

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»

*На правах рукописи*

Лебедев Андрей Павлович



**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕРАБОТКИ БУРОВОГО  
ШЛАМА В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**

Специальность 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика  
(экономика промышленности)

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата экономических наук

Научный руководитель  
доктор экономических наук, профессор  
Череповицын А.Е.

Санкт-Петербург – 2024

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>4</b>
<b>ГЛАВА 1 ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ И ПЕРЕРАБОТКИ БУРОВОГО ШЛАМА В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ.....</b>	<b>13</b>
1.1 Теория становления циркулярной экономики в нефтегазовой отрасли: утилизация отходов бурения.....	13
1.2 Обзор методов утилизации отходов бурения и их потенциальная экономическая и экологическая эффективность .....	31
1.3 Экономические и экологические предпосылки утилизации отходов бурения. Продолжение цикла отходов.....	42
1.4 Выводы по первой главе .....	45
<b>ГЛАВА 2 АНАЛИЗ ОПЫТА И ПЕРСПЕКТИВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ БУРЕНИЯ.....</b>	<b>47</b>
2.1 Оценка современного состояния рынка бурения в России .....	47
2.2 Текущий уровень развития технологий по утилизации бурового шлама и их применение на производстве: опыт зарубежных и отечественных компаний .....	53
2.3 Государственное регулирование в сфере деятельности по управлению отходами бурения в России и за рубежом.....	65
2.4 Выводы по второй главе .....	71
<b>ГЛАВА 3 МЕТОДИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ СОЗДАНИЯ ПРОИЗВОДСТВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ БУРЕНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ.....</b>	<b>74</b>
3.1 Характеристика района исследования и анализ рынка .....	74
3.2 Модель оценки и выбора альтернатив по утилизации отходов бурения и выделения групп для совместной переработки .....	78
3.3 Сценарное моделирование и обоснование целесообразности переработки отходов .....	97

3.4	Определение эффективных групп месторождений при переработке бурового шлама для производства строительных материалов .....	105
3.5	Выводы по третьей главе .....	115
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>118</b>
	<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ .....</b>	<b>120</b>
	<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>122</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А Исходные данные для моделирования .....</b>	<b>150</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б Дисконтированный доход накопленным итогом по каждой группе месторождений.....</b>	<b>153</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.....</b>	<b>154</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Г Акт о внедрении результатов диссертационного исследования .....</b>	<b>155</b>

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность темы исследования

В настоящее время основная доля в мировом энергобалансе приходится на углеводородную энергетику. В результате, нефтегазовые компании продолжают наращивать объемы операций по разведке и добыче нефти и газа, тем самым увеличивая объем извлекаемых запасов. Параллельно этим процессам современная мировая энергетика стремится достичь равновесия между потреблением углеродно-интенсивной энергии и производством энергии с низким уровнем выбросов углекислого газа и минимальной генерацией отходов. В дополнение к этому, общество стремится к устойчивому развитию, в котором особо важными являются экологические и социальные аспекты. Следовательно, на производителей энергии с высокими эмиссиями и генерацией отходов накладываются обязательства по их минимизации. Так, при бурении нефтяных и газовых скважин образуются сложно утилизируемые отходы ввиду их многокомпонентного состава. На сегодняшний день, утилизация таких отходов, иначе называемых буровыми шламами, должна осуществляться на основе принципов циркулярной экономики, целью которой является генерирование замкнутых циклов с максимальным использованием получаемых ресурсов и минимальной выработкой отходов, не разрушающих экосистему. Поэтому задача создания таких циклов, предполагающих повышение экономической эффективности обращения с отходами на предприятии, является необходимой и важной составляющей в контексте развития циркулярной экономики.

Увеличение жизненного цикла отходов бурения позволяет нефтегазовым компаниям экономить на налоговых платежах, предоставляет возможности к получению государственной поддержки и способствует диверсификации хозяйственной деятельности за счет производства из отходов новых продуктов, что приводит к синергическому эффекту, проявляющемуся в получении дополнительных экономических выгод.

**Степень разработанности темы исследования.** Немалое количество научных трудов как российских, так и зарубежных авторов посвящено теоретическим и методологическим основам формирования и реализации концепции циркулярной экономики, что подтверждает актуальность исследуемой тематики диссертации – Д.В. Валько, М.А. Гурьева, С.Н. Бобылев, С.В. Соловьева, Л.А. Мочалова, О.Г. Соколова, С.В. Ратнер, Д.О. Скобелев. В работах М.В. Давыдовой, К.С. Плотниковой, И.Л. Беилина, А.Е. Череповицына, С.В. Федосеева, С.А. Липиной, А.Е. Закондырина, А.А. Ильинского рассмотрены возможности использования моделей циркулярной экономики в нефтегазовой отрасли. Также аналогичные исследования проводили и зарубежные ученые – P. Ghisellini, L.M. Alsarhan, A.S. Alayyar, N.B. Alqahtani, N.H. Khdayr, G. Kazamias, A.A. Zorpas, N.K. Jain, A. Panda, P. Choudhary, Kun Huang, Jian Zhang.

Основная концепция, заложенная в исследуемых работах, предполагает, что эффективное достижение устойчивого развития осуществимо при переходе к циркулярной экономике. Основными аспектами данного подхода являются обеспечение стабильного развития путем повторного использования ресурсов и применения технологий экономики замкнутого цикла.

Основы управления отходами, в том числе отходами бурения, широко освещены в научных трудах М.Г. Трейман, А.Г. Бездудной, В.И. Булатова, Н.О. Игенбаевой, О.А. Нанишвили, О.А. Конык, Е.И. Крапивского, Е.А. Пичугина, М.В. Пономарева, Andrew S. Ball, Richard J. Stewart, James Njuguna, Shohel Siddique, Lorraine Bakah Kwroffie, Szymon Kalisz, Katarzyna Kibort, Joanna Mioduska. Расширение возможностей использования отходов бурения путем получения из них строительных материалов освещаются в работах А.С. Власова, К.Г. Пугина, А.А. Суркова, В.А. Гурьевой, В.В. Дубинецкого, К.М. Вдовина, А.В. Дорошина, С.В. Мещерякова, С.В. Остах, А.В. Сушковой, Д.В. Орешкина, И.В. Шадруновой.

Несмотря на актуальность предлагаемой тематики в научной литературе виден недостаточный уровень проработки проблемы, связанной с внедре-

нием в нефтегазовый сектор методов организации производства, основанных на принципах циркулярной экономики. Не определен подход к оценке экономической эффективности внедрения методов утилизации отходов бурения, что обуславливает значимость предлагаемого исследования.

**Цель диссертационного исследования** заключается в разработке концептуальных и методических подходов к организации процесса утилизации бурового шлама и оценке экономической эффективности использования отходов бурения в качестве сырья для производства строительных материалов при освоении месторождений углеводородов.

**Основная научная идея.** Достижение стабильного долгосрочного функционирования нефтегазодобывающей компании в современных экономических тенденциях видится возможным при формировании адаптивных моделей экономического развития компании, опирающихся на принципы циркулярной экономики, а также эффективное и рациональное использование ресурсов, в том числе техногенных отходов, образующихся при бурении нефтегазовых скважин и имеющих определенную экономическую ценность в случае создания производств строительных материалов.

**Основные задачи диссертационного исследования:**

1. Проанализировать методы утилизации отходов бурения, основанные на принципах циркулярной экономики, выявить экономические проблемы утилизации отходов бурения в нефтегазовой отрасли.
2. Оценить современное состояние рынка бурения нефтегазовых скважин в России и за рубежом и обосновать перспективные направления развития технологий утилизации отходов бурения.
3. Провести анализ социально-экономических показателей Ханты-Мансийского автономного округа и выявить рыночный потенциал товарной продукции, получаемой при переработке отходов бурения в строительные материалы.

4. Уточнить методические подходы к оценке экономической эффективности утилизации отходов бурения, в частности, с использованием мер государственного стимулирования.

5. Разработать сценарии для выбора организационных альтернатив по созданию производств по утилизации, включая переработку отходов бурения.

6. Разработать экономико-математическую модель выбора и оценки методов утилизации и переработки буровых отходов на этапе эксплуатационного бурения скважин при разработке как отдельно взятого месторождения, так и нескольких месторождений, объединенных в единую группу, постепенно вводимых в разработку.

**Предметом исследования** выступают экономические и управленческие отношения, возникающие в рамках процесса утилизации буровых отходов на базе нефтегазового предприятия.

**Объектом исследования** являются формирующиеся производства, осуществляющие деятельность в области утилизации отходов, образующихся в результате бурения нефтяных и газовых скважин.

**Методология и методы исследования.** Теоретической и методологической основой исследования являются работы отечественных и зарубежных учёных в сфере экономики, проблем нефтегазовой отрасли и устойчивого развития. В основе методологии исследования лежат такие научные методы, как: использование экономико-математического моделирования, методы прогнозирования социально-экономических и промышленных систем, сравнительный анализ, статистические и графические методы. Для создания, редактирования, визуализации, анализа и оценки геопространственной информации использовалась открытая геоинформационная система QGIS Desktop. Для представления графической информации использовались средства Adobe Illustrator, Microsoft PowerPoint и Visio, визуализации данных Scimago Graphica и Looker Studio, для расчетов и моделирования использовалась система

Microsoft Excel, а также для написания макросов использовалось программирование на языке VBA и Python.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Применение подходов циркулярной экономики при освоении месторождений углеводородного сырья представляет собой концептуальную основу, позволяющую обобщить возможные способы обращения с отходами, образующимися при добыче углеводородов, и обосновать потенциальную экономическую ценность создания новых производств, не связанных с основной деятельностью нефтегазодобывающей компании.

2. Для определения экономической эффективности производств по переработке нефтяного шлама в регионе необходимо оценивать комплекс ключевых факторов, таких как: транспортная доступность, удаленность месторождения от территорий с масштабным развитием промышленно-гражданской и дорожной инфраструктуры, наличие минимально рентабельного объема отходов бурения, возможности объединения месторождений в группы, присутствие спроса на строительную продукцию в регионе.

3. Предложенная экономико-математическая модель оценки альтернатив по утилизации отходов бурения позволяет обосновать экономическую целесообразность их переработки в строительные материалы, в том числе, модель уточняет местоположение строительства завода по производству строительных материалов с определением его пропускной способности и с учетом потребностей рынка.

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономика промышленности): пункт 2.2. Вопросы оценки и повышения эффективности хозяйственной деятельности на предприятиях и в отраслях промышленности.

**Степень достоверности результатов исследования** обеспечивается использованием современных инструментов оценки экономической эффективности проектов, проведением технико-экономического анализа проектов освоения месторождений углеводородного сырья с использованием сценар-



ного подхода, проработкой и анализом значительного объема отечественной и зарубежной научной литературы, отраслевых отчетов ведущих консалтинговых агентств и годовых отчетов ведущих нефтегазовых компаний, а также открытых авторитетных источников статистических и аналитических данных по тематике исследования.

Автором проведено технико-экономическое обоснование проектов по утилизации отходов бурения по четырем сценариям при освоении месторождений углеводородного сырья с целью выявления наиболее эффективных с экономической и экологической точек зрения подходов. На основе реальных геоинформационных данных выделены группы месторождений и оценен интегральный показатель эффективности NPV с целью обоснования строительства инфраструктуры для переработки отходов бурения в регионе.

#### **Научная новизна:**

1. Определены методы утилизации отходов бурения согласно принципам циркулярной экономики, уточнены и классифицированы технико-экономические проблемы утилизации буровых отходов на этапе эксплуатационного бурения, а также обобщены возможные к использованию в российской практике экономические и экологические стимулы по обращению с отходами бурения в нефтегазодобывающих компаниях.

2. Обоснованы возможности производства различных видов товарной продукции из отходов бурения с выделением наиболее значимых продуктов для их использования в строительной индустрии в свете решения стратегических социально-экономических задач инфраструктурного развития территорий Уральского федерального округа.

3. Разработан методический подход выбора рентабельного метода утилизации буровых отходов при освоении месторождений углеводородного сырья на этапе эксплуатационного бурения, включающих сценарное моделирование и оценку экономических показателей эффективности, в том числе, с учетом использования методов государственного стимулирования.

4. Разработаны сценарии организации процесса утилизации нефтяного шлама, предполагающие использование услуг сторонних компаний, утилизацию собственными силами, переработку отходов для собственных нужд при строительных работах в рамках промышленного обустройства, строительство завода по производству строительных материалов в качестве товарной продукции.

5. Выделены группы месторождений и определен интегральный показатель эффективности проекта строительства завода по переработке отходов бурения при освоении нескольких месторождений углеводородного сырья в разные временные периоды, а также смоделировано сокращение дефицита строительных материалов за счет их дополнительного производства в рассматриваемом регионе.

**Теоретическая значимость** диссертационной работы заключается в уточнении концептуальных положений циркулярной экономики в рамках возможности ее использования в нефтегаздобывающей отрасли при разработке методических подходов к управлению отходами бурения с учетом расширения их жизненного цикла. Обоснованы организационно-экономические возможности использования технологий утилизации отходов предприятиями нефтегазодобычи с целью достижения положительных социально-экономических и экологических эффектов.

**Практическая значимость** диссертационной работы заключается в разработке методики обоснования принятия решений нефтегазовыми компаниями при выборе метода утилизации отходов бурения и оценке его экономической эффективности в условиях роста влияния экологических факторов, увеличения дополнительных коэффициентов к ставкам платы за негативное воздействие на окружающую среду и размера экологических платежей в случае нарушения законодательства РФ в сфере обращения с отходами. Разработанная методика позволяет определить местоположение строительства завода по переработке отходов бурения в строительные материалы для дальнейшей их реализации на рынке. Результаты диссертационного исследования

могут быть полезны нефтегазовым и нефтесервисным компаниям, занимающимся геологоразведкой, бурением и ремонтом скважин, добычей углеводородного сырья и утилизацией отходов производства и потребления, а также компаниям строительной отрасли. Кроме того, результаты исследования могут быть интересны органам федеральной и региональной власти, ведомственным учреждениям при разработке документов стратегического характера в области устойчивого развития промышленности и социально-экономического развития территорий. Результаты диссертации использованы в научной деятельности Федерального государственного автономного учреждения «Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики» (Акт внедрения от 17.04.2024 г., Приложение Г).

**Апробация результатов.** Основные положения и результаты работы докладывались на следующих семинарах и научных конференциях:

- VIII Международная конференция «Менеджмент, экономика, этика, техника – МЕЕТ 2022» (г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский горный университет, 06-07 октября 2022 г.);
- XIX Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский горный университет, 22-26 мая 2023 г.);
- IX Международная конференция «Менеджмент, экономика, этика, техника – МЕЕТ 2023» (г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский горный университет, 05-06 октября 2023 г.);
- VII Международная научно-практическая конференция «Теория и практика стратегирования» (г. Москва, Московская школа экономики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, 21-22 февраля 2024 г.).

**Личный вклад автора** заключается в постановке и обосновании цели, формулировании задач, выборе объекта, предмета и методов исследования; анализе текущего состояния и проблем российского нефтегазового комплекса, определяющих необходимость развития организационно-экономических

процессов утилизации отходов бурения в нефтегазодобывающих компаниях; анализе сущности, особенностей и факторов реализации методов утилизации отходов бурения в нефтегазодобывающих компаниях; создании многофакторной модели выбора метода утилизации буровых отходов и оценки экономической и экологической эффективности; обосновании показателей минимально рентабельного расстояния для оптимизации местоположения перерабатывающего производственного объекта с применением методов линейного программирования, а также интегрального показателя экономической эффективности.

**Публикации.** Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 4 опубликованных работах (пункты списка литературы – 105, 106, 128, 155), в том числе в 2 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (Приложение В).

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, включающего 208 наименований и четырех приложений. Содержит 156 страниц машинописного текста, 38 рисунков и 23 таблицы.

**Благодарности.**

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю – д.э.н., профессору А.Е. Череповицыну, ассистентам кафедры организации и управления, к.э.н. В.М. Соловьевой и к.э.н. Е.Г. Рутенко, а также остальному коллективу кафедр организации и управления и отраслевой экономики, аспиранту кафедры землеустройства и кадастров И.И. Рагузину, сотруднику отдела наукометрического анализа Управления по публикационной деятельности Е.В. Григорьеву, начальнику Управления по публикационной деятельности, к.э.н. П.С. Цветкову за помощь в подготовке диссертации.

# ГЛАВА 1 ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ И ПЕРЕРАБОТКИ БУРОВОГО ШЛАМА В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

## 1.1 Теория становления циркулярной экономики в нефтегазовой отрасли: утилизация отходов бурения

Глобальная экономика и общество в течение последних лет сталкиваются с серьезной проблемой устойчивого развития, которая предъявляет новые требования к существующим бизнес-моделям [156]. В 1987 году Комиссия Брундтланда (World Commission on Environment and Development – Всемирная комиссия по окружающей среде и развитию) дала определение устойчивому развитию, как развитию, которое отвечает потребностям настоящего без ущерба человечеству в будущем удовлетворять свои потребности [186]. Учитывая рост экономики, связанный с ростом населения и соответствующим увеличением нагрузки на окружающую среду, определение устойчивого развития утвердилось как гармоничное сосуществование социальной, экологической и экономической сфер с течением времени.

Экономика замкнутого цикла (циркулярная экономика) представляет собой потенциальный способ решения проблем устойчивости современного мира. Концепция данной экономики уходит от текущей линейной модели take-make-waste (дословно можно перевести как «бери-производи-выбрасывай») и создает замкнутые циклы, применяя оптимизацию производственного процесса, сокращение использования природных ресурсов, многократное или совместное использование продуктов и переработку генерируемых отходов [78, 144]. Около 75% мирового производства энергии основано на невозобновляемом виде ископаемого топлива, которое требует больших ресурсов для его добычи. Сжигание такого топлива приводит к разрушению естественных репродуктивных циклов биосферы. Другими словами, добытые из недр ресурсы используются и подвергаются последующей утилизации без необходимой переработки, в результате чего причиняется серьезное воздействие на хрупкие экосистемы и человека [153]. Обращая внимание на неиз-

бежный рост населения, влекущего за собой рост экономики, наращивание потребляемой энергии (рис. 1) и на невозобновляемость природных ресурсов циркулярная экономика призвана быть решением грядущих экономических и экологических кризисов [12, 14].



Составлено автором по данным источников [184, 206]

Рисунок 1 – Рост мирового населения и потребления энергии

Несмотря на проседание в потреблении энергии в 2020 году, связанным с пандемией коронавируса, в 2021 году потребление энергии продолжило свой закономерный рост аналогично предыдущим годам и в 2022 году превысило отметку в 600 ЭДж. С медленными изменениями в структуре энергобаланса мира (например, с ростом доли возобновляемых источников энергии) предполагается, что темпы роста выбросов диоксида углерода в атмосферу будут также постепенно снижаться. На данный момент ситуация изображена на рисунке 2: темпы прироста эмиссий имеют некую цикличность со временем. Но тем не менее, с 2019 года (не считая пандемию) темпы прироста затухают.



Составлено автором по данным источника [184]

Рисунок 2 – Динамика выбросов CO<sub>2</sub> и потребления энергии от ВИЭ

Такая картина свидетельствует о том, что мировое сообщество все же начинает реализацию программ по достижению поставленных целей устойчивого развития, представленные в докладе в 2015 году на Конференции ООН в Нью-Йорке [11].

Обращаясь к истории возникновения самой концепции циркулярной экономики, вспоминают научный труд Kenneth E. Boulding о «Теории Земли как космического корабля», опубликованный в 1966 году [125]. Автор более полувека назад писал о линейном и круговом типах добычи, производства и потребления, которые обсуждаются и по сей день. То, что автор называл «ковбойской экономикой», теперь называется «линейной экономикой», иными словами, всякое «безрассудное, эксплуататорское и насильственное поведение по отношению к окружающей среде» [125]. В противопоставление «ковбойской» он предлагал «экономику космонавта» (т.е. «циркулярную») в качестве решения, где человек «должен найти свое место в цикличной экологической системе». Вторая существенная часть этого исследования заключается в утверждении, что общество, лишившееся связей с историческими аспектами и утратившее свою позитивную перспективу на будущее, также утрачивает свою способность эффективно решать возникающие проблемы в настоящем времени и с течением времени становится нежизнеспособным.

В 1969 году в труде академика Н.П. Федоренко [102] была представлена теория оптимального функционирования хозяйства, в нем освещены проблемы природопользования в управлении общественным производством. Академик утверждал, что имеется тесная взаимосвязь между природой, человеком и производством, что подтверждает существование единства, взаимодействия и взаимовлияния между естественными науками и экономикой в системе. С учетом научно-технического прогресса и использования экономико-математических методов для усовершенствования планирования и управления народным хозяйством, академик предлагает методы рационального использования природных ресурсов страны.

Далее, развитие циркулярной экономики отражается в источнике [183]. В нем рассматривается важность увеличения срока службы товаров как одного из ключевых шагов к достижению устойчивого общества. В рамках данной концепции предлагается идея «экономии производительности», основанной на использовании системы спиральных петель с целью минимизации расхода материальных и энергетических ресурсов, а также снижения воздействия на окружающую среду, не препятствуя при этом экономическому росту и социальному развитию. Дополнительно Walter Stahel предложил ряд мер по продлению срока службы изделий, таких как их повторное использование, ремонт, переоборудование и восстановление. Эти меры в настоящее время являются основными принципами циркулярной экономики.

Вскоре в 1989 году Robert Frosch и Nicholas Gallopoulos представили концепцию «промышленной экологии». [143]. Они утверждали, что традиционная промышленная модель, которая существовала уже много лет, ориентирована в основном на максимизацию выгод для производителей и потребителей, но не всегда учитывает общие экономические интересы. Поэтому они предложили подход «промышленной экологии», который стремится к устойчивому балансу между экономическими и экологическими потребностями. Их концепция включала идею "отходы равны пище", при которой отходы от одного производства могут быть использованы как сырье для другого, что



позволяет сократить негативное воздействие промышленности на окружающую среду.

В 1996 году John Lyle ввел понятие «регенеративного дизайна» [161], который описывается как метод замены линейной системы потоков ресурсов циклическими, организованными в источниках, центрах потребления и обработки. Автор предложил использовать энергию из возобновляемых источников, уменьшить использование ископаемого топлива, максимально утилизировать материалы путем их повторного использования и обеспечить сбалансированное количество отходов, которое может быть повторно использовано без негативного воздействия на окружающую среду.

Понятие циркулярной экономики также находит отражение в концепции «биомимикрии» [122]. Эта концепция выходит за пределы предыдущих подходов, подчеркивая важность обучения урокам природы для решения человеческих, производственных и технологических проблем. Основываясь на трех основных принципах: природа как образец для решения человеческих задач; природа как критерий для оценки инноваций и природа как наставник [204]. Согласно концепции биомимикрии, за 3,8 миллиардов лет человечество не обладает полным контролем, и только природа способна создавать мир в соответствии с ее истинными законами.

