad, A. & Sapari, N.B.* A Review on Phytoremediation of Crude Oil Spills. *Water Air Soil Pollut* 226, 279 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2550-z>
248. *Young D. Choi, Vicky M. Temperton, Edith B. Allen, Albert P. Grootjans, Melinda Halassy, Richard J. Hobbs, M. Anne Naeth & Katalin Torok* (2008) Ecological restoration for future sustainability in a changing environment, *Écoscience*, 15:1, 53-64, DOI: 10.2980/1195-6860(2008)15[53:ERFFSI]2.0.CO;2;
249. *Young, R.E., Gann, G.D., Walder, B., Liu, J., Cui, W., Newton, V., Nelson, C.R., Tashe, N., Jasper, D., Silveira, F.A.O., Carrick, P.J., Hägglund, T., Carlsén, S. and Dixon, K.* (2022), International principles and standards for the ecological restoration and recovery of mine sites. *Restor Ecol*, 30: e13771. <https://doi.org/10.1111/rec.13771>
250. *Young, T., Porensky, Lauren and Veblen, Kari E.* (2019, July 12). ecological restoration. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/ecological-restoration>