Авторы источника [159] внесли существенный вклад на формирование концепции ЦЭ благодаря своему «Естественному капитализму». Ученые критикуют воздействие чистого капитализма на окружающую среду и выдвигают идею смены парадигмы, в соответствии с которой экономика рассматривается как «дочерняя компания» окружающей среды, а не наоборот. В связи с этим, они предлагают руководствоваться новыми принципами:

1. Эффективное использование ресурсов с помощью инновационных методов проектирования;
2. Переориентация производства на биологические процессы с применением принципа замкнутого цикла, исключающего образование отходов и негативное воздействие на окружающую среду;

3. Переход от моделей бизнеса, основанных на продаже товаров, к аренде непрерывного потока услуг, соответствующего изменяющимся потребностям потребителей;

4. Реинвестирование прибыли от бизнеса в восстановление, поддержание и расширение природного капитала.

Концепция естественного капитализма предлагает изменить принцип налогообложения с доходов и рабочих мест на налогообложение истощения ресурсов и загрязнения, средства от которого используются для компенсации ущерба окружающей среде.

В работе Michael Braungart и др. [126] обсуждается, как создавать продукты, учитывая различие между биологическим и техническим метаболизмом, чтобы сохранить качество материалов и увеличить срок использования. Благодаря такому подходу происходит переход от эффективности к действенности с целью получения лучшего эффекта и снижения воздействия на экологическую систему.

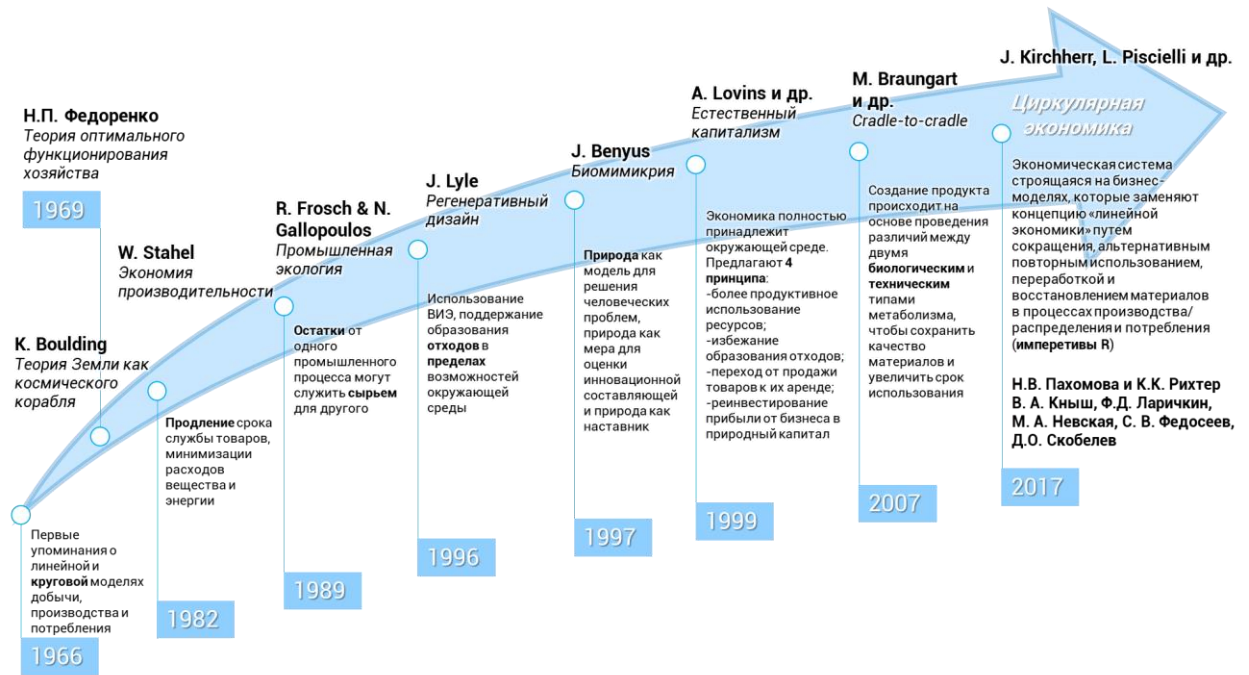
Если биомимикрия уделяет внимание природе как центральному элементу, то «голубая экономика» [175] способствует достижению равновесия между природой и человечеством. Эта концепция вызывает сомнения по поводу существующей экономической модели и предлагает использовать доступные ресурсы в каскадных системах, где отходы одного продукта становятся исходным материалом для создания нового продукта и последующего его улучшения.

Концепцию циркулярной экономики в настоящее время активно продвигает ЕС, несколько национальных правительств, включая такие страны как Китай, Япония, Великобритания, Франция, Канада, Нидерланды, Швеция и Финляндия. По оценкам Европейской комиссии экономические переходы к моделям циркулярной экономики могут обеспечить ежегодный экономический эффект в размере 600 миллиардов евро только для производственного сектора ЕС [196].

Сам термин циркулярная экономика уже конкретно закрепляется с 2017 года в работах многих авторов [120, 147]. Так, в статье [61] обсуждается концепция перехода к экономике замкнутого цикла в России, особое внимание уделяется таким аспектам, как управление отходами, устойчивые методы ведения бизнеса и необходимость инноваций в экологическом дизайне и бизнес-моделях. В них подчеркиваются преимущества экономики замкнутого цикла, включая создание рабочих мест, сокращение выбросов углекислого газа и повышение конкурентоспособности. Однако также решаются такие проблемы, как технологические барьеры, низкая инвестиционная привлекательность и необходимость создания комплексных систем обращения с отходами и подчеркивается важность перехода к экономике замкнутого цикла для улучшения экологической, экономической и социальной ситуации в России.

В монографии [79] также отражаются вопросы, связанные с особенностями применения концепции циркулярной экономики на примере горнодобывающего комплекса: подробно разобраны проблемы вовлечения промышленных отходов в хозяйственный оборот, оценена возможность их решения с учетом противоречий горного и экологического законодательств.

Таким образом, эволюция концепций экономики замкнутого цикла начиналась с осознания необходимости уменьшения ресурсозатрат и минимизации отходов в процессе производства. С середины XX века и по сей день идеи циркулярной экономики развиваются вместе с технологическими и социальными изменениями. В целом, эволюцию концепций циркулярной экономики можно представить в виде схемы на рисунке 3.



Составлено автором

Рисунок 3 – Эволюция понятий и концепций, связанных с циркулярной экономикой

Концепцию ЦЭ с точки зрения устойчивого развития и его трех измерений, экономического, экологического и социального, можно представить в виде схемы (рис. 4). Для такой экономики справедливо определение циркулярной экономики как экономики, основанной на установленных общественных системах производства и потребления, направленной на максимизацию предоставляемых услуг путем организации линейного потока материалов и энергии в рамках системы «природа-общество-природа». Эффективное функционирование экономики замкнутого цикла способствует развитию всех трех аспектов устойчивого развития, удерживая пропускную способность на уровне, приемлемом для природы, и учитывая экологические циклы в экономических процессах, соблюдая их скорости воспроизводства [23, 153].



Составлено автором по данным источника [153]

Рисунок 4 – Концепция циркулярной экономики в рамках устойчивого развития

В идеализированной системе, изображенной на рисунке 4, организация физических потоков материалов и энергии позволяет сокращать первичные поступления в систему и количество эмиссий (отходов, выбросов) при выходе из нее. Также снижаются затраты на ресурсы и энергию утилизации отходов и сокращения выбросов. Таким образом, появляются перспективы для развития бизнеса, рынка и занятости, поскольку полученные материалы используются повторно (продолжают циркулировать в экономике на протяжении более длительного временного периода). В такой концепции видны возможности повышения имиджа компаний, способствующего продвижению эко-маркетинга продукции и услуг.

Для того чтобы добиться прогресса в решении проблем устойчивости нефтегазового сектора, таких как истощение природных ресурсов, увеличе-

ние выбросов парниковых газов и рост темпов образования отходов, необходимо осуществить переход от линейной модели производства к модели замкнутого цикла. Данная модель включает в себя оптимизацию производственных процессов, способствующую многократному или совместному использованию ресурсов в экономических процессах, переработку отходов, сокращение выбросов и снижение потребления ресурсов, а также повторное использование вторичных ресурсов [90, 91, 144].

Многие исследователи занимались изучением устойчивого развития нефтегазового сектора [116, 121, 163]. Так, Kun Huang и Jian Zhang определили стратегии замкнутого цикла для добычи нефти и газа в Китае [154], ученые из Аргентины [130] пытаются выявить те сектора нефтегазовой промышленности, в которых возможно применение концепции циркулярной экономики со всеми ее преимуществами и недостатками. Теоретические и методологические аспекты перехода к циркулярной экономике в сфере недропользования подробно освещены в научной работе [39], авторы которой приходят к выводу о том, что циркулярная экономика является актуальным подходом к экономическому развитию, основанным на рациональном использовании ресурсов и на минимальном воздействии на окружающую среду, а ее принципы применимы и эффективны в сфере недропользования.

Нефтегазовый сектор в производственном смысле продолжает расти, несмотря на прирост доли использования альтернативных источников энергии. Так как хозяйственная деятельность нефтегазовых компаний экстенсивна (ресурсозатратна, подвержена большой утечке эмиссий), для нее особенно важно вносить серьезные корректировки в методы управления организационно-хозяйственной деятельностью. Нефтегазовая отрасль представляет собой одну из самых крупных в мировой экономике, с непрерывным увеличением доходов и расходов, необходимых для удовлетворения потребностей в энергии у потребителей. Процесс создания стоимости продукции в нефтегазовой сфере включает в себя три основных сектора [105]:

1. Upstream. (E&P, блок разведки и добычи). В нем ведется поиск месторождений нефти и газа комплексом геолого-геофизических инструментов, бурение скважин, строительство объектов промышленного обустройства.

2. Midstream. Транспортировка углеводородов посредством трубопроводов, морскими танкерами, железнодорожным и автомобильным транспортом.

3. Downstream. Переработка сырой нефти и природного газа, хранение и сбыт готовой продукции, доставка конечному потребителю.

Из-за присущих операциям по добыче нефти и газа характеристик высокого риска предприятия постоянно принимают меры по смягчению негативного воздействия на окружающую среду и общество. Однако, серьезные проблемы препятствуют бесперебойному ведению бизнеса (табл. 1) [9, 20, 167].

Таблица 1 – Проблемы устойчивого развития нефтегазового сектора

Группа факторов	Проблемы
Технологические и инновационные	Сложности процессов бурения и добычи, особенно при разработке трудноизвлекаемых запасов
	Проблемы, связанные с обработкой растущего объема данных
	Низкий процент внедрения инновационных технологий для уменьшения вредного воздействия на окружающую среду
	Необходимость развития углубленной переработки нефти и газа для производства продукции с высокой добавленной стоимостью
	Использование новых технологий геофизической разведки для повышения эффективности поисков месторождений
	Низкий доля внедрения цифровых технологий в процессы добычи и транспортировки нефти и газа для оптимизации операций

## Продолжение таблицы 1

Группа факторов	Проблемы
Макроэкономические	Возможность экономического кризиса в связи с нестабильностью цен на нефть на мировых рынках
	Рост инфляции и девальвации национальной валюты из-за колебаний в нефтяных доходах страны
	Ущерб для экономики страны, зависимой от уровня добычи УВ из-за сокращения инвестиций в нефтегазовый сектор в связи с ростом доли альтернативных источников энергии
Энергетические	Недостаточное использование альтернативных источников энергии в нефтегазовом секторе, таких как солнечная или ветровая энергия
	Недостаточная энергоэффективность процессов добычи и переработки нефти
	Рост потребления энергии в нефтегазовом секторе из-за увеличения объемов добычи трудноизвлекаемых запасов
Экологические	Загрязнение водных ресурсов из-за несанкционированного сброса отходов от производства нефтепродуктов
	Угроза флоре и фауне из-за разработки новых нефтяных месторождений на экологически хрупких территориях
	Рост выбросов парниковых газов из-за дефицита использования современных средств очистки и переработки нефти и газа
	Рост накопления отходов производств и потребления, сложности их эффективной утилизации без ущерба среде
	Риски разливов и аварийных ситуаций
Геополитические	Ограничения для экспорта нефти из-за политических санкций или торговых споров между странами
	Негативное влияние геополитических притязаний на инвестиции и развитие нефтегазового сектора в сфере сервисных услуг, НИОКР и инноваций
Социальные	Рост социальных неравенств и конфликтов с местным населением в районах нефтегазодобычи
	Возможные негативные последствия для здоровья местных жителей из-за загрязнения окружающей среды в районах добычи и переработки нефти



*Продолжение таблицы 1*

Группа факторов	Проблемы
Управленческие	Недостаточная прозрачность и отчетность в деятельности нефтегазовых компаний
	Отсутствие механизмов контроля за соблюдением экологических стандартов и норм в нефтегазовой отрасли
	Низкая степень вовлечения общественности и заинтересованных сторон в процессы принятия управленческих решений

Составлено автором

Перечисленные проблемы представляют собой набор факторов, которые сильнее всего повлияли на крупные нефтегазодобывающие компании в процессе реализации политики устойчивого развития. Некоторые из них на сегодняшний день остаются актуальными. Некоторые из вышеупомянутых проблем приводили к многочисленным экологическим кризисам в прошлом. В связи с такой тенденцией, в 2015 году государства – члены Организации Объединенных Наций одобрили 15-летнюю программу, направленную на достижение Целей устойчивого развития (ЦУР) к 2030 году. Эти цели требуют согласованных усилий по повышению благосостояния общества, поощрению равенства и охране окружающей среды. Следовательно, при решении вопросов устойчивого развития в нефтегазовой отрасли соблюдение принципов экономики замкнутого цикла является необходимым [165].

Наиболее известными принципами циркулярной экономики в настоящее время являются принципы R-императивов. Изначально, концепция ограничивалась тремя принципами (3R) [19, 182]: Reduce (снижение), Reuse (повторное использование), Recycle (переработка). Данная концепция была разработана на основе «иерархии отходов» и показывает конкретную последовательность приоритетных действий, которые необходимо предпринять для сокращения количества образующихся отходов, а также для улучшения процессов управления отходами.

Но, нынешнее понимание концепции 3R выходит за рамки простого сокращения, повторного использования и вторичной переработки и охватывает гораздо более широкий пласт подходов, а именно требуется построение экономики, основанной на подходе жизненного цикла.

Дополнительно к трем основным R иногда добавляется четвертое R «Rethink» (переосмысление) или «Recover» (восстановление). Концепция 4R находит место в нефтегазовой отрасли. Исследование [176] определяет две основные цели, имеющие ключевое значение для осуществления перехода к экономике замкнутого цикла: первоначальная цель предполагает сокращение добычи ископаемых ресурсов, в то время как последующая цель сосредоточена на минимизации материальных потерь и сокращении выбросов в атмосферу, как показано на рисунке 5.



Составлено автором по данным источника [129, 160]

Рисунок 5 – Модель 4R для нефтегазовой промышленности

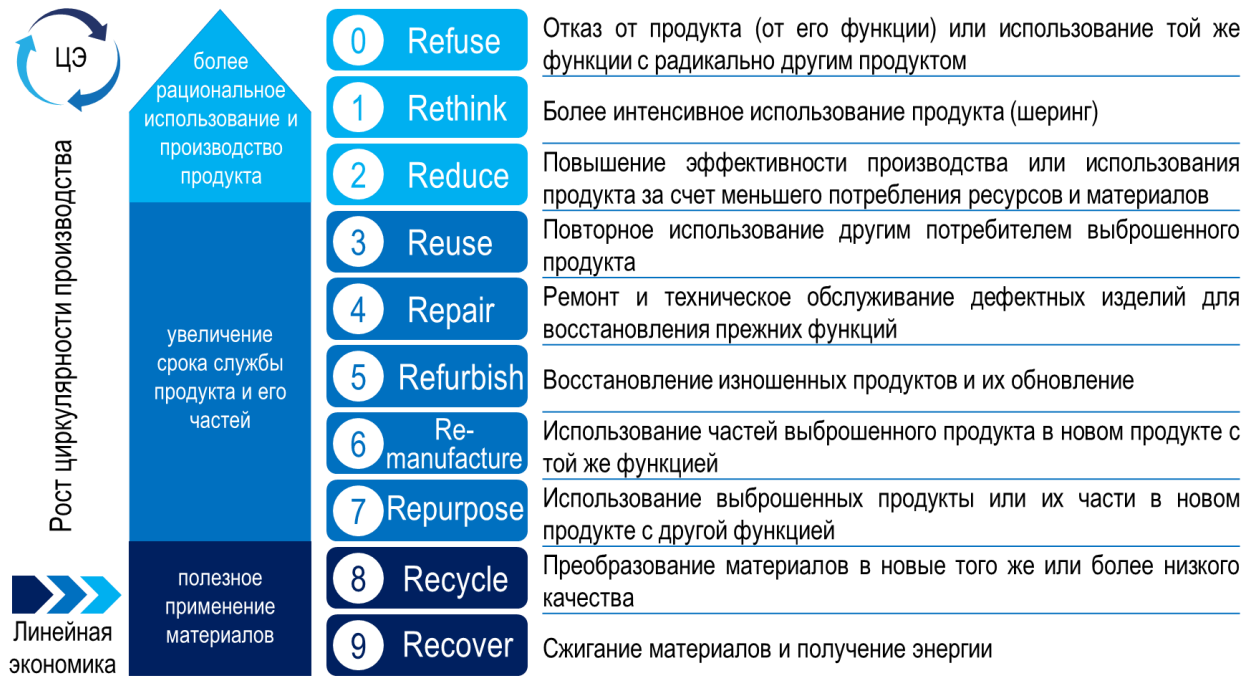
Концепции со временем развиваются. Так, концепция 5R включает в себя отказ от использования лишних продуктов (Refuse), сокращение потребления и использование ресурсов (Reduce), повторное использование продуктов (Reuse), их переработку (Recycle) и восстановление (Recovery). Эти шаги представляют собой логическую последовательность действий для сокращения отходов и уменьшения негативного воздействия на окружающую среду [190].

Далее, концепция 6R добавляет к вышеперечисленным шагам еще один – Rethink, что означает пересмотреть свои потребности и привычки потребления, а также сделать осознанный выбор в пользу более устойчивых и экологических решений [150].

Концепция 7R включает все предыдущие шаги, а также добавляет еще один – Repair. Это означает не только увеличение срока службы продуктов путем их ремонта, но и стремление к покупке качественных товаров, которые могут быть легко восстановлены. [191].

Концепция 8R включает процесс переосмысления покупки товаров потребителями. Это означает более внимательное отношение к выбору продуктов, учитывая их экологическую ценность, ресурсозатраты на производство и способы их утилизации после использования. [114].

Последней из известных концепций является модель 9R, которая показывает иерархические уровни между линейной и циркулярной экономикой. Самый высокий уровень описывает циклическую экономику. Это означает, что продукты становятся ненужными или заменяются совершенно другим продуктом. Самый низкий уровень описывает линейную экономику. На этом уровне отходы сжигаются, и в результате этого процесса вырабатывается энергия и тепло для дальнейшего использования (рис. 6).



Составлено автором по данным источника [114]

Рисунок 6 – Концептуальное представление модели 9R

Согласно такой модели, определяется иерархия для управления отходами бурения в нефтегазовой сфере (табл. 2). Управление отходами начинается с предотвращения образования самих отходов. Предотвращение происходит путем изменения методов эксплуатации. Этот принцип должен быть включен во все этапы жизненного цикла продукта [171].

В целом, «управление отходами бурения», так же как и «обращение с отходами бурения» (с англ. drilling waste management) – это комплекс мероприятий, направленных на минимизацию и рациональное использование отходов, с момента их возникновения в результате бурения скважин и до их окончательного удаления [202]. Основные мероприятия включают в себя сбор, транспортировку, обработку и утилизацию отходов, а также мониторинг и регулирование процесса управления отходами и связанных с отходами законов, технологий и экономических механизмов.

Основными механизмами управления отходами бурения выступают концепция иерархии отходов, концепция жизненного цикла продуктов, получаемых из отходов бурения, концепция ресурсоэффективности при бурении

скважин, а также механизм «загрязнитель платит» за размещение отходов бурения [145].

Таблица 2 – Иерархия управления отходами на основе принципов ЦЭ

	Стратегия	Описание и инструменты	Ограничения внедрения
Более предпочтительно, но гораздо дороже	<b>Reduce</b>	Безотходное производство. Полный замкнутый цикл без отходов производств и потребления	<ul style="list-style-type: none"> <li>• высокий уровень инвестиций;</li> <li>• сложность осуществления при наличии особо опасных отходов</li> </ul>
<b>&gt;&gt;&gt; РОСТ ЦИРКУЛЯРНОСТИ &gt;&gt;&gt;</b>	<b>Replace</b>	Замена компонентов для устранения образования отходов, снижения их токсичности или упрощения обработки: -использование буровых растворов на синтетической основе; Разбуривание многоствольных скважин, ЗБС, использование РУС	<ul style="list-style-type: none"> <li>• увеличение стоимости закупки реагентов;</li> <li>• необходимость наличия специального технологического оборудования</li> </ul>
	<b>Reuse</b>	Повторное использование бурового раствора, буферной жидкости	<ul style="list-style-type: none"> <li>• увеличение стоимости операционных затрат на очистку раствора и отделение его от примесей</li> </ul>
	<b>Recycle</b>	Утилизация путем переработки для создания нового продукта или для продолжения использования в качестве сырья	<ul style="list-style-type: none"> <li>• проблемы с доступностью технологий по переработке отходов;</li> <li>• высокие капитальные и эксплуатационные затраты;</li> <li>• наличие высококвалифицированного персонала</li> </ul>
	<b>Recover</b>	Извлечение материалов или энергии из отходов путем сжигания (waste-to-energy)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• наличие высококвалифицированного персонала</li> </ul>
	<b>Treat</b>	Первичная очистка отходов (гравитационные и виброакустические виды очистки, снижение класса опасности)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• наличие транспортных мощностей;</li> <li>• низкие операционные затраты при захоронении в амбарах, высокие – при обратной закачке в пласт;</li> <li>• обязательные экологические платежи</li> </ul>
Менее предпочтительно, но дешевле	<b>Dispose</b>	Обезвреживание за счет захоронения в шламонакопителях, шламовых амбарах и на специализированных полигонах.  Обратная закачка в пласт	<ul style="list-style-type: none"> <li>• высокие – при обратной закачке в пласт;</li> <li>• обязательные экологические платежи</li> </ul>

Составлено автором по данным источника [171]

Рассмотрим подробнее каждый пункт иерархии отходов.

*Стратегия императива Reduce – снижение, минимизация.*

Принцип Reduce имеет два основных значения: уменьшение объема/массы отходов и снижение токсичности (класса опасности) конкретного потока отходов. Управление отходами по данному принципу обеспечивается за счет контроля цепочки поставок, стимулирования инновационных практик и технологий для обеспечения достижения целей по минимизации отходов. Некоторые способы минимизации отходов:

- Использование гравийных насадок для значительного уменьшения выноса горной породы (шлама);
- Предварительное моделирование гидроиспытаний пласта для уменьшения потребности в закачиваемой и соответственно утилизируемой воде;
- Возврат неиспользованных продуктов и переработанных контейнеров поставщикам по контрактам (как элемент контроля цепочки поставок).

*Стратегия императива – повторное использование.*

Повторное использование материалов в их первоначальном виде или после восстановления, например: восстановление контейнеров для хранения химреагентов, рециклинг восстановленных буровых растворов и очищенной воды (буферной жидкости), восстановление нефти.

*Стратегия императивов Recycle и Recover – переработка и восстановление.*

Преобразование отходов в пригодные для использования материалы и /или извлечение энергии из отходов. Примеры:

- Переработка жидкой фракции в топливо (waste-to-fuel) и твердой в сырье для производства строительных материалов;
- Измельчение твердой части и использование в качестве проппанта для проведения гидроразрыва пласта;
- Использование углеводородов и продуктов, сжигание которых может создавать значительное количество тепла для рекуперации энергии.

*Стратегия императива Treat – очистка.*

Уничтожение, детоксикация и/или нейтрализация остатков с помощью таких процессов, как:

- Биологические методы — компостирование, рекультивация;
- Термические методы — сжигание, термодесорбция;
- Химические методы — нейтрализация, стабилизация;
- Физические методы — фильтрация, центрифугирование, уплотнение или измельчение.

*Стратегия императива Disposal – захоронение.*

Безопасная утилизация отходов, путем их захоронения на поверхности (шламонакопители, шламовые амбары, погребальные ямы, полигоны), либо под землей (обратная закачка в пласт).

## **1.2 Обзор методов утилизации отходов бурения и их потенциальная экономическая и экологическая эффективность**

Бурение скважин в нефтегазовой отрасли требует использования бурового раствора, который непрерывно закачивается в скважину через полую бурильную колонну и возвращается через затрубное пространство скважины, вынося с собой горную породу, разрушаемую породоразрушающим инструментом (ПРИ) или, так называемым, долотом. Основные функции бурового раствора [117]:

- обеспечение транспорта бурового шлама от забоя на поверхность;
- охлаждение и поддержание в чистом виде ПРИ;
- смазывание бурового долота для снижения трения между бурильными трубами и стенками ствола скважины
- создание гидростатического давления в скважине для стабилизации ствола скважины и предотвращения попадания флюида в скважину при вскрытии проницаемых пластов.

Последняя из этих функций предотвращает выброс пластовых флюидов из скважины. Гидростатическое давление достигается путем регулирова-

ния плотности бурового раствора путем добавления очень тяжелых реагентов, таких как барит ( $BaSO_4$ ) для противодействия пластовому давлению.

Когда буровое долото измельчает породу в буровой шлам, этот шлам захватывается потоком жидкости и выносится на поверхность, где шлам отделяется от жидкостей и других загрязняющих веществ, так что буровой раствор может быть повторно использован в процессе эксплуатации (рис. 7). Однако флюиды постоянно модифицируются путем добавления компонентов в соответствии с потерей реологических свойств в скважине и изменениями условий окружающей среды в скважине.

Удаление твердых частиц является одним из наиболее важных аспектов, поскольку оно напрямую влияет на эффективность бурения и дает возможность снизить общие затраты на проходку скважин [141].

Первая стадия очистки отходов включает циркуляцию смеси жидкости и шлама через вибрационные сита. Жидкая среда проходит через сита и рециркулируется обратно в резервуары [134]. Буровой шлам собирается и хранится в резервуаре или яме для дальнейшей обработки или утилизации. Дополнительные механические процессы, такие как гидроциклонирование, центрифугирование и гравитационное отстаивание, часто используются для дальнейшего удаления как можно большего количества мелких твердых частиц, поскольку эти частицы, как правило, влияют на производительность бурения. Отделенные мелкие твердые частицы объединяются с более крупным буровым шламом, удаляемым с помощью шейкеров [192]. Ограничения в технологиях сепарационной обработки часто приводят к тому, что ряд базовых жидкостей, компонентов бурового раствора и, возможно, сырой нефти неэффективно удаляются из шлама и, таким образом, попадают в виде остатков в поток твердых отходов. Следовательно, сбросы отходов бурения состоят из бурового шлама, к которому прилипают буровой раствор, пластовая вода и нефть [164].



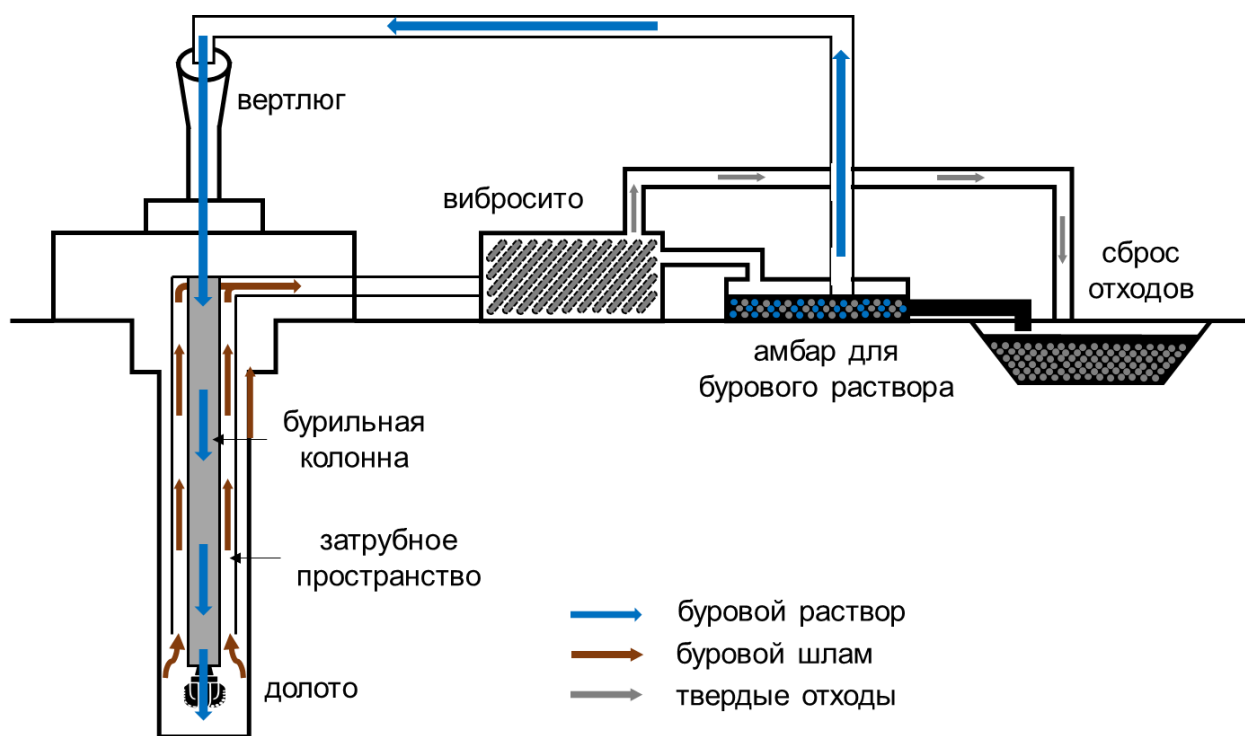


Рисунок 7 – Схематическая иллюстрация процесса бурения скважины [119].

Буровые растворы классифицируются в зависимости от природы непрерывной фазы или основы: водная, нефтяная, газовая или синтетическая основы (табл. 3).

Таблица 3 – Классификация буровых растворов

Основа	Описание	Примеры	Экономика	Экология
Водная (water based)	Твердые вещества взвешены в воде и содержат глину высшей степени гидрофильности, которая увеличивает вязкость и предотвращает потерю жидкости из скважины	<ul style="list-style-type: none"> <li>• высококоллоидальная глина</li> <li>• полимерные растворы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• недорогой</li> <li>• менее эффективное бурение</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• безопасны для сброса и захоронения</li> <li>• не нарушают целостность экосистем</li> <li>• IV и V класс опасности</li> </ul>
Нефтяная (oil based)	Твердые вещества суспендированы в дизельном топливе или жидком парафине и могут содержать бариты ( $BaSO_4$ ), используемые для регулирования гидростатического давления из-за их высокой плотности	<ul style="list-style-type: none"> <li>• дизельное топливо</li> <li>• сырая нефть</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• более эффективное бурение</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• опасны для сброса и захоронения</li> <li>• необходимость очистки высокой степени</li> <li>• III класс опасности</li> </ul>

## Продолжение таблицы 3

Основа	Описание	Примеры	Экономика	Экология
Синтетическая (synthetic based)	Твердые вещества суспендируются в синтетических УВ, которые обеспечивают производительность бурения, сравнимую с растворами на нефтяной основе, но с гораздо меньшим воздействием на окружающую среду и человека	<ul style="list-style-type: none"> <li>• растительные эфиры</li> <li>• олефины</li> <li>• линейные парафины</li> <li>• простые эфиры</li> <li>• ацетали</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• дорогой</li> <li>• эффективность бурения максимальная</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• III и IV классы опасности</li> <li>• необходимость очистки высокой степени</li> </ul>
Пневматическая (pneumatic based или gas based)	Водный раствор биоразлагаемых смесей ПАВ, определенных полимеров или солей (хлориды калия или натрия) вводят в поток воздуха или газа для образования аэрозоля или пены	<ul style="list-style-type: none"> <li>• сжатый сухой воздух</li> <li>• природный газ</li> <li>• аэрозоль</li> <li>• вспененный газ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• сложность приготовления</li> <li>• доп. затраты</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• III и IV классы опасности</li> </ul>

Составлено автором по данным источников [117, 134, 141, 199].

подавляющее большинство всех буровых растворов представляют собой *системы на водной основе*, или *water based drilling fluids (WBDF)*. Относительно недорогие составы с низким воздействием на окружающую среду. Типы таких растворов зависят от состава водной фазы, веществ, повышающих вязкость (глины или полимеры) и контролирующих реологические свойства (дефлокулянты или диспергаторы).

*Буровые растворы на нефтяной основе, или oil based drilling fluids (OBDF)* содержат дизельное топливо или сырую нефть в качестве непрерывной фазы.

*Буровые растворы на газовой основе, или gas based drilling fluids (GBDF)* используются в основном для бурения твердых пород и пластов с аномально низким давлением. В качестве основы выступают сжатый сухой воздух или природный газ, аэрозоль на водной основе и стабильная пена.

*Буровые растворы на синтетической основе, или synthetic based drilling fluids (SBDF)* представляют собой относительно новый класс буровых растворов, которые особенно полезны при бурении глубоководных и

наклонных скважин. Эти буровые растворы были разработаны, чтобы обеспечить оптимальную с экологической точки зрения альтернативу буровым растворам на нефтяной основе, а также предложить альтернативу высоким затратам, связанным с утилизацией бурового шлама, образующегося при использовании буровых растворов на основе дизельного топлива или сырой нефти.

В таблице 4 представлен перечень добавок для бурового раствора для получения конкретных свойств (поддержание плотности, реологических и иных свойств).

Таблица 4 – Реагенты бурового раствора [199]

Тип реагента	Примеры компонентов
Утяжелители	барит, гематит
Понизители влажности	КМЦ, крахмал
Понизители вязкости	Нитролигнин, полифосфаты
Ингибиторы диспергации глин	KCl, CaCl <sub>2</sub> , MgCl <sub>2</sub> , Ca(OH) <sub>2</sub> , NaCl, стекло натриево-жидкое
Термостабилизирующие агенты	Na <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> , K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
Связывающие ионы Ca <sup>2+</sup> и Mg <sup>2+</sup>	Фосфаты натрия и калия
Смазочные добавки	Графит, нефть
Эмульгаторы	сульфонол
Пеногасители	Полиэтилен, кислота нефтяная, спирты синтетические, триксан
Регуляторы pH	NaOH, KOH
Поглотители H <sub>2</sub> S	Диоксид марганца технический
Наполнители	Асбест, слюда молотая

Таким образом, состав самого только бурового раствора многообразен и включает в себя большое количество реагентов. Некоторые добавки сами по себе не являются токсичными, но при взаимодействии с минералами пласта образуют ядовитые вещества. Помимо солей бария, в качестве токсичных элементов выступают тяжелые металлы: свинец, медь, цинк, никель, кадмий,

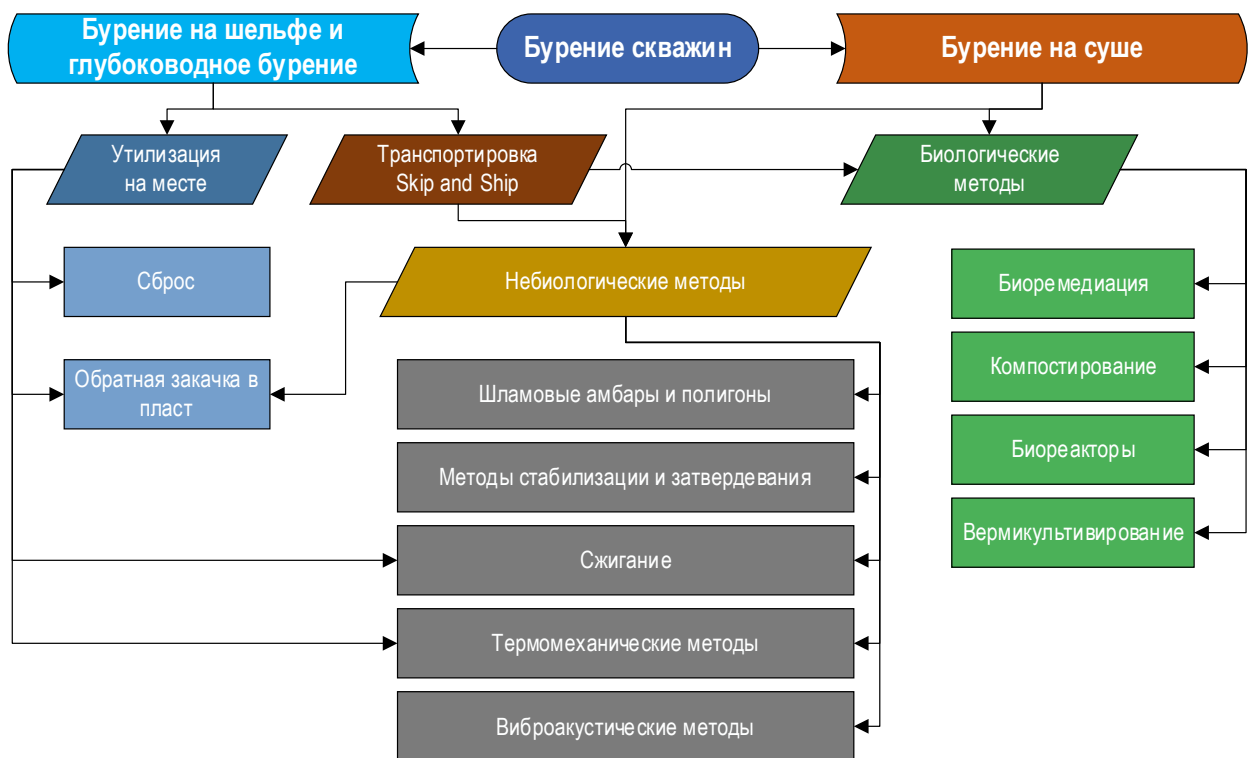
кобальт, сурьма, олово, висмут, ртуть [199], а также серебро, вольфрам, железо, золото и марганец [80]. Согласно [33] токсичность использованного бурового складывается из концентрации полимеров, солей тяжелых металлов и других добавок. Наиболее опасным и токсичным полимером выступает полиакриламид (ПАА), который может проявлять канцерогенные свойства [169].

Так как отходы бурения являются поликомпонентной смесью и могут состоять из широкого спектра химических веществ [197, 203, 205], урон окружающей среде при некорректном обращении с ними может быть катастрофичен. Также, утилизация отходов бурения зачастую является процессом дорогостоящим, наукоемким и времязатратным и в условиях добычных районов со слабой транспортной инфраструктурой стоимость логистики отходов может достигать до \$230 за тонну [31], кроме того, при маломасштабном бурении [170] (например, бурение разведочных скважин), процессы переработки шлама также являются экономически неэффективными [128, 157]. Поэтому, зачастую используют самые простые и низкзатратные способы утилизации отходов бурения, такие как захоронение в амбарах и полигонах [119, 170, 205]. Это простой и недорогой способ, который используется десятилетиями и приемлем для большинства регулирующих органов. Учитывая низкую стоимость этого процесса, при бурении на суше в большинстве регионов практически нет стимулов для изучения и внедрения альтернативных вариантов утилизации бурового шлама [131]. Очистка амбара происходит путем засыпания местным покровом почв отходов, поверхность выравнивается, чтобы предотвратить накопление воды, а территория засаживается местными видами, чтобы уменьшить потенциал эрозии и способствовать полному восстановлению экосистемы района [131].

Примером захоронения путем обратной закачки в пласт в России является опыт компании Sakhalin Energy [27]. На платформе «Моликпак» потребовалось использование бурового раствора на нефтяной основе из-за осложненных условий бурения, а именно длины и технического характера скважи-

ны. Компания придерживается политики нулевого сброса шлама на нефтяной основе в морскую среду согласно государственному регулированию. Весь шлам повторно закачивается в специальную скважину для повторной закачки шлама, что предотвращает любое негативное воздействие на окружающую среду. Необходимо понимать, что этот процесс энергозатратный и закачка имеет риски утечки отходов из-за высокого давления нагнетания и потери ценных компонентов нефти [139].

Но многие нефтегазовые компании в мире используют и иные технологии, обеспечивающие менее негативное влияние на окружающую среду, несмотря на высокую их стоимость и технологическую инновационность [139, 152, 192]. В целом, технологии утилизации буровых отходов можно представить в виде следующей классификации (рис. 8).



Составлено автором по данным источников [112, 118, 123, 140, 158, 180, 181]

Рисунок 8 – Классификация методов утилизации отходов бурения

Каждый метод имеет свои преимущества, недостатки и ограничения по применению. Так, например, сброс в море осуществляется только в случае

бурения скважин раствором на водной основе, а при бурении на нефтяной основе необходимо использовать обратную закачку в пласт или иные методы очистки [164]. Биологические методы наименее затратны в экономическом смысле, но требуют больших площадей и временных затрат [179]. Сжигание и термические методы рекомендуют применять при высоком содержании углеводородов в отходах [127].

В таблице 5 представлено краткое сравнение биологических и небιологических технологий для обработки бурового шлама. В таблице представлены факторы, которые необходимо учитывать при выборе наилучшей технологии обращения с отходами бурения, включая экологические риски, что обеспечивает основу для принятия решений относительно утилизации отходов бурения, а также стоимость; другие факторы включают местную окружающую среду, аспекты безопасности и соответствующую нормативную базу [157].

Таблица 5 – Преимущества, недостатки и ограничения методов утилизации отходов бурения

Метод	Преимущества	Недостатки	Ограничения	Источник
Сброс отходов в море	<ul style="list-style-type: none"> <li>• гораздо экономичнее, чем транспортировка и захоронение отходов на суше;</li> <li>• снижение риска утечки при транспортировке отходов;</li> <li>• позволяет вести непрерывное бурение без необходимости частых перерывов для транспортировки шлама на берег, что очень важно при бурении на больших глубинах или в арктическом климате</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• может оказывать негативное воздействие на морскую флору и фауну и экосистемы (загрязняя морское дно и влияя на качество воды);</li> <li>• строгие правила могут привести к штрафам и неустойкам;</li> <li>• сброс бурового шлама в море может рассматриваться как вредный для окружающей среды и привлекать негативное внимание общественности и экологических групп</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• точный мониторинг воздействия на окружающую среду может быть затруднен;</li> <li>• в некоторых регионах это может быть единственным возможным вариантом утилизации бурового шлама;</li> <li>• неопределенность в отношении долгосрочных последствий утилизации бурового шлама на шельфе для морских экосистем</li> </ul>	[140, 174]

Продолжение таблицы 5

Метод	Преимущества	Недостатки	Ограничения	Источник
Обратная закачка в пласт	<ul style="list-style-type: none"> <li>• экономичнее по сравнению с транспортировкой до берега;</li> <li>• отсутствие простоев при бурении;</li> <li>• снижение негативного воздействия на экосистему и морскую среду обитания за счет нулевого сброса отходов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• риск разрыва пласта во время закачки;</li> <li>• повышенное потребление энергии;</li> <li>• обязательная наличие подходящих геологических условий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• потребность в специализированном оборудовании и инфраструктуре для закачки;</li> <li>• требует мониторинга и управления для обеспечения соответствия нормативным требованиям и снижения потенциальных экологических и технических рисков</li> </ul>	[128, 139, 151]
Захоронение в буровых амбарах	<ul style="list-style-type: none"> <li>• низкая стоимость ввиду отсутствия необходимости в транспорте отходов;</li> <li>• использование доступной и недорогой техники;</li> <li>• простота технологии;</li> <li>• возможности для будущего применения</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• опасности загрязнения почвы и подземных вод;</li> <li>• чрезмерное накопления отходов ведет к росту налоговых платежей и штрафов;</li> <li>• ограничения на пользование землей и потенциальные конфликты с другими пользователями</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• компании должны продумывать долгосрочные планы утилизации отходов и ликвидации амбаров, чтобы избежать проблем в будущем;</li> <li>• требует тщательного мониторинга и управления</li> </ul>	[135, 181, 193]
Стабилизация и загвешивание	<ul style="list-style-type: none"> <li>• снижение класса опасности отходов;</li> <li>• значительное сокращение объема буровых отходов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• процесс требует специальной экспертизы, оборудования и реагентов, что увеличивает сложность и потенциальные финансовые барьеры;</li> <li>• создает риск вымывания опасных веществ в окружающую среду</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• эффективность может варьироваться в зависимости от геологических условий места бурения;</li> <li>• для обеспечения долгосрочной стабильности и эффективности обработанного шлама могут потребоваться мониторинг и техническое обслуживание, что дополняет текущие требования к управлению</li> </ul>	[157, 181]

Продолжение таблицы 5

Метод	Преимущества	Недостатки	Ограничения	Источник
Сжигание	<ul style="list-style-type: none"> <li>• значительное сокращение объема бурового шлама;</li> <li>• эффективное удаление опасных и органических материалов;</li> <li>• возможность преобразования отходов в энергию и снижение общего воздействия на окружающую среду</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в результате процесса выделяются загрязняющие вещества, включая твердые частицы, оксиды азота, летучие органические соединения и диоксид углерода;</li> <li>• наличие золы или других остатков может потребовать дополнительных мер по удалению</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• высокий уровень энергопотребления и денежных затрат</li> <li>• требуется специализированное оборудование, разрешения и соблюдение нормативных стандартов, что увеличивает сложность эксплуатации и потенциальные затраты;</li> <li>• потенциал сжигания для рекуперации энергии не всегда может компенсировать потребление энергии и денежные затраты</li> </ul>	[185]
Термомеханическая очистка и термическая десорбция	<ul style="list-style-type: none"> <li>• эффективное удаление углеводородов и других загрязняющих веществ;</li> <li>• значительное сокращение объема бурового шлама, что приводит к более простой и экономичной обработке;</li> <li>• повторное использование извлеченных продуктов в определенных областях применения</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• требует значительных энергозатрат, специализированного оборудования и технических знаний;</li> <li>• высокие капитальные затраты;</li> <li>• требует высококвалифицированного персонала и контроля готовой продукции</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• из-за потенциальных выбросов в атмосферу и утилизации побочных продуктов могут существовать строгие нормативные требования и процедуры выдачи разрешений;</li> <li>• повышенная зависимость от эксплуатационных расходов</li> </ul>	[128, 136, 151, 208]
Виброакустические методы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• эффективное отделение бурового шлама от буровых растворов, позволяющее повторно использовать жидкости</li> <li>• минимизация сброса загрязненных жидкостей в окружающую среду</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• требуется специализированное оборудование;</li> <li>• регулярное техническое обслуживание для обеспечения надлежащей работы, которое может привести к дополнительным затратам и простоям</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• технология все еще может быть относительно новой и, возможно, еще не получила широкого распространения или не зарекомендовала себя во всех сценариях бурения, что может ограничить ее широкое применение</li> </ul>	[103]



## Продолжение таблицы 5

Метод	Преимущества	Недостатки	Ограничения	Источник
Биоремедиация и иные биологические методы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• экологически безопасные варианты утилизации;</li> <li>• сведение к минимуму использования агрессивных химических добавок;</li> <li>• биоразложение органических материалов может способствовать улучшению состояния почвы, потенциально позволяя рекультивировать и повторно использовать пострадавшие земли после бурения</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• длительный период утилизации (до десятков лет);</li> <li>• требуется тщательный мониторинг и управление;</li> <li>• на успех биологической обработки могут влиять факторы, специфичные для конкретного участка (температура, состав почвы и доступные питательные вещества для микроорганизмов)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• масштаб буровых работ и объем обрабатываемого шлама могут повлиять на применимость и эффективность методов биологической очистки</li> </ul>	[123, 179]

Составлено автором

При выборе конкретного метода утилизации отходов бурения необходимо учитывать множество факторов, которые могут оказать влияние на эффективность и устойчивость данного решения [1]. В первую очередь, это фактор, учитывающий экологические риски. Необходимо оценить, какой метод утилизации отходов будет иметь наименьшее влияние на окружающую среду и способен минимизировать загрязнение воздуха, почвенного покрова и водных ресурсов. Некоторые методы могут быть более опасными для работников и населения, поэтому необходимо учитывать все возможные риски и принимать меры по обеспечению безопасности всех вовлеченных сторон. Также, тот или иной метод должен соответствовать местному законодательству и нормам, чтобы избежать штрафов и негативных последствий.

На основе проведенного анализа, систематизируем причины сложного управления отходами по четырем категориям: технологические, экономические, экологические и управленческие (табл. 6).

Таблица 6 – Причины сложного управления отходами бурения

Технологические	Экономические
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ состав отходов сильно разнообразен</li> <li>○ доступность к специальному оборудованию</li> <li>○ схемы утилизации сильно зависят от географии, геологии, наличия технологий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ некоторые методы утилизации энерго- и ресурсозатратны, что влечет увеличение стоимости обращения с отходами бурения</li> <li>○ повышение качества утилизации может привести к снижению рентабельности проекта</li> <li>○ плата при размещении отходов напрямую зависит от класса опасности</li> </ul>
Экологические	Управленческие
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ причинение вреда почвам как объектам ООС</li> <li>○ негативное воздействие на местных животных</li> <li>○ утечки ШФЛУ в атмосферу, при сжигании – рост выбросов ПГ и CO<sub>2</sub></li> <li>○ опасность загрязнения грунтовых вод</li> <li>○ близость ООТ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ необходимость разработки и внедрения стратегии по управлению отходами бурения</li> <li>○ отсутствие опыта и знаний у управляющего персонала в области утилизации отходов</li> <li>○ сложность в соблюдении местного законодательства и нормативов по утилизации отходов</li> </ul>

В целом, для принятия обоснованного решения по выбору метода управления отходами необходимо учитывать все перечисленные факторы, а также провести комплексный сравнительный анализ и выбрать наиболее подходящий и эффективный способ обращения с буровыми отходами.

### 1.3 Экономические и экологические предпосылки утилизации отходов бурения. Продолжение цикла отходов

На сегодняшний день, необходимо понимать, что в силу растущей нагрузки на окружающую среду, целесообразнее использовать отходы производства [194]. При бурении скважин освобождается большой объем горной породы и тратится большое количество энергетических ресурсов. Соответственно, стоит рассматривать получающиеся отходы в качестве сырья для производства тех или иных полезных продуктов. Для нефтегазовых и нефтесервисных компаний можно выделить экологические и экономические стимулы, оправдывающие утилизацию отходов бурения (табл. 7) [106].

Таблица 7 – Стимулы к переработке и использованию отходов бурения

Экологические	Экономические
1. Снижение нагрузки на окружающую среду за счет сохранения естественных ландшафтов;	1. Снижение налоговых выплат за размещение отходов;
2. Минимизация выбросов опасных веществ в атмосферу, предотвращение загрязнений грунтовых вод;	2. Экономия на использовании расходных материалов;
3. Сохранение исходных материалов;	3. Снижение затрат на транспортировку песка и гравия до буровой площадки;
4. Сохранение песчаных и гравийных карьеров для отсыпки и прокладки промышленных дорог и площадок;	4. Получение полезного продукта (строительного материала) и его реализация;
5. Снижение объемов промышленных отходов	5. Возможности для получения налоговых льгот

Несмотря на перечисленные стимулы, компании, кому принадлежат лицензии на разведку и добычу углеводородов, используют переработанные буровые отходы только в качестве примесей для создания насыпных территорий и промышленных дорог [64]. Излишки буровых отходов остаются в буровых шламах непосредственно на территориях бурения скважин [135]. Дабы избежать чрезмерного накопления отходов, необходимо продолжить жизненный цикл буровых отходов. В данном случае самым экологически безопасным, ресурсосберегающим и рациональным способом продолжения цикла отходов является их утилизация в использовании, а именно, в производстве строительных материалов и изделий [15, 142, 178].

Способ получения полезных материалов даст возможность освободить отчужденные под хранение бурового шлама территории и получить эколого-экономический эффект от ликвидации буровых амбаров. При этом повышается экологическая безопасность горнопромышленных территорий. Например, утилизация отходов 3-го класса опасности позволяет получать строи-

тельные изделия на их основе 4-го класса опасности. Однако следует иметь в виду, что для применения материалов и изделий на основе буровых отходов в строительстве необходимо обязательное установление их соответствия государственным (национальным) или международным техническим стандартам, таких как ГОСТы и ISO [52, 94]. Так, например, ученые в работе [15] определили, что применение остатков бурового шлама в качестве минерального порошка при производстве асфальтобетона в количестве до 7% по массе может обеспечить физико-механические свойства продукта, соответствующие национальному стандарту ГОСТ 9128-2013 [17].

В целом, на данный момент технологии переработки буровых отходов позволяют получить строительные и полезные материалы, такие как гранулированный заполнитель для бетонов, грунт для отсыпки дорог и буровых площадок, керамика, кирпич; плитка тротуарная, керамзит, шлакоблок, бордюрный камень, грунтовые смеси и биостимуляторы роста растений [65], а также создание из него алюмосиликатного пропанта для проведения гидро-разрыва пласта [75]. Из жидкой фракции возможно получение некоторых видов топлива (дизель, топочный мазут). Также можно смешивать нефтесодержащие остатки с углем для генерации энергии, при этом продукты сгорания будут идентичными тем, которые образуются при сжигании чистого угля [119]. Перечисленные продукты представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Ценные продукты, получаемые из буровых отходов

<b>Продукт</b>	<b>Технологические установки и патенты</b>	<b>Год изобретения</b>	<b>Источник</b>
Щебень, гравий, керамзит, покрытия для дорог	RU 2389564 C1	2009	[56]
	RU 2551560 C2	2013	[57]
Кирпич	полусухое пресование	2017	[95]

*Продолжение таблицы 8*

Продукт	Технологические установки и патенты	Год изобретения	Источник
Цемент	капсулирование	2011	[73]
Почвогрунты, грунтошламовые смеси	RU 2625494 C1	2018	[59]
	RU 2323293 C1	2008	[54]
	RU 2347629 C1	2009	[55]
Пористый наполнитель (для бетона)	RU 2614339 C1	2017	[58]
Материал для ГРП	RU 2788201 C1	2023	[75]
Дизельное топливо летнее ЕВРО 4/5, Топочный мазут М-100, Печное топливо, светлое, Битум дорожный	RU 2180909 C1	2002	[53]
	RU 2732242 C1	2020	[60]

Проблема низкой степени переработки бурового шлама с получением строительных материалов заключается в высокой добавленной стоимости получаемых продуктов, складывающейся, в основном, из затрат на транспортировку отходов и на их переработку [113]. Поэтому важно найти условия, при которых использование бурового шлама в качестве сырья было бы оправдано.

Таким образом, существует множество способов получения полезных материалов из отходов бурения. Из этого следует вывод, что нефтегазовым компаниям необходимо наращивать долю использования существующих технологий и вовлечь как можно больше ресурсов для переработки уже имеющихся отходов.

#### **1.4 Выводы по первой главе**

1. Объемы бурения скважин с годами не снижаются, соответственно генерация отходов бурения продолжает расти. Состав буровых отходов очень разнообразен: тяжелые металлы, неорганические соли, углеводороды. Каждый из этих элементов пагубно влияет на окружающую среду. Поэтому своевременное и экологически оправданное управление буровыми отходами необходимо нефтегазовой промышленности по сей день. Проведено множе-

ство исследований, подтверждающих эффективность тех или иных методов очистки буровых отходов, и каждый имеет свои преимущества и недостатки. Соответственно, перед нефтегазовой компанией стоит очень сложная задача по определению оптимальной системы управления буровыми отходами при ведении своей деятельности.

2. Существуют биологические и небιологические методы утилизации бурового шлама. И те, и другие имеют ряд преимуществ и недостатков. При выборе того или иного метода руководствуются экологическими и экономическими соображениями, химическим составом отходов, факторами безопасного воздействия на человека и особенностями местных органов власти.

3. Внедрение совершенных технологий по утилизации буровых отходов может оказать и положительный экономический эффект, так как продукты переработки шлама можно использовать в строительстве дорог, кустовых площадок, а также получать из них иные полезные строительные материалы. Некоторые методы позволяют повторно использовать буровые растворы при проходке следующей скважины, а углеводородное сырье может использоваться в качестве топлива в собственных нуждах, либо храниться для дальнейшей отправки потребителю.

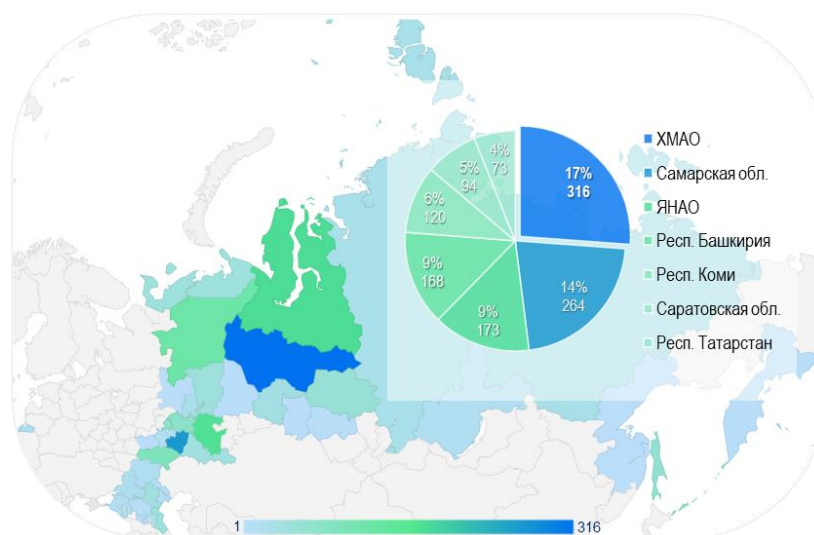
4. Выделены четыре категории причин сложного управления отходами бурения: технологические, экономические, экологические и управленческие. Определены экономические и экологические стимулы переработки отходов бурения для нефтегазодобывающих компаний.

5. Отходы бурения имеют потенциал для увеличения срока жизненного цикла путем использования их в качестве сырья для производства товарной продукции. При таком подходе можно достичь синергического эффекта: экономических выгод и минимизации негативного воздействия на окружающую среду и здоровье человека.

## ГЛАВА 2 АНАЛИЗ ОПЫТА И ПЕРСПЕКТИВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ БУРЕНИЯ

### 2.1 Оценка современного состояния рынка бурения в России

На территории России на 2022 год насчитывается около 2000 месторождений нефти и газа, как действующих, так и ждущих своего начала разработки (рис. 9) [41]. Наибольшее количество месторождений расположено на территориях Ханты-Мансийского автономного округа и Самарской области – более 250 на каждой территории, Ямало-Ненецкого автономного округа и республики Башкортостан – более 150.

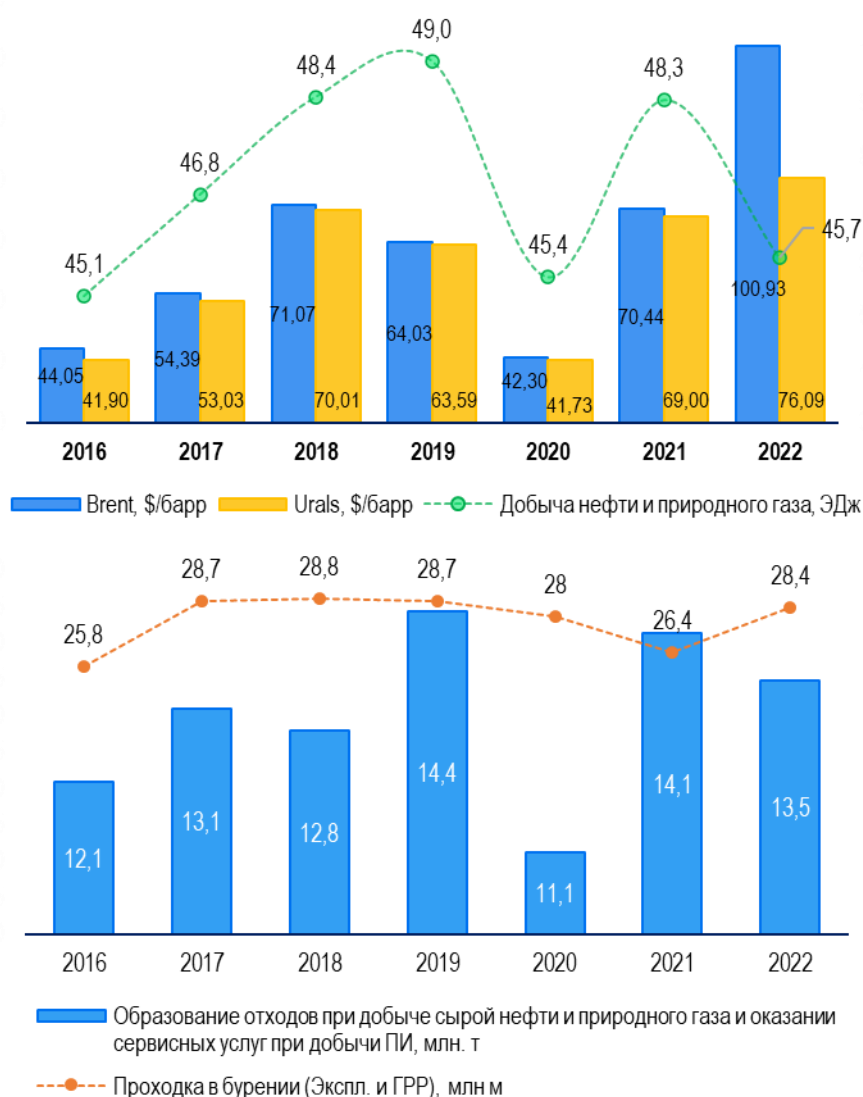


Составлено автором по данным [41].

Рисунок 9 – Распределение месторождений нефти и газа по регионам России

Многие из месторождений еще не разрабатываются и только находятся на балансе компаний, а месторождения, находящиеся в разработке, продолжают «доразведываться» [198]. Так, в 2022 году объем ГРП увеличился по сравнению с 2021 годом и прирост запасов нефти категорий  $A+B_1+C_1$  составил 816 млн т, запасов газа – 828 млрд м<sup>3</sup> [3]. Наибольшую долю в приросте запасов по нефти обеспечили месторождения республики Татарстан – Ромашкинское и Ново-Елховское (суммарно 271 млн т) и Ханты-Мансийского АО – Петелинское и Приобское (суммарно 40 млн т); по запасам газа – ме-

сторождения Тамбейское и Песцовое в Ямало-Ненецком АО (суммарно 411 млрд м<sup>3</sup>), месторождение Чаяндинское в Якутии (70 млрд м<sup>3</sup>). На конец 2022 года открыто 34 месторождения, 6 из которых крупные, а остальные мелкие и очень мелкие по запасам. Следовательно, объемы бурения как поисково-разведочного, так и эксплуатационного продолжают оставаться на высоком уровне. Так, объем проходки в эксплуатационном бурении на 2022 год составил 28,4 млн м, что на 8,8% выше по сравнению с 2021 годом (рис. 10).



Составлено авторами по данным источников [86, 184] и Росстата

Рисунок 10 – Динамика образования отходов, объема бурения и добычи углеводородов в России, а также среднегодовые цены на нефть



Проходка в поисково-разведочном бурении на 2022 год составила 1,06 млн м (на 26% выше, чем в 2021 году). По прогнозам Роснедр, в 2023 ожидается рост параметрического бурения, а также, в зависимости от санкционного давления, предполагается 3 сценария развития рынка бурения – базовый, оптимистический и негативный. Минэнерго предполагает [86], что объемы бурения в 2023 будут расти, так как сложные технологии для увеличения нефтеотдачи становятся недоступными, поэтому происходит наращивание темпов бурения. Таким образом, объемы буровых отходов также будут либо увеличиваться, либо оставаться на том же уровне. Согласно данным Минэнерго [86], за первый квартал 2023 года уже пробурено 6,8 млн м только в эксплуатационном бурении, что на 3,3% выше запланированного объема проходки. По словам аналитической компании BCS Global Markets в 2023 г. рекорд по эксплуатационному бурению в России может быть обновлен [2].

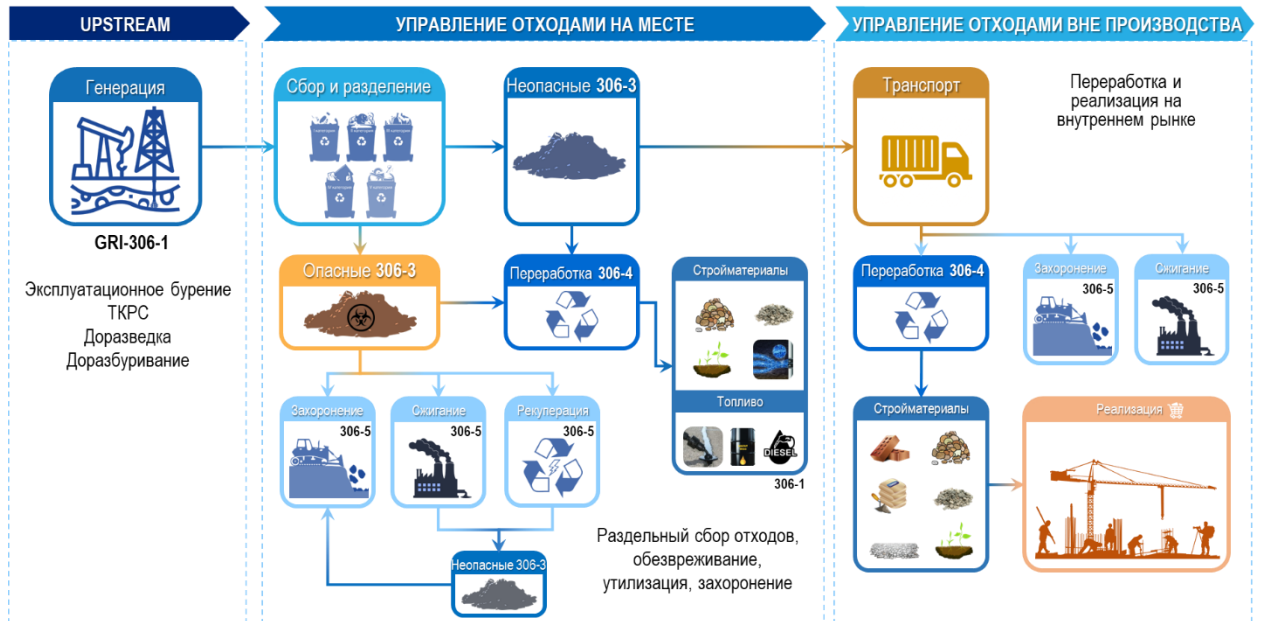
Падение объемов бурения и добычи углеводородов связан с рядом факторов: сокращение инвестиций и резкая волатильность цен на нефть из-за экономических трудностей, связанных с пандемией и геополитической обстановкой. Рост объема отходов может быть связан с увеличением добычи нефти и газа на уже действующих месторождениях, с обновлением и модернизацией существующих скважин и оборудования (проведение текущего и капитального ремонта скважин). Но, обращая внимание на 2021 год, снижение в величине проходки бурения, наоборот, приводит к увеличению объемов буровых отходов. Здесь прослеживается повышение внимания мирового сообщества к вопросам экологии и устойчивого развития, что приводит к более тщательному мониторингу и учету отходов потребления и производств. Так, с 2018 года компании России начинают плавный переход на стандарты отчетности в области устойчивого развития «Глобальная инициатива по отчетности» (с англ. Global Reporting Initiative, GRI) [173]. В стандартах GRI 306 публикуются данные об отходах по типу образования, классам опасности и способу обращения с ними. Распределяется общий вес опасных и, отдель-

но, неопасных отходов с разбивкой по следующим методам утилизации, где это применим [148]:

1. GRI 306-3. Образование отходов по виду деятельности (например, добыча, переработка) и по классу опасности (5 категорий опасности);
2. GRI 306-4. Отходы вне захоронения: распределение опасных и неопасных отходов по методам утилизации на предприятии или вне предприятия (on-site, либо off-site):
  - a. повторное использование (reuse);
  - b. переработка (recycling);
  - c. иные методы восстановления (other recovery operations);
3. GRI 306-5. Отходы для захоронения или сжигания: распределение опасных и неопасных отходов по методам утилизации на предприятии или вне предприятия (on-site, либо off-site):
  - a. сжигание с рекуперацией энергии (incineration with energy recovery);
  - b. сжигание без рекуперации энергии (incineration without energy recovery);
  - c. захоронение (landfilling);
  - d. другие методы утилизации отходов (other disposal operations).

Информация, отражаемая в стандарте GRI 306, показывает, в какой степени компании удалось соблюсти баланс между вариантами утилизации и воздействием на окружающую среду. Например, захоронение на свалках и вторичная переработка категорически по-разному воздействуют на окружающую среду. В большинстве стратегий минимизации отходов подчеркивается приоритетность вариантов повторного использования, рециркуляции, а затем рекуперации по сравнению с другими вариантами утилизации для снижения негативного воздействия на окружающую среду [168].

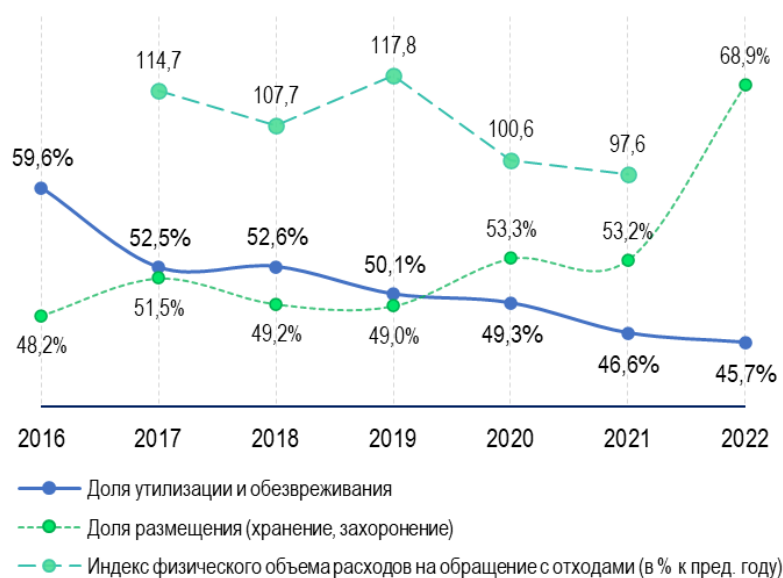
Согласно данным стандартам, можно предложить концептуальную диверсифицированную схему управления отходами бурения для нефтегазовых компаний, представленную на рисунке 11.



Составлено автором

Рисунок 11 – Концептуальная схема управления отходами бурения

Динамика изменения отношения количества утилизированных и обезвреженных отходов к их образованию в последние годы свидетельствует о сложившейся тенденции снижения эффективности утилизации и переработки отходов на предприятиях. В целом, если рассматривать доли утилизации и размещения, то отношение количества утилизированных и обезвреженных отходов к их образованию в динамике по годам снижается, а отношение размещенных отходов на объектах, принадлежащих предприятию – увеличивается (рис. 12).



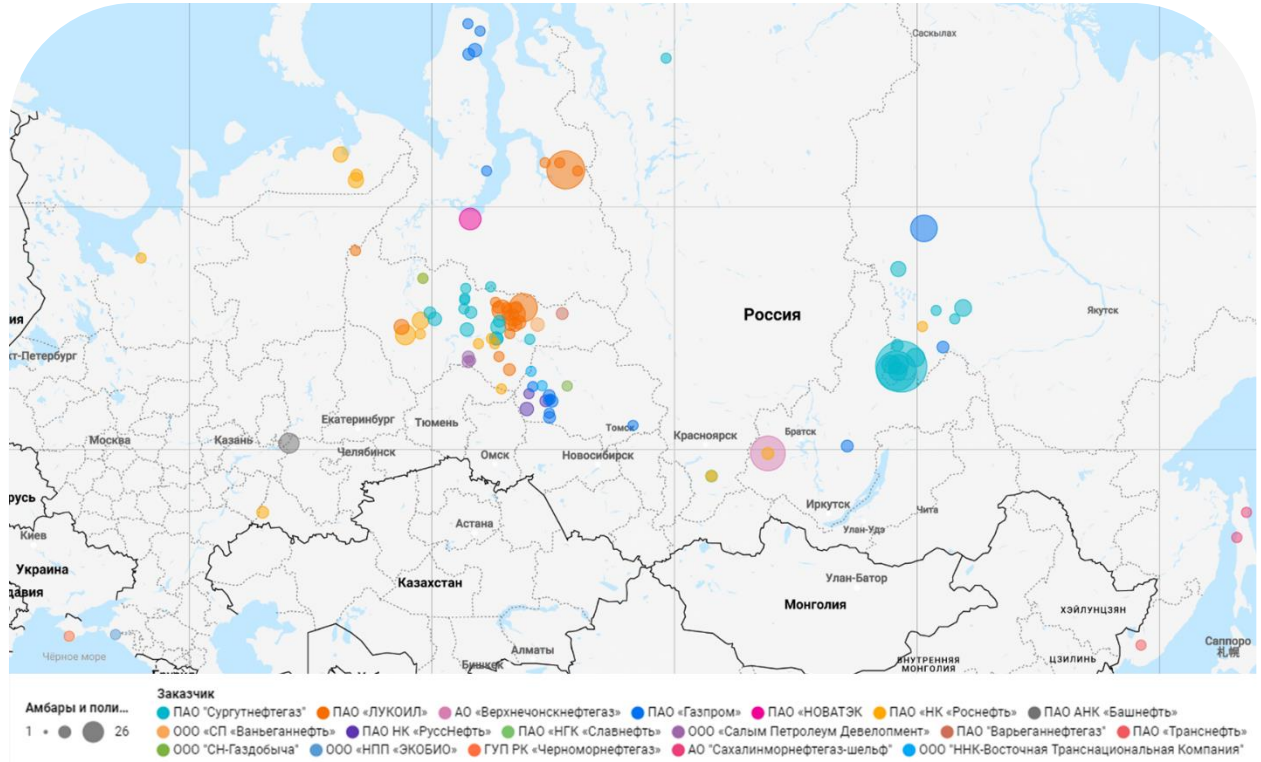
Составлено автором по данным Росстата

Рисунок 12 – Отношение объемов утилизации и объемов размещения к образованию отходов производств и потребления

Причин у такой динамики множество, от части это связано со снижением индекса физического объема природоохранных расходов на обращение с отходами – с увеличением генерации отходов текущие затраты на утилизацию и обезвреживания отходов бурения растут не пропорционально друг другу. Стоимость размещения путем захоронения ниже, чем утилизация и повторное использование. Поэтому, при недостаточном финансировании компании вынуждены использовать менее затратные способы обращения с отходами [32]. Но параллельно ужесточаются и меры экологического контроля и нормативного регулирования: увеличиваются налоговые ставки за размещение отходов, вводятся дополнительные коэффициенты при расчете налоговых платежей за негативное воздействие на окружающую среду.

Наибольшее накопление отходов, образуемых в ходе операций по разведке и добыче углеводородного сырья, соответствует основным регионам нефтегазодобычи (Ханты-Мансийскому АО – 4,73 млн т и Ямало-Ненецкому АО – 1,16 млн т, республике Татарстан – 0,73 млн т и республике Башкирия – 0,32 млн т) [13]. Согласно государственному реестру объектов размещения отходов [18], на 2022 год наибольшее число полигонов, амбаров и накопите-

лей приурочено именно Ханты-Мансийскому АО. Только на компанию ПАО «Сургутнефтегаз» приходится 111 объектов, а на ПАО «Лукойл» – 74 объекта. Компании ПАО «НК «Роснефть» и ПАО «Газпром» – 35 и 34 объекта соответственно (рис. 13).



Составлено автором по данным источника [18]

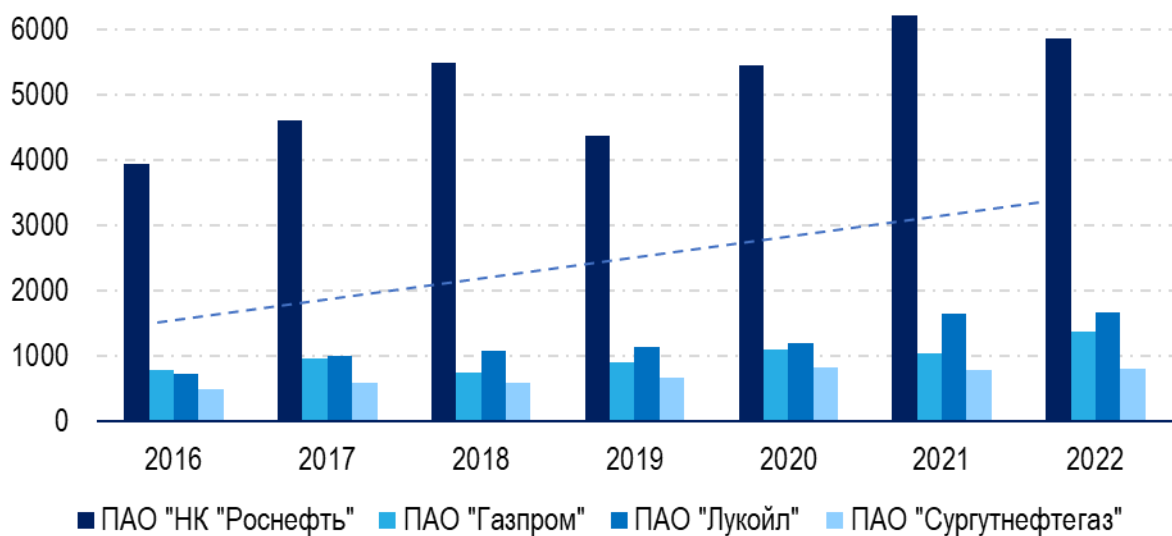
Рисунок 13 – Карта объектов размещения отходов бурения на территории РФ

## 2.2 Текущий уровень развития технологий по утилизации бурового шлама и их применение на производстве: опыт зарубежных и отечественных компаний

Уровень технологий переработки бурового шлама в каждой стране разный. В России основное направление переработки отходов бурения в промышленных масштабах сосредоточено на производстве грунтовых смесей. Тем не менее, существует множество патентных разработок для производства других продуктов, перечисленных выше: сервисные компании постепенно создают небольшие производственные мощности по переработке отходов в строительные материалы (кирпич, цемент, заполнители для бетона). К сожалению, в нынешних условиях технологические барьеры, создаваемые

сложной геополитической ситуацией, могут вызвать трудности в реализации высокотехнологичных проектов. Однако в данном случае есть стимул развивать собственные технологии.

Лидером по образованию отходов бурения в нефтегазовой отрасли в России является компания ПАО «НК «Роснефть» с ежегодной генерацией в объеме более 5 млн т (рис. 14). Обращение с отходами в компаниях можно разделить на две модели: утилизация самой компанией-образователем отходов, либо передача права собственности на отходы сервисным компаниям.



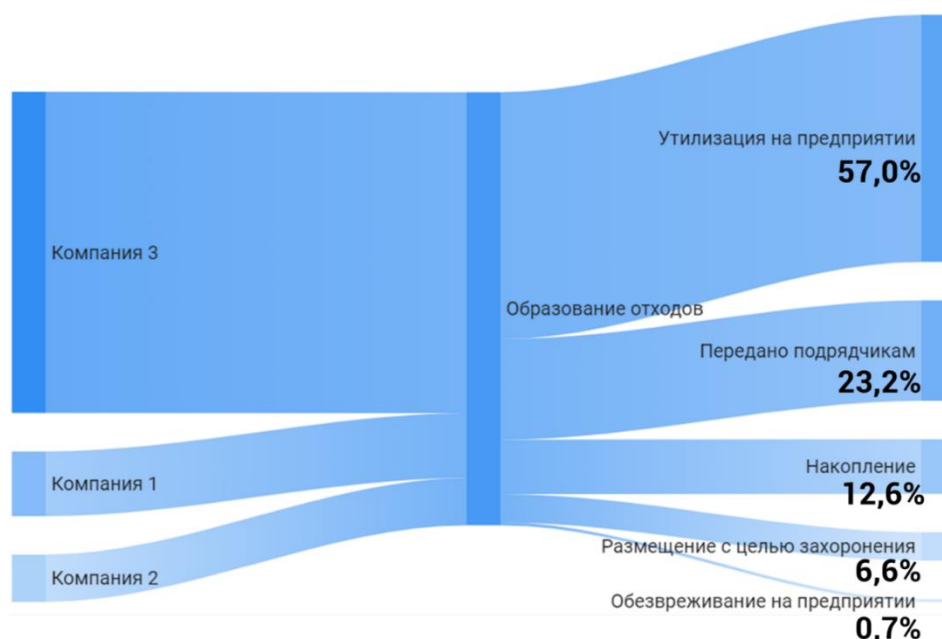
Составлено автором по данным годовых отчетов компаний.

Рисунок 14 – Генерация отходов бурения по ведущим нефтегазовым компаниям России, тыс. т.

Компании стремятся снизить долю накопления и размещения отходов, прибегая к использованию наилучших доступных технологий и увеличивая долю утилизации путем расширения возможностей применения отходов бурения после их переработки в качестве материалов для строительства различных сооружений [195]. Подрядные организации ПАО «Газпром» используют безамбарное бурение, малотоксичные буровые растворы и подходы к переработке в полезные материалы [50]. ПАО «НК «Роснефть» использует отдельный сбор отходов по пяти категориям опасности. ПАО «Лукойл» пе-

редает отходы организациям, имеющим собственные инновационные технологии, с помощью которых из отходов получают инертный материал, используемый при строительстве дорог, кустовых площадок и при рекультивации земель.

В целом, анализируя данные отчетов компаний, можно схематично оценить, какой процент отходов подвергается тому или иному варианту обращения (рис. 15).



Составлено автором по данным годовых отчетов нефтегазовых компаний.

Рисунок 15 – Распределение объема отходов по вариантам обращения среди компаний России

Из рисунка видно, что основная доля отходов утилизируется на предприятии (57%), немалая доля утилизации буровых отходов приходится на нефтесервисные компании (23,2%), имеющие лицензии на операции по использованию (обезвреживанию, сбору, транспорту, хранению и утилизации) отходов бурения (табл. 9). Стоимость утилизации отходов очень сильно варьируется от множества условий. В среднем, утилизация одной тонны буровых отходов лежит в диапазоне от 2 400 до 10 000 тыс. руб.

Таблица 9 – Сервисные компании России, занимающиеся управлением отходами бурения

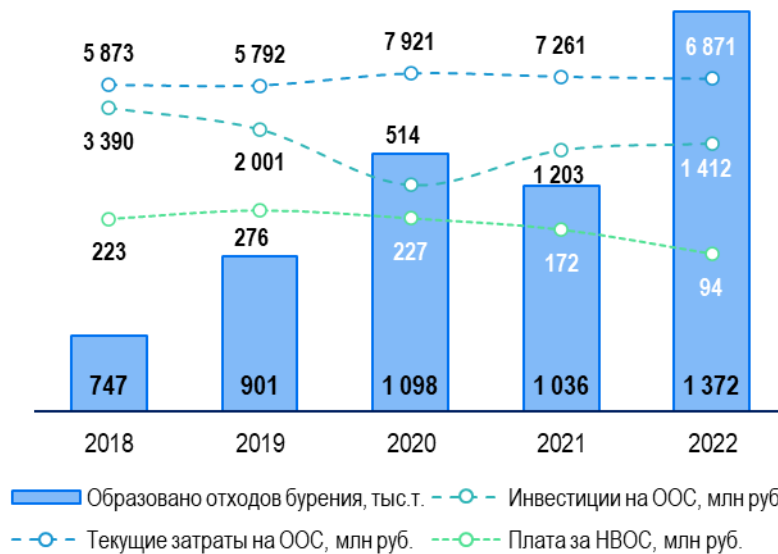
Компания	Город	Виды деятельности	Регионы осуществления деятельности	Применяемые технологии
ООО «Предприятие консультационных и сервисных услуг»	Сургут	сбор, транспортировка, использование, утилизация, хранение	ХМАО, ЯНАО, Тюменская, Томская, Иркутская области, Красноярский край, Республика Коми	Утилизация буровых отходов (буровой шлам, отработанный буровой раствор, буровые сточные воды), нефтяного шлама с получением полезных продуктов
ООО «Нижневартовская экологическая компания»	Нижневартовск	сбор, транспортировка, использование, обезвреживание, размещение отходов I-IV класса опасности	Вся Россия	Рекультивация земель, биоремедиация, обезвреживание путем внесения сорбентов
ООО «Группа Транс Комплекс»	Тюмень	сбор, транспортировка, использование, утилизация	Вся Россия	Сжигание, сепарация, рекультивация земель
ООО «Производственная экологическая компания «Промышленная экология»	Тюмень	сбор, транспортировка, использование, утилизация	Вся Россия	Сжигание, сепарация, рекультивация земель
ООО «СПЕЦАВТОКОМ»	Екатеринбург	сбор, транспортировка, использование, утилизация	Уральский Федеральный округ	сжигание, сепарация
ООО «Научно-инновационное предприятие «Технология»	Оренбург	обезвреживание отходов III-IV классов опасности	Оренбургская, Самарская, Челябинская области, Республики Башкортостан и Татарстан	сжигание
ООО «ЛЮДВИК»	Красноярск	сбор, транспортировка, использование, хранение, обезвреживание	Красноярский край, Иркутская область	сжигание, захоронивание, рекультивация земель, биоремедиация
ГК «ПРОМЭКОЛОГИЯ»	Нижний Новгород	сбор, транспортировка, использование, утилизация, хранение	Вся Россия	пиролиз
ООО «ГАЗОХИМИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ»	Саратов	сбор, транспортировка, использование, утилизация, хранение	Вся Россия	сжигание, сепарация, захоронивание, рекультивация земель



Продолжение таблицы 9

ООО «ГИДРОТЕХНОЛОГИИ СИБИРИ»	Иркутск	сбор, транспортировка, использование, утилизация, хранение, зачистка резервуаров, зачистка шламовых амбаров, приобретение отработанных масел.	Вся Россия	сжигание, сепарация, рекультивация земель, биоремедиация, утилизация путем сепарации, инкапсуляция
СИБПРОМСЕРВИС	Нижевартовск	сбор, транспортировка, использование, утилизация, хранение, зачистка резервуаров, зачистка шламовых амбаров, приобретение отработанных масел.	Республика Башкортостан, ЯНАО, ХМАО, Томская область, Красноярский край	Переработка отходов бурения с применением установки Фильтр-Пресс
ООО "НТЦ "Технологии XXI века"	Санкт-Петербург	сбор, транспортировка, использование, утилизация, хранение	ХМАО, Астраханская, Калининградская, Мурманская области	интеграционная минерально-матричная технология (ИММ-технология) с получением экологически безопасного строительного материала – грунт укрепленный техногенный

Среди экономических показателей компаниями по статье «Обращение с отходами производства и потребления» раскрываются данные об инвестициях в основной капитал на охрану окружающей среды (ООС), текущие затраты на природоохранные мероприятия, плата за негативное воздействие на окружающую среду (НВОС). В качестве примера рассмотрим компанию ПАО «Газпром» (рис. 16).



Составлено автором по данным экологических отчетов ПАО «Газпром»

Рисунок 16 – Показатели финансирования охраны окружающей среды

Инвестиции в основной капитал и текущие затраты на ООС – это средства на рекультивацию земель после буровых работ, капитального ремонта скважин и других видов работ, на установки и полигоны для утилизации, обезвреживания и захоронения отходов. Плата за НВОС – это экологический платеж за размещение отходов производств и потребления.

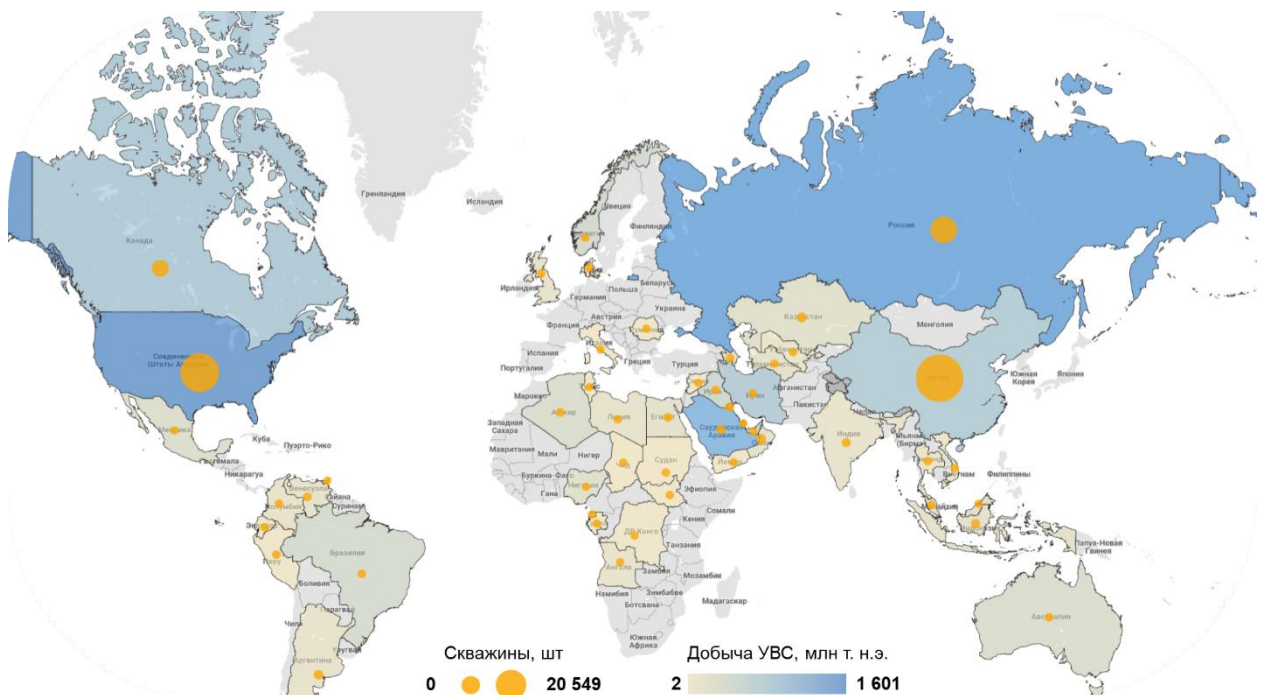
Как можно заметить по динамике с 2018 по 2022 год, суммарные затраты на мероприятия по ООС ежегодно превышают 8 млрд руб., несмотря на более интенсивное увеличение генерации отходов бурения, в тоже время плата за НВОС снижалась с 2019 года (за 4 года плата снизилась в 3 раза).

Поэтому, можно утверждать, что эффективность вкладываемых средств в управление отходами бурения из года в год повышается.

Таким образом, российские компании стараются следовать целям устойчивого развития и придерживаются принципов циркулярной экономики в сфере обращения с отходами производств и потребления.

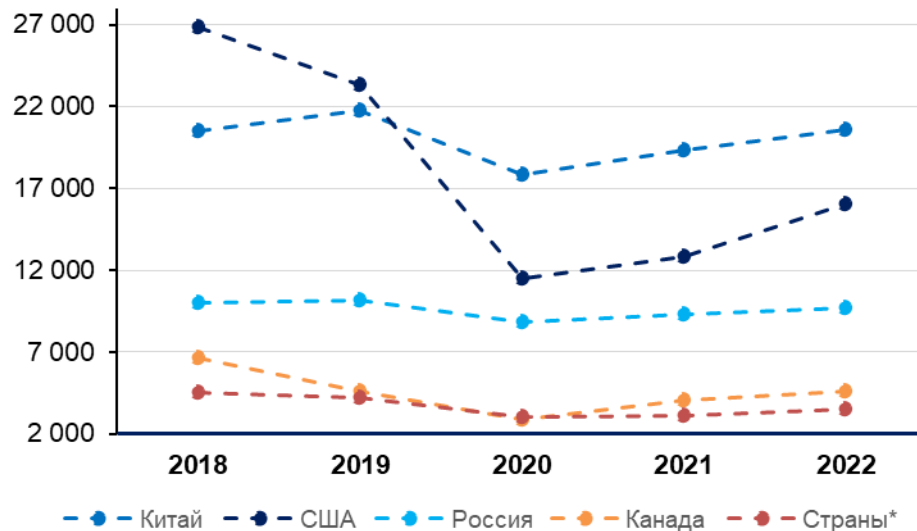
Рассмотрим опыт и зарубежных компаний в применении инновационных практик по утилизации и переработке отходов бурения. Необходимо отметить тот факт, что в каждой стране имеются свои правила регулирования деятельностью по обращению с отходами потребления и производства [8].

На 2022 год в топ-5 лидеров по добыче углеводородного сырья (нефти, газа и газового конденсата) являются Соединенные Штаты Америки – 1 601,0 млн т н.э.), Россия – 1 080,2 млн т н.э., Саудовская Аравия – 676,5 млн т н.э., Канада – 433,1 млн т н.э. и Иран – 399,6 млн т н.э. (рис. 17). Динамика бурения скважин представлена на рисунке 18.



Составлено автором по данным источников [146, 184].

Рисунок 17 – Мировое состояние добычи УВС и количества пробуренных скважин на 2022 г



\* *Оман, Казахстан, Аргентина, Саудовская Аравия, Кувейт, Венесуэла*

Составлено автором по данным источника [146].

Рисунок 18 – Динамика бурения сухопутных скважин (разведочных, эксплуатационных, для добычи сланцевой нефти), шт

Исходя из представленных статистических данных, можно сказать, что для Китая, Америки, России и Канады, а также и еще нескольких стран очень актуален рынок утилизации отходов бурения ввиду значительного количества бурения скважин. Развитие технологий утилизации отходов бурения может способствовать снижению затрат на добычу нефти и газа, что делает этот рынок еще более привлекательным для инвесторов. К числу ведущих компаний на рынке обращения с отходами в нефтегазовой отрасли относятся: Schlumberger Limited, Halliburton Company, Baker Hughes Company, Weatherford International plc, National Oilwell Varco, Inc., Veolia Environnement S.A., SUEZ, Secure Energy Services Inc., Newalta Corporation, Tervita Corporation, Imdex Limited, Augean plc, TWMA Group Limited, Soiltech AS, Step Oiltools AS. Эти компании предлагают широкий спектр услуг по утилизации отходов бурения как на суше, так и на шельфе. В связи с этим, спрос на услуги по утилизации отходов бурения продолжает расти, и компании, занимающиеся данной отраслью, имеют отличные перспективы для развития и роста. На 2023 год объем мирового рынка утилизации отходов бурения достиг 6,19

млрд долл. США и, по прогнозам аналитиков [137], достигнет примерно 11,57 млрд долл. США к 2032 году, увеличившись в среднем на 7,2% в течение прогнозируемого периода с 2023 по 2032 год.

#### *Управление отходами бурения в Соединенных Штатах*

В Соединенных Штатах используют множество вариантов управления отходами бурения на производственном объекте или за его пределами. Значительная часть отходов в конечном счете удаляется через нагнетательные (поглощающие) скважины, либо используется для рекуперации [200]. В целом, методы утилизации отходов бурения в Америке можно представить в виде таблицы 10.

Таблица 10 – Действующие методы утилизации отходов бурения на месторождениях нефти и газа в США

Название группы методов	Варианты утилизации
Захоронение (на месте) Disposal onsite	<ul style="list-style-type: none"> <li>• шламонакопительные ямы</li> <li>• буровые амбары</li> <li>• ямы для сжигания</li> <li>• резервуары вертикальные</li> <li>• модульные резервуары</li> <li>• закапывание на полигонах</li> <li>• распыление на поверхности земли</li> </ul>
Утилизация за пределами бурения Offsite treatment and disposal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• транспортировка отходов до мест захоронения или заводов по очистке промышленных отходов</li> </ul>
Обратная закачка Re-injection	<ul style="list-style-type: none"> <li>• закачка добываемой воды обратно в поглощающие и нагнетательные скважины</li> </ul>
Полезное использование Beneficial Use	<ul style="list-style-type: none"> <li>• использование отходов в дорожном строительстве, производстве бетона, грунтов, пылегасителей</li> </ul>

Составлено автором по данным источника [200].

Шламонакопительные ямы, используемые для хранения или утилизации отходов на вырытых земельных участках, часто сооружаются ниже

уровня грунта, иногда с бермами или дамбами. Их размер зависит от объема образующихся отходов. В период с 1996 по 2002 год по данным Агентства по охране окружающей среды Америки было сооружено более 42 000 полигонов и буровых амбаров в нескольких штатах. В штате Колорадо отмечается положительная тенденция на снижение количества полигонов с 10 950 до 3 426 к 2019 году, несмотря на увеличение добычи сланцевого газа, что свидетельствует об увеличении использования безамбарных технологий и методов полезного использования отходов.

#### *Управление отходами бурения в Китае*

Со стремительным развитием экономики Китая и повышением уровня индустриализации значение проблемы загрязнения опасными отходами возрастает, что приводит к некоторым инцидентам, связанным с незаконной утилизацией опасных отходов. Комплексное использование и безопасная утилизация опасных отходов стали серьезной проблемой, препятствующей экономическому и социальному развитию [115]. Ежегодный отчет Министерства экологии и охраны окружающей среды об экологической статистике Китая за 2020 год показал, что в 2020 году производство опасных промышленных отходов в стране составило 72,8 млн т, а утилизация и захоронение – 76,3 млн т отходов.

Первым и одним из наиболее эффективных способом утилизации отходов бурения является их обратная закачка в пласт. Кроме того, данный метод используется для методов интенсификации добычи нефти и газа. Согласно исследованию [187], обратная закачка отходов бурения показала хорошие результаты в снижении вредного воздействия на окружающую среду. Другим способом утилизации отходов бурения является их переработка с использованием технологий очистки и рециркуляции. Например, многие нефтегазовые компании в Китае активно внедряют метод термической переработки отходов, который позволяет получать ценные компоненты из пластовой воды и бурового шлама [207]. Также применяется и использование в качестве сырья для других отраслей промышленности. Например, керосин, полученный из

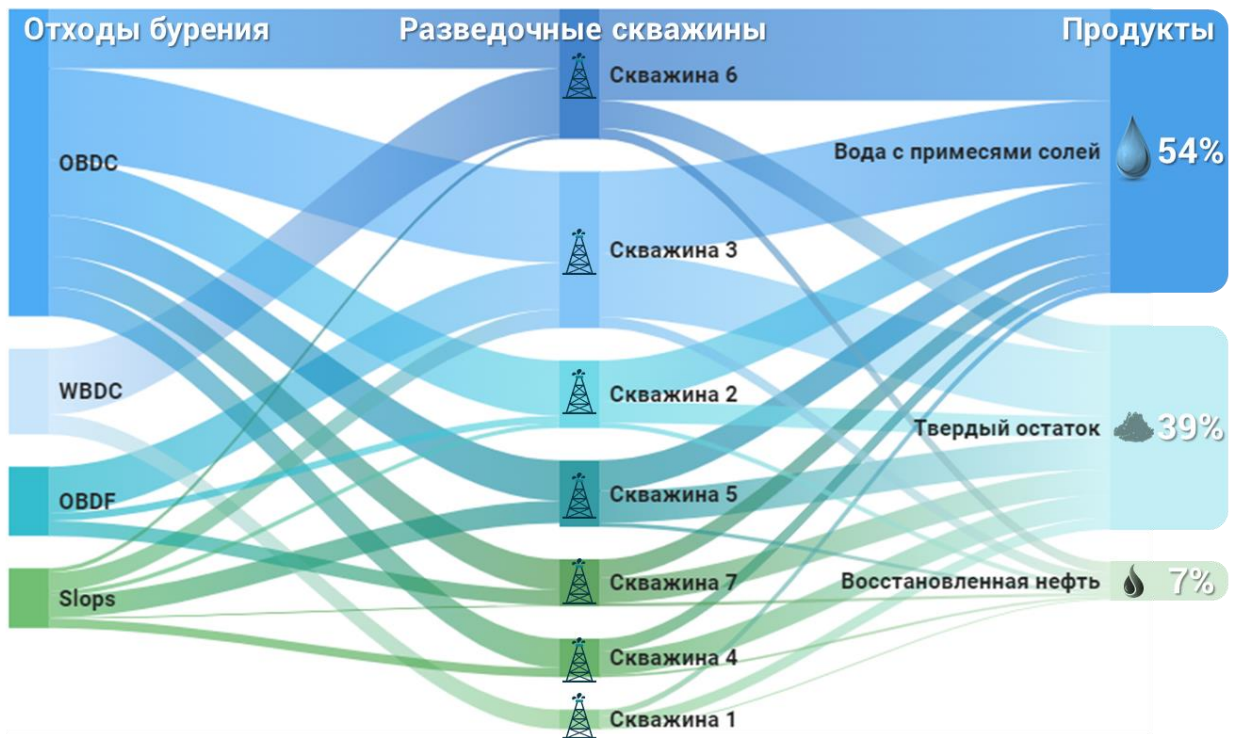
переработки отходов бурения, может быть использован для производства косметики, пластмасс, цемента и других химических продуктов и строительных материалов [177].

#### *Опыт Канады*

В работе [201] проводилось исследование с материалами бурового шлама с нефтяной скважины, расположенной на континентальном шельфе Новой Шотландии (Атлантическая часть Канады). В ходе исследования было выявлено, что для данного конкретного образца можно эффективно использовать до 20% по массе отходов бурения в производстве асфальта и бетона, но процентное содержание отходов зависит от их свойств, особенно от размера фракции и прочности. Годы спустя, было доказано, что возможно использование остатков бурового шлама в качестве контролируемого материала низкой прочности при производстве цемента [142], так как при должном расчете процентного содержания буровых отходов прочностные свойства бетона не теряются.

#### *Опыт Кипра и Великобритании в рамках шельфовой добычи и разведки*

На Кипре утилизацией отходов бурения занимается единственная компания, которая получила специальное разрешение от Департамента окружающей среды. Подход к утилизации отходов бурения в условиях шельфа включает в себя три основные стадии: сбор отходов на платформе, транспорт их на сушу и переработка путем термомеханической очистки [151]. Благодаря такому подходу удастся извлекать некоторые ценные продукты (рис. 19), которым можно найти применение в гражданском строительстве, использовать в качестве твердого топлива для промышленных печей.



Составлено автором по данным источника [151].

Рисунок 19 – Получаемые ценные продукты:

*OBDC и WBDC – буровой шлам, получающийся в результате бурения раствором на нефтяной основе и водной основе соответственно, Slops – отходы, образующиеся при очистке оборудования, скипов, буровых установок, судовых кренов.*

При бурении 7 скважин в периоде с 2013 по 2019 на шельфе Кипра, было образовано 10 922 тонны отходов, из которых удалось извлечь: нефти 783 т, воды с растворами солей 5897 т и 4241 т твердых остатков.

На Кипре при управлении отходами бурения руководствуются методикой EWC (End-of-waste-criteria), по которой определяют, в какой момент отходы перестают быть отходами и становятся продуктом или вторичным сырьем. Поскольку отходы по своей природе являются гетерогенным источником материала, для точного учета потока отходов EWC включает требования или ограничения к первоначальному источнику отходов (например, использование более экологически чистых буровых растворов, отказ от OBDMs и др.). Такой контроль приводит к снижению экологического риска попадания



потенциальных загрязняющих веществ в окружающую среду с неблагоприятным воздействием на экосистему.

Бурение двух скважин суммарной протяженностью более 10 тыс. м. буровым раствором на нефтяной основе в Северном море позволило достичь весомых результатов как с экологической, так и с экономической стороны [149]. Используя метод термомеханической очистки на платформе, из отходов было восстановлено 208 м<sup>3</sup> нефти. Эффективность метода в наивысшей степени зависела от отсутствия необходимости транспорта отходов с платформы на сушу (исключены все транспортные расходы), что в свою очередь позволило избежать простоев, связанных с непостоянной климатической обстановкой.

### **2.3 Государственное регулирование в сфере деятельности по управлению отходами бурения в России и за рубежом**

Государственное регулирование деятельностью по управлению отходами потребления и производств направлено на контроль за обращением с отходами, соблюдение экологических стандартов и минимизацию негативного воздействия на окружающую среду. Суть этого регулирования заключается в установлении правил, норм и требований к обращению с различными видами отходов, обязательности легального обращения с отходами, ответственности за их неправомерное утилизацию или выбросы. Государство устанавливает нормативы касательно сортировки, переработки, утилизации и хранения отходов, а также обязательно лицензирует и мониторит деятельность предприятий, занимающихся управлением отходами. Также проводится контроль за соблюдением экологических норм и стандартов в области обращения с отходами. Государственное регулирование в этой сфере направлено на создание условий для устойчивого развития экономики и уменьшения негативного воздействия на окружающую среду путем эффективного управления отходами потребления и производства [66].

Одним из основных документов, регулирующих сферу управления отходами бурения, является Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 N 89-ФЗ, который устанавливает общие принципы и правила обращения с отходами, а также ответственность за их неправомерное обращение. Наиболее конкретные идеи отображены в ряде подзаконных актов, разрабатываемых Минприроды России, Росприроднадзором, которые устанавливают требования к обращению с определенными видами отходов бурения, процедуры их утилизации и обработки, а также контрольные механизмы. Так, на основании перечисленных документов для нефтегазового предприятия на территории Республики Коми автором работы [30] предлагается поэтапная система обращения с отходами, которая позволит обеспечить охрану окружающей среды на нефтяных месторождениях региона и соблюдение положений законодательства в области экологической безопасности.

В мае 2023 года вышло Постановление Правительства РФ № 881 «Об утверждении Правил исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду» [70], которое вступило в силу в сентябре 2023 года и будет действовать до 2029 года включительно. Данное Постановление является первым важным шагом к регулированию деятельности по размещению отходов, в нем появляются новые правила исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду (НВОС). Приняты высокие коэффициенты начисления платы за неиспользование отходов недропользования (буровые отходы являются отходами недропользования) в установленный срок – что является хорошим стимулом для изменения политики компании и внесения скорейших действий по утилизации и использованию отходов.

В целом, систему регулирования отходами можно изобразить схематично (рис 20).

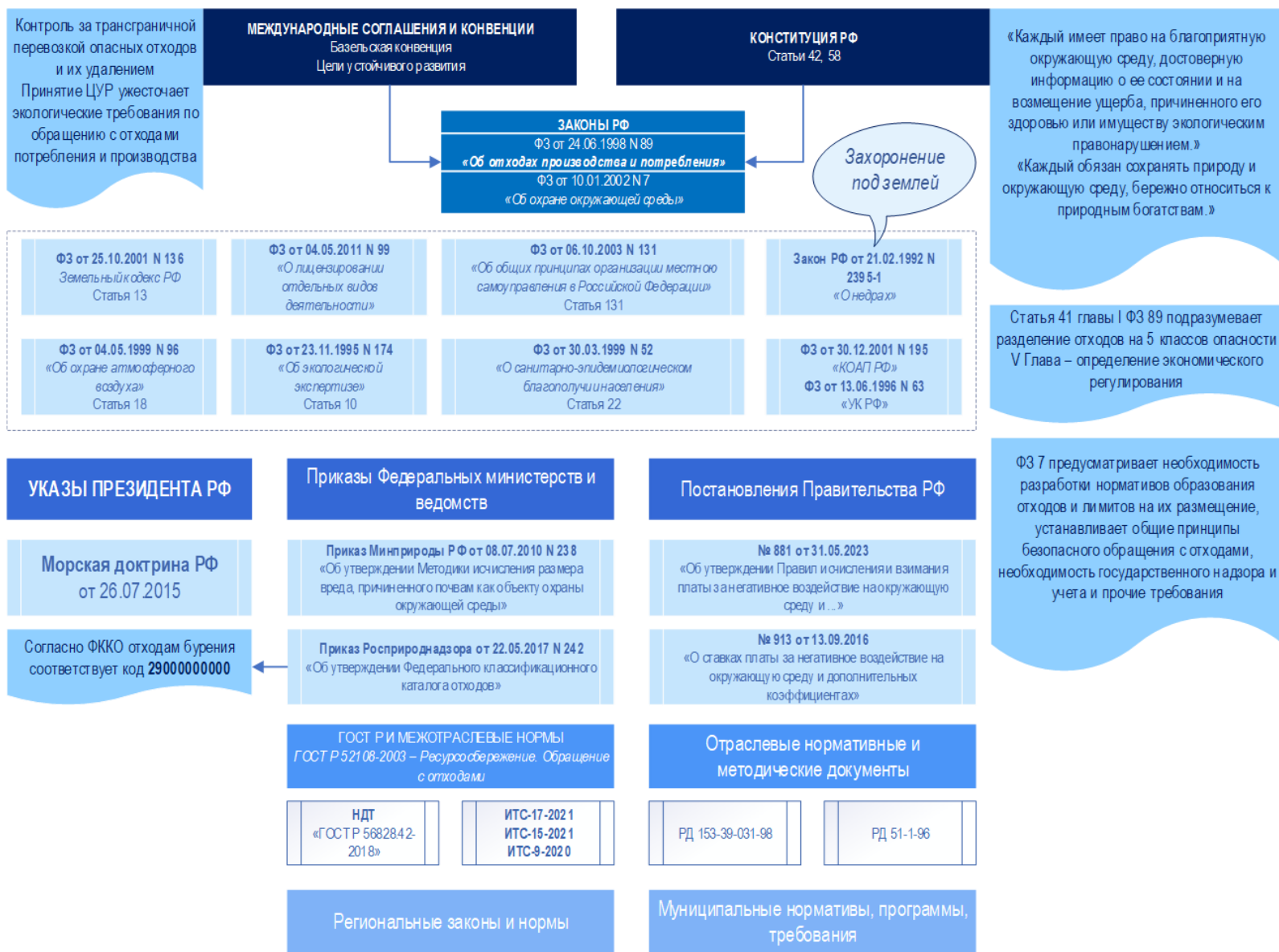


Рисунок 20 – Государственное регулирование деятельностью по управлению отходами потребления и производств

Как показывает рисунок 20, схема государственного регулирования достаточно разнообразна и сложна. В связи с этим, у недропользователей возникают трудности в понимании всех требований и нормативов, касающихся управления отходами бурения.

Буровые отходы, образующиеся в результате деятельности компаний по бурению нефтяных и газовых скважин, согласно Федеральному классификационному каталогу, относят к 3, 4 либо 5 классам опасности (табл. 11).

Таблица 11 – Количество типов буровых отходов, образующихся при бурении по классам опасности

Вид деятельности	III	IV	V
Добыча сырой нефти, природного (попутного) газа и газового конденсата	5	15	1
Проведение геологоразведочных, геофизических и геохимических работ в области изучения недр	-	1	1
Ремонт нефтепромыслового оборудования	1	2	1

Составлено автором по данным Росприроднадзора [82].

Для каждого класса определена своя ставка за размещение тонны отходов согласно Постановлению Правительства РФ [68], а также таксы при нанесении вреда почвам, как объектам охраны окружающей среды [72] при несанкционированном размещении отходов (табл. 12)

Таблица 12 – Ставки и таксы по категориям опасности отходов

Категория опасности	Описание	Ставка, руб/т	Такса, руб/т
III	Умеренно опасные. Нарушают экологию. Длительность восстановления – 10 лет.	1327,0	54 000,0

## Продолжение таблицы 12

Категория опасности	Описание	Ставка, руб/т	Такса, руб/т
IV	Малоопасные. Степень воздействия – низкая. Время восстановления – от 3 лет.	663,2	13 000,0
V	Безвредные. Почти не опасные. Угроза окружающей среде приближается к 0.	1,1	10 000,0

Помимо ставок и такс также предусмотрены дополнительные коэффициенты для оплаты НВОС при размещении отходов, постепенный рост которых происходит раз в два года за последние 6 лет (рис 21).

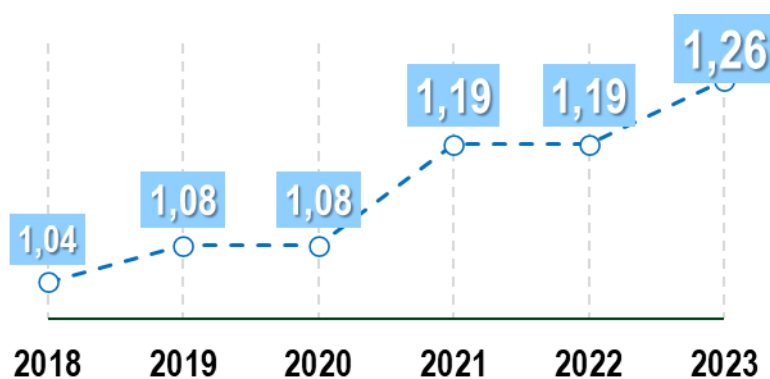


Рисунок 21 – Изменение дополнительных коэффициентов [69]

Стимулировать компании только за счет повышения налоговых ставок и увеличения штрафов нецелесообразно, так как высока вероятность «искусственного занижения» категории опасности отходов, либо передачи прав пользования отходами на сервисные компании (однако этот пункт уже скорректирован в новом Постановлении [70]). Поэтому изменилась формула начисления платы за размещение отходов в пределах лимитов – добавились стимулирующие коэффициенты  $K_{од}$ ,  $K_{по}$  и  $K_{инд}$ , определяемые Федеральным законом «Об охране окружающей среды». Во избежание увеличения незаконных действий компаний по обращению с отходами ввиду уклонения от налогов следует вывод о том, что необходимо не только штрафование либо снижение платы за размещение отходов недропользования, но и, возможно,

их премирование или субсидирование деятельности по их полезному использованию, развитию технологических инноваций, направленных на снижение объемов и вредных воздействий отходов бурения, а также по модернизации процессов утилизации и переработки. В таком ключе компании охотнее будут следить за переработкой отходов и сами будут заинтересованы в получении конечного продукта.

Таким образом, государственное регулирование в сфере деятельности по управлению отходами бурения в России играет важную роль в обеспечении соблюдения экологических стандартов, минимизации воздействия на окружающую среду и сохранении природных ресурсов. Однако для дальнейшего совершенствования этой системы необходимо постоянное обновление нормативной базы и мониторинг эффективности ее применения.

#### *Регулирование за рубежом*

Выбор методов обращения с отходами бурения и разработка технологий тесно связаны с нормативно-правовой базой [138]. Правила, применимые к обращению с отходами бурения, сильно различаются по всему миру. В первую очередь, строгие требования предъявляются компаниям, ведущим поиски, разведку и добычу в море и на шельфе.

Так, например, в США за нормативно-правовую базу отвечают следующие документы и органы, регулирующие выбросы загрязняющих веществ в США:

1. Закон о предотвращении загрязнения 1990 года, который говорит о том, что загрязнение, которое невозможно предотвратить, должно быть переработано экологически безопасным способом, когда это возможно, а утилизация или выброс в окружающую среду должны применяться только в качестве последнего средства);
2. Агентство по охране окружающей среды США (EPA) регулирует сброс буровых растворов и шлама в государственные и федеральные воды;
3. Национальная система ликвидации выбросов загрязняющих веществ в США (NPDES);

4. Руководство по ограничению выбросов (ELG);
5. Министерство энергетики (DOE) и Служба управления полезными ископаемыми (MMS).

Агентством по охране окружающей среды EPA разработан нормативный акт, регулирующий управление отходами в Мексиканском заливе. Подход основан на принципе нулевого сброса, но допускает сброс некоторого количества шлама, содержащего производные нефти.

Конвенция OSPAR (страны северо-восточной Атлантики), которую приняли уже 15 стран, является основой для национальных законов, регулирующих сбросы в Северное море, включая отходы морского бурения. В отличие от американской нормативной базы, решением OSPAR 2000/3 запрещен сброс буровых растворов OBDF, SBDF, GBDF и получаемых с их помощью шламов, содержащих более 1% нефти в Северное море [138]. Поэтому, в рамках системы OSPAR выбросы WBDF, шлама и других отходов бурения, используемых на шельфе, регулируются главным образом путем контроля химических веществ, используемых в процессе бурения.

Евросоюз принял рамочную директиву в 2008 году по управлению отходами [133]. Рамочная директива по отходам устанавливает некоторые основные принципы обращения с отходами. Она требует, чтобы обращение с отходами осуществлялось без угрозы здоровью человека и нанесения вреда окружающей среде. В ней объясняется, когда отходы перестают быть отходами и становятся вторичным сырьем, и как проводить различие между отходами и побочными продуктами. Директива также применяет принципы «кто загрязняет, тот платит» и «расширение ответственности производителя». Основой управления отходами в ЕС является пятиступенчатая «иерархия отходов», установленная в Рамочной директиве по отходам. Она устанавливает порядок предпочтения при управлении отходами и их утилизации.

## **2.4 Выводы по второй главе**

1. Текущая ситуация на рынке бурения в России характеризуется наличием больших запасов нефти и газа и ежегодным наращиванием темпов

бурения, несмотря на изменения в ценах на нефть. Объемы проходки скважин растут из года в год как в эксплуатационном, так и в геологоразведочном бурении. Так, отношение количества утилизированных и обезвреженных отходов к их образованию в динамике по годам снижается, а отношение размещенных отходов на объектах, принадлежащих предприятию – увеличивается, так как стоимость размещения путем захоронения ниже, чем утилизация и повторное использование. Поэтому, при недостаточном финансировании компании вынуждены использовать менее затратные способы обращения с отходами.

2. Наибольшее накопление отходов бурения за 2022 год выявлено в основных нефтегазодобывающих регионах: Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком автономных округах – более 5,8 млн. т отходов, республиках Татарстан и Башкортостан – более 1 млн. т отходов. Также, на 2022 год наибольшее число полигонов, амбаров и накопителей принадлежат компаниям ХМАО: ПАО «Сургутнефтегаз» (111 объектов), ПАО «Лукойл» (74 объекта), ПАО «НК «Роснефть» (35 объектов) и ПАО «Газпром» (34 объекта).

3. Нефтегазовые компании России стремятся снизить долю накопления и размещения отходов, прибегая к использованию инновационных и наилучших доступных технологий и увеличивая долю утилизации путем расширения возможностей применения отходов бурения после их переработки в качестве материалов для строительства промышленных объектов. На сегодняшний день из отходов бурения можно получать пористые заполнители для бетона, цемент, кирпич, грунтовые смеси, щебень, а также некоторые виды топлива.

4. По уровню развития технологий утилизации отходов бурения Россия не уступает остальным странам и также увеличивает жизненный цикл отходов. Кроме того, Россия приняла стандарты Глобальной инициативы отчетности GRI, в которой четко отражаются виды обращения с отходами производства и потребления и их объемы по классам опасности. Благодаря этому



шагу, можно отслеживать изменения в направлениях развития деятельности компаний по управлению отходами производства и потребления.

5. Темпы утилизации отходов бурения, применение инновационных технологий, реализация наилучших практик управления отходами бурения регулируются государственным надзором. В связи с тем, что в России существует достаточно сложная система различных органов и инстанций, которые регулируют деятельность нефтегазовых компаний в области обращения с отходами, возможны проявления некоторых сложностей при получении необходимых разрешений и согласований. Чем строже стандарты соблюдения нормативов, тем выше становится ответственность нефтегазовых компаний за свою деятельность и, тем самым, им приходится использовать ресурсоэффективные подходы, требующие инвестиционных вложений.

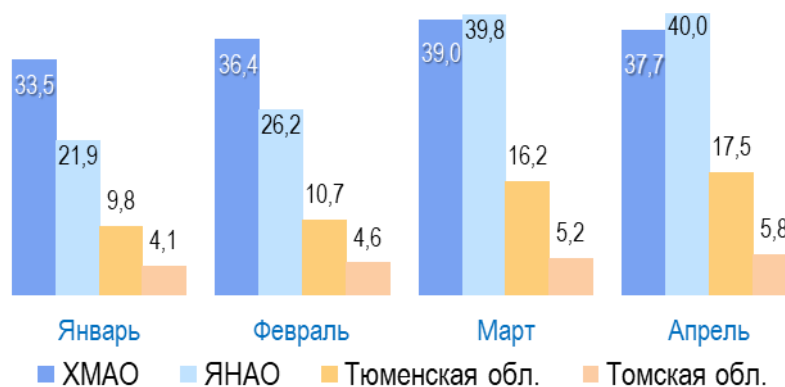
6. Стимулирование компаний только за счет повышения налоговой нагрузки не в достаточной степени приводит к росту эффективности утилизации отходов ввиду возможного роста незаконных действий компаний по обращению с отходами. Поэтому, со стороны государства необходимо рассматривать создание благоприятной инвестиционной среды, используя премирование или субсидирование и иные рычаги стимулирования деятельности компаний, занимающихся переработкой отходов потребления и производств.

### ГЛАВА 3 МЕТОДИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ СОЗДАНИЯ ПРОИЗВОДСТВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ БУРЕНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

#### 3.1 Характеристика района исследования и анализ рынка

Ханты-Мансийский автономный округ (ХМАО) занимает 9 место по величине площади территории среди субъектов России (534,8 тыс. км<sup>2</sup>) [16]. Наибольшую долю занимают лесные земли – 53,65%, далее, поверхностные воды, включая болота – 43,17% и земли, предназначенные под сельскохозяйственные угодья – 1,18%. Ввиду территориальных особенностей плотность населения низкая. Тем не менее, численность населения ХМАО растет из года в год по данным Росстата.

Также, как упоминалось выше, растет и объем операций по добыче и разведке месторождений. В связи с этим, растет объем работ, выполненных по виду деятельности «Строительство». Так, за 2023 год только за первый квартал уже потрачено 146,6 млрд. руб. (рис. 22).



Составлено автором по данным Росстата.

Рисунок 22 – Объем работ по виду деятельности «Строительство», млрд. руб.

Рост объема строительных работ постепенно растет не только в ХМАО, но и в соседних субъектах РФ. В структуре инвестиций на конец 2021 года в основной капитал по виду основного фонда «Здания (кроме жилых) и сооружения, расходы на улучшение земель» составляют наибольшую долю – 37%. По видам экономической деятельности первое место занимает добыча полез-

ных ископаемых – 83%, строительство – 4%, 0,2% занимает водоснабжение, водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений.

К 2030 году, согласно целевым социально-экономическим показателям, ожидается увеличение площади под жилые дома, густоты автомобильных дорог и дорог с твердым покрытием. Перечень основных целевых показателей развития строительной отрасли представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Перечень основных целевых показателей развития строительной отрасли

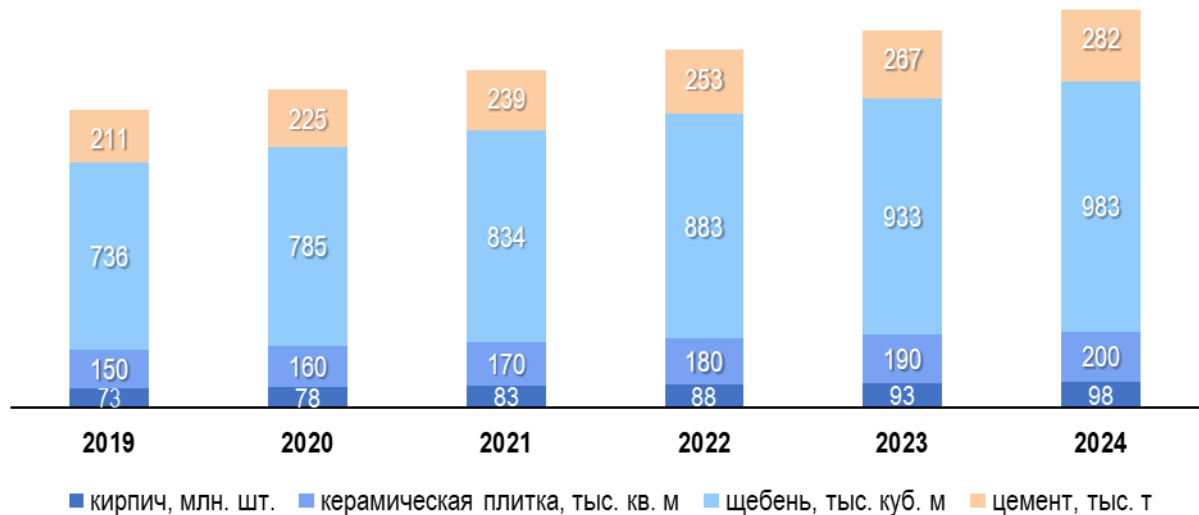
Целевой показатель	2020	2030
Количество инновационных предприятий в сфере стройматериалов и конструкций	11	30
Количество предприятий стройиндустрии, увеличивших объем отгруженной продукции	2	10
Инвестиции в основной капитал по виду деятельности "Строительство", млн руб	26 700	40 000
Выпуск сухих строительных смесей, тыс. т	50	80

Составлено автором по данным [5].

Согласно Стратегии социально-экономического развития ХМАО в Югре социально-экономический эффект от добычи сырья и производства стройматериалов, в первую очередь, будет достигнут за счет налоговых отчислений на все административные уровни автономного округа, что позволит улучшить социально-экономические условия жизни населения [92].

Собственное производство строительных материалов в регионе обеспечивается только за счет добычи песка (по состоянию на 2016 год в регионе насчитывалось 1575 месторождений общераспространенных полезных ископаемых – песок для планировочных работ, песок строительных, песчано-гравийные смеси, строительный камень, глинистые породы, глины кирпичные и др.). Поэтому потребность строительного комплекса удовлетворяется

за счет ввоза стройматериалов из соседних регионов. В 100%-ном дефиците находятся щебень, гравий, портландцемент, кирпич строительный, цемент, плитки керамические. Согласно патентному и литературному обзору, как выяснилось выше, данные материалы возможно получать из бурового шлама. Потребность в этих материалах растет согласно прогнозам аналитиков (рис. 23) [5].



Составлено автором по данным источника [5].

Рисунок 23 – Строительные материалы, ввоз которых полностью осуществляется из других регионов РФ

Инвестиции в основной капитал на охрану окружающей среды от загрязнения отходами производства и потребления значительно выросли в регионе в период с 2019 по 2022 год. Этот рост объясняется ужесточением политики в области обращения с промышленными отходами (рис. 24). Доля переработки и утилизации с 2020 и по 2022 год держится на уровне выше 40%.

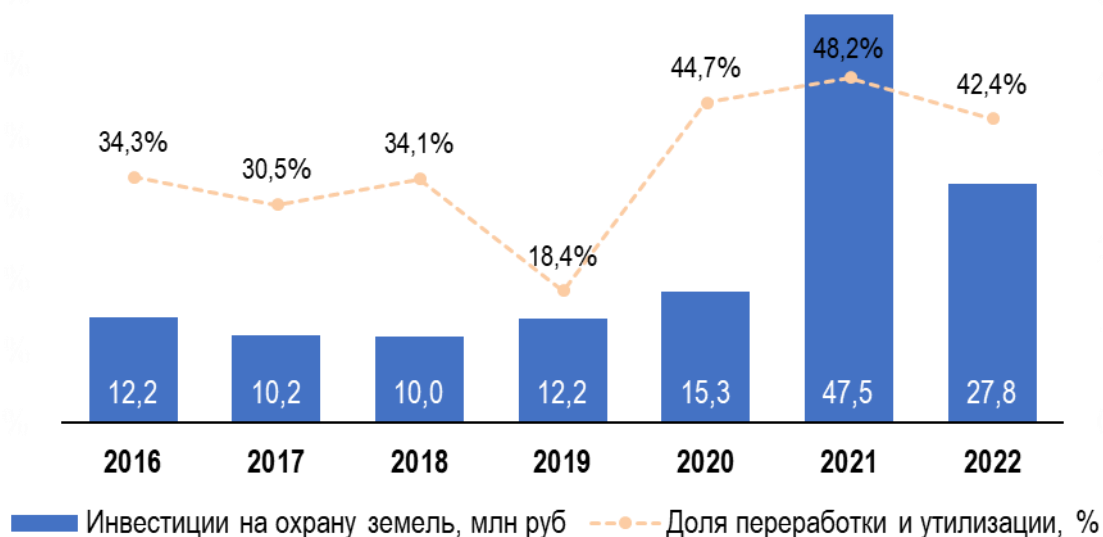


Рисунок 24 – Инвестиции в природоохранные мероприятия на ООС в сфере размещения отходов производства и потребления

Природнадзор ХМАО выделяет следующие основные экологические проблемы недропользования в регионе [74]:

- Загрязнение атмосферного воздуха при выбросах загрязняющих веществ и проблемы утилизации попутного нефтяного газа;
- Проблемы размещения и утилизации отходов;
- Загрязнение земель и водных объектов в т.ч. при авариях на трубопроводах, при размещении отходов;
- Разрушение среды обитания и угнетение животного и растительного мира.

Ресурсная база ХМАО, особенно неиспользуемые запасы полезных ископаемых, а также потенциальные ресурсы – накопленные буровые отходы, обладает резервами для развития промышленности строительных материалов. Северо-западные районы региона – Березовский, Советский, Октябрьский и Белоярский районы – обладают самым высоким уровнем неиспользованных, но востребованных запасов [5].

Однако в этих районах существует ряд факторов, которые препятствуют развитию самих регионов и, в частности, развитию промышленности строительных материалов:

– недостаточное развитие транспортной и энергетической инфраструктуры является сдерживающим фактором для развития промышленности строительных материалов. Восточные районы автономного округа – Сургутский, Нижневартовский, Нефтеюганский и Ханты-Мансийский – являются основными потребителями строительных материалов, на долю которых приходится до 86-90% от общего объема потребления в регионе. Эти районы имеют более высокую транспортную доступность (железнодорожную, водную, автомобильную) по сравнению с регионами с более развитой промышленностью строительных материалов;

– низкий уровень трудового потенциала (как отмечалось выше – низкая плотность населения и т.д.);

– высокий уровень инвестиционных и эксплуатационных затрат по сравнению с существующими производственными мощностями в южных регионах Уральского и Сибирского федеральных округов.

Принимая все факты, собранные выше, использование отходов бурения в качестве ресурсов для производства строительных материалов в Ханты-Мансийском автономном округе считается перспективным и актуальным направлением исследования. Таким образом, необходимо проанализировать уровень технологической подготовленности промышленности по переработке буровых отходов, выявить необходимость в создании собственного производства стройматериалов, способных конкурировать со стоимостью и качеством ввозимых товаров.

### **3.2 Модель оценки и выбора альтернатив по утилизации отходов бурения и выделения групп для совместной переработки**

#### *Сценарии проектов*

В Ханты-Мансийском автономном округе утилизация буровых растворов при добыче нефти и газа осуществляется в соответствии с экологическими и техническими требованиями. Наиболее популярные схемы обращения с отходами бурения в настоящее время на территории ХМАО:

- образующиеся отходы передаются компаниям по переработке отходов для владения и использования. В регионе насчитывается более 20 сервисных компаний, которые собирают, транспортируют, хранят и перерабатывают отходы бурения [77].

- отходы утилизируются на месте бурения в буровые амбары. Согласно анализу, проведенному выше, количество таких амбаров велико. Это связано с рядом факторов: экономических, технических, технологических и экологических. Иными словами, для нефтегазовых компаний региона более рационально утилизировать отходов путем строительства буровых амбаров.

Постепенно компании внедряют методы, направленные на увеличение жизненного цикла отходов бурения за счет переработки в строительные материалы и грунты [40, 81] в связи с ужесточением экологических стандартов и контроля за обращением с промышленными отходами, а также растущей озабоченностью общественности.

Следовательно, для оценки жизнеспособности внедрения систем обращения с отходами бурения при разработке месторождений углеводородов необходим всесторонний анализ четырех вариантов разработки месторождений, каждый из которых содержит различные сценарии утилизации отходов бурения (табл. 14). Анализ этих четырех сценариев поможет ответить на вопрос о том, действительно ли переработка отходов может принести компании экономическую выгоду и от чего это будет зависеть, или лучше применять традиционные варианты переработки.

Таблица 14 – Сценарии проектов по утилизации отходов бурения

№	Варианты утилизации	Краткое описание	CAPEX	OPEX
0	Найм компании для утилизации	Базовый вариант. Стоимость утилизации закладывается в стоимость бурения (в среднем, стоимость утилизации шлама составляет до 5% от стоимости скважины)	+	-

## Продолжение таблицы 14

1	Утилизация буровых отходов на месте в шламовых амбарах	Стоимость утилизации складывается из стоимости платы за НВОС (при ставке за каждую тонну шлама) и организации работ по сооружению амбаров (строительство и рекультивация амбаров)	–	+
2	Утилизация отходов на месте с их использованием в качестве основного материала для отсыпки дорог и кустовых площадок	Стоимость закупки оборудования и переработки отходов. Достигается экономия на закупке ресурсов	+	+
3	Утилизация отходов их полной реализацией в качестве переработки в стройматериалы на заводе за пределами месторождения	Стоимость транспортных расходов до места переработки и затраты на установку и на переработку отходов в стройматериалы	+	+

Составлено автором

Рассматривать целый проект разработки и освоения месторождения от покупки лицензии и геологоразведочных работ до завершающей стадии и ликвидации промысла не имеет смысла, так как невозможно будет оценить и подсчитать эффект от каждого метода утилизации. Разумнее выбрать тот этап жизненного цикла проекта, в котором происходит наибольшая генерация буровых отходов и, соответственно, их переработка с дальнейшей реализацией (в зависимости от сценария). Следовательно, продолжительность проекта определяется длительностью периода эксплуатационного бурения скважин.

Разработка месторождения осуществляется традиционным способом путем заводнения, используя систему поддержания пластового давления. Соответственно, проектом бурения подразумевается проводка как добывающих, так и нагнетательных скважин.

Представим модель выбора и оценки альтернатив по утилизации отходов бурения в виде схемы на рисунке 25.



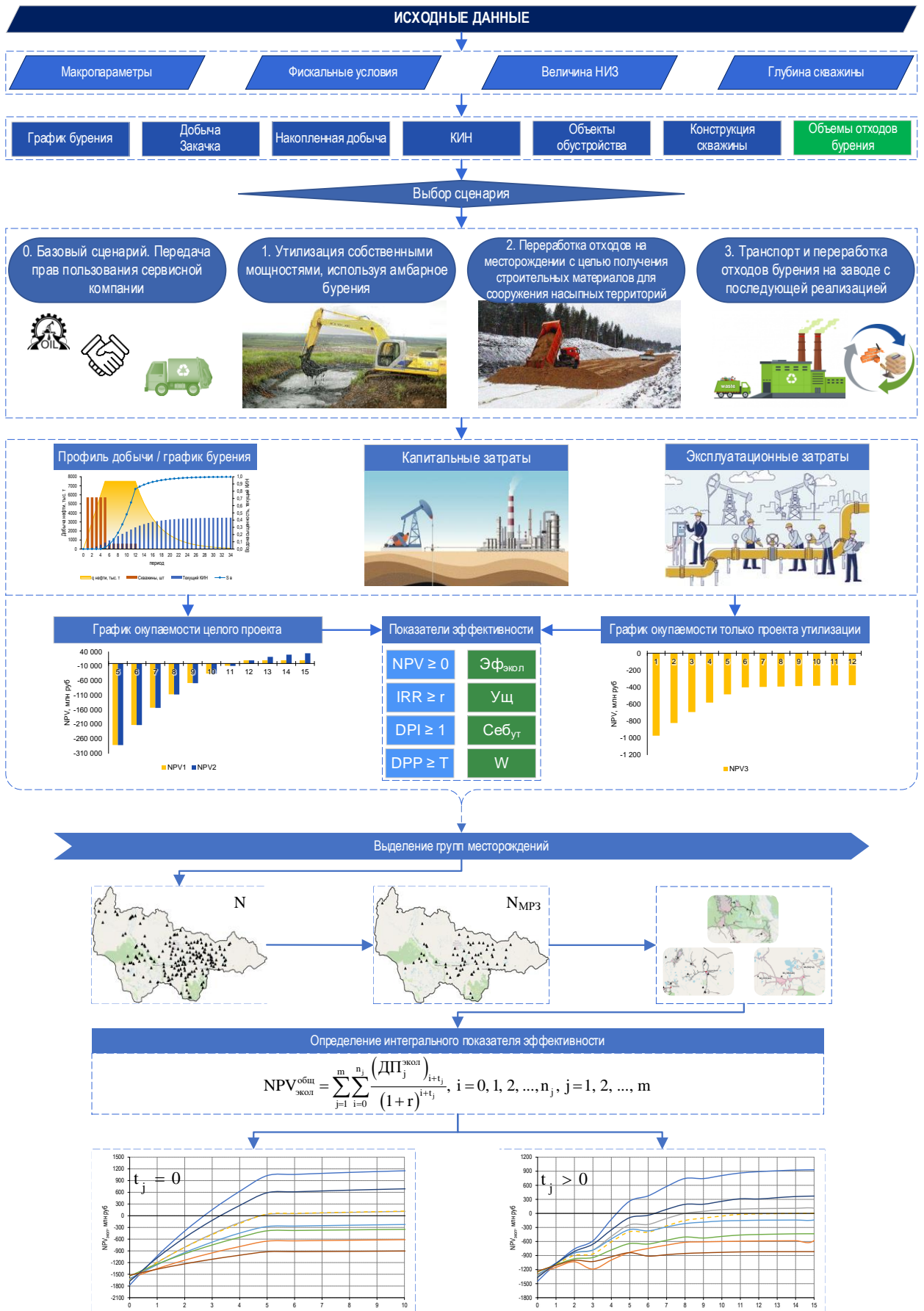


Рисунок 25 – Графическая интерпретация модели выбора и оценки альтернатив по утилизации отходов бурения

*Определение профиля добычи, закачки, бурения и генерации отходов*

1. При построении моделей освоения месторождения углеводородного сырья руководствуются правилами подготовки технических проектов [107].

Построение модели начнем с построения профиля добычи нефти (1):

$$q_n(t) = \begin{cases} k \cdot \text{НИЗ} \cdot t, & t < t_{\text{нач}} \\ k \cdot \text{НИЗ}, & t_{\text{нач}} \leq t \leq t_{\text{нач}} + t_{\text{max}} \\ k \cdot \text{НИЗ} \cdot \exp[-\beta \cdot (t - [t_{\text{нач}} + t_{\text{max}}])], & t > t_{\text{нач}} + t_{\text{max}} \end{cases}, \quad (1)$$

где  $q_n(t)$  – добыча нефти по годам, тыс. т;  $k$  – относительная величина ежегодного отбора в период постоянной максимальной добычи, д. ед.; НИЗ – начальные извлекаемые запасы, млн. т;  $t$  – текущий год;  $t_{\text{нач}}$  – период нарастающей добычи, лет;  $t_{\text{max}}$  – период максимальной добычи, лет;  $\beta$  – коэффициент спада добычи, д. ед.

Необходимые параметры для кривой добычи можно определить по статистическим данным [63], представленным в таблице 15.

Таблица 15 – Параметры разработки месторождения от величины НИЗ

НИЗ, млн т	k	t <sub>нач</sub> , лет	t <sub>max</sub> , лет	t <sub>кон</sub> *, лет
более 60	0,03	5	7	30
от 15 до 60	0,05	4	5	25
менее 15	0,07	3	3	25

\* t<sub>кон</sub> – период падающей добычи.

2. Далее определим количество скважин, которые смогут обеспечить отбор в период максимальной добычи нефти (2):

$$n_{\text{дс}} = 10^6 \cdot \frac{k \cdot \text{НИЗ} \cdot k_{\text{рез}}}{365 \cdot k_{\text{экспл}} \cdot q}, \quad (2)$$

где  $n_{дс}$  – количество добывающих скважин, шт;  $k_{рез}$  – коэффициент резерва скважин, д. ед.;  $k_{экспл}$  – коэффициент эксплуатации скважин, д. ед.;  $q$  – средний дебит одной скважины, т/сут.

3. Количество нагнетательных скважин зависит от сетки разработки и его можно определить по формуле 3:

$$n_{нс} = n_{дс} \cdot \theta, \quad (3)$$

где  $n_{нс}$  – количество нагнетательных скважин, шт;  $\theta$  – отношение числа нагнетательных скважин к добывающим, д. ед.

4. Текущий коэффициент извлечения нефти (4):

$$\eta(t) = \frac{\sum_t q_n(t)}{\text{НИЗ}}, \quad (4)$$

где  $\eta(t)$  – текущий коэффициент извлечения нефти, д. ед.;  $\sum_t q_n(t)$  – накопленная добыча на текущий период, млн. т.

5. Обводненность месторождения можно смоделировать по эмпирической зависимости (5) [21]:

$$S_b(t) = \begin{cases} 0, & \eta \leq \eta_0 \\ a \cdot [\eta(t) - \eta_0]^2, & \eta_0 \leq \eta(t) \leq \eta_{ср} \\ b \cdot \eta(t)^{0.5}, & \eta_{ср} \leq \eta(t) \leq \eta_{max} \end{cases}, \quad (5)$$

где  $S_b(t)$  – обводненность месторождения, д. ед.;  $\eta_0$  – безводный коэффициент извлечения нефти (0 – 0,1), д. ед.;  $\eta_{ср}$  – коэффициент извлечения нефти на второй стадии (0,1 – 0,5), д. ед.;  $\eta_{max}$  – максимальный коэффициент извлечения нефти (0,5 – 0,7), д. ед.;  $a, b$  – параметры кривой обводненности.

6. Добыча воды по годам с учетом предыдущих формул (6):

$$q_b(t) = \frac{S_b(t)}{1 - S_b(t)} \cdot q_n(t), \quad (6)$$

где  $q_b(t)$  – добыча воды по годам, тыс. т.

7. Объемы закачки вытесняющего агента (воды) (7):

$$q_{зв}(t) = 1,2 \cdot [q_n(t) + q_b(t)], \quad (7)$$

где  $q_{зв}(t)$  – закачка воды по годам, тыс. т.

8. Ввод скважин зависит от максимальной добычи на пике (полке) и среднего дебита скважины. Первый этап разработки включает в себя разбуривание не менее 90% основного фонда скважин, остальные 10% на втором этапе [4].

9. Объем отходов бурения за каждый год определяется по формуле 8:

$$W = n_{дс} \cdot M_{одс} + n_{нс} \cdot M_{онс}, \quad (8)$$

где  $W$  – количество отходов бурения в год, тыс. т.;  $M_{одс}$ ,  $M_{онс}$  – количество отходов бурения на добывающую и нагнетательную скважину соответственно, тыс. т.

#### *Определение макропараметров*

1. Так как доходной частью проекта является получаемый приток нефти (для 3-го сценария и приток денежных средств от продажи стройматериалов), то необходимо определить стоимость реализации сырой нефти на внутреннем рынке (9):

$$\text{Нетбэк} = (\text{Ц} \cdot K_{барр} - \text{T} - \text{Пр}) \cdot \text{P}, \quad (9)$$

где Нетбэк – цена реализации на внутреннем рынке, руб/т; Ц – цена нефти сорта Urals, \$/барр;  $K_{барр}$  – коэффициент баррелизации,  $\approx 7,2$  [29]; Т – таможенная пошлина, \$/т; Пр – прочие затраты, в т.ч. связанные с транспортировкой до коммерческого узла учета нефти и перевалкой нефти, \$/т; Р – обменный курс рубля к доллару США, руб/\$.

2. Ставка дисконтирования необходима для определения временной стоимости денежных средств [108]. Для нефтегазовых проектов ставка дисконтирования определяется по модели WACC (Weighted Average Cost Of Capital) или CAPM (Capital Assets Pricing Model) [132]. Для составления проектов в нефтегазовых компаниях зачастую существуют внутренние документы и уставы, обосновывающие выбор ставки дисконтирования. В общем случае ставка дисконтирования складывается из безрисковой (базовой) ставки и премии за рисковую составляющую (страновой риск, отраслевой риск, риск,

связанный с некачественным корпоративным управлением, риск, связанный с неликвидностью акций эмитента) [108].

В данной модели ставку дисконтирования рассчитаем на основе базовой модели CAPM (10):

$$r = r_f + \beta_i \cdot (r_m - r_f) + s_1 + s_2, \quad (10)$$

где  $r$  – ставка дисконтирования, д.ед.;  $r_f$  – безрисковая ставка доходности, д.ед.;  $r_m$  – среднерыночная ставка доходности, д.ед.;  $s_1$  – корректировка на риск, связанный с размером оцениваемой компании в сравнении с аналогичными компаниями, д.ед.;  $s_2$  – корректировка на иные факторы, д.ед.;  $\beta_i$  – коэффициент чувствительности актива к изменениям рыночной доходности, рассчитываемый по формуле 11:

$$\beta_i = \frac{\text{cov}(r_i, r_m)}{\sigma^2(r_m)}, \quad (11)$$

где  $\text{cov}(r_i, r_m)$  – ковариация доходности актива  $r_i$  с доходностью всего рынка  $r_m$ , д.ед.;  $\sigma^2(r_m)$  – дисперсия доходности всего рынка, д.ед.

3. При добыче углеводородов наибольший процент эксплуатационных затрат лежит в налоговых отчислениях [37]. Налог на добычу полезных ископаемых определяется в соответствии с 342 статьей Налогового кодекса РФ (12):

$$\text{НДПИ} = q_n \cdot \left[ B_{\text{нефть}} \cdot (\text{Ц} - 15) \cdot \frac{P}{261} - D_m \right], \quad (12)$$

где НДПИ – налог на добычу полезных ископаемых, млн руб;  $B_{\text{нефть}}$  – базовая ставка НДПИ на нефть, 919 руб/т;  $D_m$  – коэффициент, характеризующий особенности добычи нефти (13):

$$D_m = K_{\text{НДПИ}} \cdot \left[ (\text{Ц} - 15) \cdot \frac{P}{261} \right] \cdot (1 - K_3 \cdot K_d \cdot K_{\text{ДВ}} \cdot K_{\text{КАН}}) - K_k, \quad (13)$$

где  $K_{\text{НДПИ}} = 559$  руб/т;  $K_3$ ,  $K_d$ ,  $K_{\text{КАН}}$ , равны 1;  $K_k = 428$  руб/т;  $K_{\text{ДВ}}$  – показатель выработанности запасов (14):

$$K_{\text{ДВ}} = \begin{cases} 1 & \text{при } \eta < 0,8 \\ 3,8 - 3,5 \cdot \eta & \text{при } \eta > 0,8 \end{cases} \quad (14)$$

### *Определение капитальных и эксплуатационных затрат*

В зависимости от сценариев состав капитальных и эксплуатационных затрат будет отличаться. В составе капитальных затрат, не меняющихся для каждого сценария, основными статьями являются «Бурение скважин» (наибольшая доля для любого проекта по освоению месторождения УВС) и «Объекты промыслового обустройства» (табл. 16). В состав эксплуатационных затрат входят такие статьи как текущие затраты, транспортные расходы, амортизационные отчисления, страховые взносы, плата за использование земли и налог на добычу полезных ископаемых, который, зачастую, занимает наибольшую долю (табл. 16). Затраты, которые уникальны для каждого сценария, представлены в таблице 17.

Таблица 16 – Перечень затрат одинаковых для всех сценариев

Тип затрат	Статьи затрат
Капитальные	1. Бурение скважин 1.1. добывающих 1.2. нагнетательных 2. Объекты промыслового обустройства 2.1. Оборудование для добычи нефти и закачки реагентов 2.2. Сбор и транспорт нефти 2.3. Автоматизация и телемеханика 2.4. Электроснабжение 2.5. Водоснабжение 2.6. Базы материального и производственного обеспечения 2.7. Система ППД 2.8. Установка подготовки нефти 2.9. Установки выработки электроэнергии 2.10. Внутрипромысловые дороги 2.11. Зимники 2.12. Кустовые площадки 2.13. Непредвиденные затраты 2.14. Природоохранные мероприятия

## Продолжение таблицы 16

Тип затрат	Статьи затрат
Эксплуатационные	1. Текущие затраты <ul style="list-style-type: none"> <li>1.1. Обслуживание добывающих скважин</li> <li>1.2. Обслуживание нагнетательных скважин</li> <li>1.3. Оплата труда</li> <li>1.4. Сбор и транспорт нефти и газа</li> <li>1.5. Ремонт добывающих и нагнетательных скважин</li> <li>1.6. Технологическая подготовка нефти</li> <li>1.7. Энергия на извлечение нефти</li> <li>1.8. Закачка вытесняющего агента</li> <li>1.9. Затраты на геолого-технические мероприятия</li> </ul> 2. Транспортные расходы на нефть 3. Амортизационные отчисления 4. Страховые взносы 5. Плата за землю 6. НДС

Оценка капитальных и эксплуатационных затрат основывается на объектах – аналогах (ранее разработанных месторождениях), а также по данным источников [4, 24, 85, 87, 110]. Цены из разных временных периодов пересчитывались с помощью индексов изменения сметной стоимости [36].

Таблица 17 – Перечень дополнительных затрат по сценариям

Сценарий	Тип затрат	Статьи затрат	Источник
0	Капитальные	1. Утилизация шлама в стоимости строительства скважины (плата компании за каждую тонну образуемых отходов)	[124]
	Эксплуатационные	Отсутствуют	
1	Капитальные	Отсутствуют	
	Эксплуатационные	1. Плата за размещение отходов в шламовых амбарах 2. Строительство и рекультивация шламовых амбаров	[3] [76]

## Продолжение таблицы 17

Сценарий	Тип затрат	Статьи затрат	Источник
2	Капитальные	1. Установки по переработке шлама на месторождении (Блочные фильтр-прессы) 2. Снижение затрат за счет получаемого материала в статьях: 2.1. Внутрипромысловые дороги 2.2. Зимники 2.3. Кустовые площадки	[62] Рассчитано
	Эксплуатационные	1. Транспорт буровых отходов до места накопления на месторождении 2. Переработка шлама на месторождении в материал для отсыпки	[51] [15]
3	Капитальные	1. Строительство завода по переработке отходов в строительные материалы	[6, 83]
	Эксплуатационные	1. Транспорт буровых отходов до ближайшего завода по изготовлению строительных материалов 2. Переработка отходов на заводе и получение готового продукта	[31] [6, 97]

Составлено автором

В базовом сценарии отсутствуют дополнительные эксплуатационные затраты, так как все работы по утилизации шлама передаются подрядчику. В сценарии 1 отсутствуют дополнительные капитальные затраты, так как буровой (шламовый) амбар является временным сооружением, после использования которого необходима его ликвидация и восстановление почвенных покровов путем рекультивации.

1. Капитальные затраты (бурение скважин, строительство промысла) в общем виде можно представить в виде (15):

$$K = \begin{cases} \left[ 0,001 \cdot (C_{\text{бур}} + C_{\text{ут}}) \right] \cdot (H_{\text{дс}} \cdot n_{\text{дс}} + H_{\text{нс}} \cdot n_{\text{нс}}) + C_{\text{оп}}, & \text{Базовый сценарий} \\ 0,001 \cdot C_{\text{бур}} \cdot (H_{\text{дс}} \cdot n_{\text{дс}} + H_{\text{нс}} \cdot n_{\text{нс}}) + C_{\text{оп}}, & \text{1-й сценарий} \\ 0,001 \cdot C_{\text{бур}} \cdot (H_{\text{дс}} \cdot n_{\text{дс}} + H_{\text{нс}} \cdot n_{\text{нс}}) + \left[ C_{\text{оп}} - (C_{\text{дор}} + C_{\text{кп}}) \cdot \alpha \right] + C_{\text{внутр}}, & \text{2-й сценарий} \\ 0,001 \cdot C_{\text{бур}} \cdot (H_{\text{дс}} \cdot n_{\text{дс}} + H_{\text{нс}} \cdot n_{\text{нс}}) + C_{\text{оп}} + C_{\text{внеш}}, & \text{3-й сценарий} \end{cases}, \quad (15)$$



где  $K$  – капитальные затраты проекта, млн руб;  $C_{\text{бур}}$  – стоимость бурения 1 метра скважины, тыс. руб/м;  $C_{\text{ут}}$  – стоимость утилизации шлама, заключенная в стоимость бурения, тыс. руб/м;  $C_{\text{оп}}$  – стоимость объектов промышленного производства, млн. руб;  $H_{\text{дс}}$ ,  $H_{\text{нс}}$  – глубина добывающей и нагнетательной скважины соответственно, м;  $C_{\text{дор}}$ ,  $C_{\text{кп}}$  – стоимость строительства промышленных дорог и кустовых площадок, млн. руб;  $\alpha$  – коэффициент снижения стоимости насыпных объектов ввиду использования переработанного бурового шлама;  $C_{\text{внутр}}$  – стоимость установок для переработки шлама на месторождении, млн. руб;  $C_{\text{внеш}}$  – стоимость строительства завода по переработке отходов в строительные материалы, млн. руб.

## 2. Эксплуатационные затраты (16):

$$\Theta = \begin{cases} Z_{\text{тек}} + Z_{\text{тр}} + A + \text{Стр} + Z_{\text{из}} + \text{НДПИ}, \text{ Базовый сценарий} \\ Z_{\text{тек}} + Z_{\text{тр}} + A + \text{Стр} + Z_{\text{из}} + \text{НВОС} + Z_{\text{амб}}, \text{ 1-й сценарий} \\ Z_{\text{тек}} + Z_{\text{тр}} + A + \text{Стр} + Z_{\text{из}} + Z_{\text{внутр}}, \text{ 2-й сценарий} \\ Z_{\text{тек}} + Z_{\text{тр}} + A + \text{Стр} + Z_{\text{из}} + Z_{\text{внеш}} + Z_{\text{пер}}, \text{ 3-й сценарий} \end{cases}, \quad (16)$$

где  $Z_{\text{тек}}$  – текущие затраты, млн. руб.;  $Z_{\text{тр}}$  – транспортные затраты углеводородов, млн. руб;  $A$  – амортизация, млн. руб;  $\text{Стр}$  – страховые взносы, млн. руб;  $Z_{\text{из}}$  – плата за использование земли, млн. руб;  $\text{НВОС}$  – плата за негативное воздействие на окружающую среду, млн. руб;  $Z_{\text{амб}}$  – затраты на строительство и рекультивацию амбаров, млн. руб;  $Z_{\text{внутр}}$  – транспортные затраты на перемещение бурового шлама на месторождении до мест накопления, млн. руб;  $Z_{\text{внеш}}$  – транспортные затраты до завода, млн. руб;  $Z_{\text{пер}}$  – затраты на переработку шлама в строительные материалы, млн. руб.

Затраты на транспорт от месторождения до завода можно рассчитать исходя из стоимости аренды грузового транспорта и дизельного топлива (17):

$$Z_{\text{внеш}} = 0,365 \cdot n_{\text{авт}} \cdot (C_{\text{авт}} + 0,001 \cdot q_{\text{дт}} \cdot C_{\text{дт}} \cdot 2 \cdot n_{\text{р}} \cdot D), \quad (17)$$

где  $C_{\text{авт}}$  – стоимость аренды грузового автомобиля, тыс.руб./сут.;  $q_{\text{дт}}$  – расход дизельного топлива, л/100 км;  $C_{\text{дт}}$  – стоимость дизельного топлива, руб/л.;  $n_{\text{р}}$

– число рейсов в сутки, сут<sup>-1</sup>; D – расстояние от месторождения до завода, км;  
 $n_{авт}$  – потребное число грузовых машин, рассчитывается по формуле 18:

$$n_{авт} = \left\lceil \frac{1000 \cdot W}{365 \cdot n_p \cdot g} \right\rceil, \quad (18)$$

где; g – грузоподъемность одного грузового автомобиля, т.

Плата за негативное воздействие на окружающую среду начисляется на количество бурового шлама, оставшегося на конец года, то есть (19):

$$НВОС = 10^{-3} \cdot Ст_{НВОС} \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot (W^{н.г.} - W^{к.г.}), \quad (19)$$

где  $Ст_{НВОС}$  – ставка за размещение отходов, руб/т.;  $c_1, c_2, c_3$  – коэффициенты, определяемые Постановлением Правительства РФ N 913 [68];  $W^{н.г.}$  – количество буровых отходов на начало года, тыс. т.;  $W^{к.г.}$  – количество буровых отходов на конец года, тыс. т.

Полный список исходных данных для расчетов представлен в приложении в таблице А1.

#### *Определение экономических параметров*

1. Выручка от продажи нефти на внутреннем рынке и от реализации получаемых строительных материалов (20):

$$\text{Выручка} = \begin{cases} 10^{-3} \cdot q_n \cdot \text{Нетбэк, Базовый, 1-й, 2-й сценарии} \\ 10^{-3} \cdot q_n \cdot \text{Нетбэк} + \gamma \cdot W \cdot \sum_i^n w_i \cdot c_i, \text{ 3-й сценарий} \end{cases}, \quad (20)$$

где Выручка – выручка от реализации продукции, млн. руб;  $\gamma$  – степень переработки бурового шлама, д.ед.;  $w_i$  – доля шлама для переработки в  $i$ -й полезный продукт (кирпич, дорожный грунт, цемент,), д.ед.;  $c_i$  – рыночная стоимость  $i$ -го продукта, тыс. руб/т.

2. Балансовая прибыль (21):

$$\text{Пр}_{бал} = \text{Выручка} - \text{НДС} - \text{Э}, \quad (21)$$

где  $\text{Пр}_{бал}$  – балансовая прибыль, млн. руб.; НДС – налог на добавленную стоимость, млн. руб.

3. Налогооблагаемая прибыль (22):

$$\text{Пр}_н = \text{Пр}_{\text{бал}} - \text{Н}_{\text{им}}, \quad (22)$$

где  $\text{Пр}_н$  – налогооблагаемая прибыль, млн. руб.;  $\text{Н}_{\text{им}}$  – налог на имущество, млн. руб.

4. Чистая прибыль (23):

$$\text{Ч}_{\text{пр}} = \text{Пр}_н - \text{Н}_{\text{пр}}, \quad (23)$$

где  $\text{Ч}_{\text{пр}}$  – чистая прибыль, млн. руб.;  $\text{Н}_{\text{пр}}$  – налог на прибыль, млн. руб.

5. Денежный поток, коэффициент дисконтирования и показатели экономической эффективности (24):

$$\text{ДП} = \text{Ч}_{\text{пр}} - \text{К} + \text{А}, \quad (24)$$

где ДП – денежный поток, млн. руб.

6. Коэффициент дисконтирования (25):

$$\text{К}_д = \frac{1}{(1+r)^i}, \quad (25)$$

где  $\text{К}_д$  – коэффициент дисконтирования, д.ед.;  $i$  – номер периода.

7. Чистый дисконтированный доход (26):

$$\text{NPV} = -\text{К} + \sum_{t=1}^n \text{ДП}_t \cdot \text{К}_{дt}, \quad (26)$$

где NPV – чистый дисконтированный доход, млн. руб.;  $t$  – номер периода;  $n$  – длительность проекта, лет.

Если NPV положительный, значит, проект принесет прибыль, и чем больше величина NPV, тем выгоднее/прибыльнее является данный проект.

8. Внутренняя норма доходности (рентабельности) (27):

$$0 = \text{NPV} = -\text{К} + \sum_{t=1}^n \frac{\text{ДП}_t}{(1 + 0,01 \cdot \text{IRR})^t}, \quad (27)$$

где IRR – внутренняя норма доходности, %.

Проект принимается в том случае, если  $\text{IRR} > r$ . Если  $\text{IRR} = r$ , то проект способен возместить инвестированный капитал и обеспечить необходимый доход на этот капитал, если  $\text{IRR} < r$  – то проект убыточный.

9. Дисконтированный срок окупаемости инвестиций (28):

$$DPP = DPP_{t-1} - \frac{NPV_{t-1}}{NPV_t}, \quad (28)$$

где DPP – дисконтированный срок окупаемости инвестиций, лет.

10. Дисконтированный индекс доходности (рентабельности) (29):

$$DPI = 1 + \frac{NPV}{K}, \quad (29)$$

где DPI – дисконтированный индекс доходности, д.ед.

Проект принимается в том случае, если  $DPI > 1$ . В противном случае, проект убыточен, а при  $DPI = 1$  чистый дисконтированный доход равен нулю.

#### *Оценка экологического эффекта*

Помимо выделенных показателей можно оценить потоки денежных средств от внедряемых методов утилизации и оценить экологический эффект (30), предотвращенный ущерб (31) и себестоимость утилизации отходов (32):

$$\text{Эф}_{\text{экол}} = \frac{З_{\text{экол}}}{Ущ - З_{\text{экол}}}, \quad (30)$$

где  $\text{Эф}_{\text{экол}}$  – экологический эффект, измеряемый отношением операционных затрат на экологические мероприятия и разностью предотвращенного ущерба и величиной операционных затрат на экологические мероприятия по утилизации буровых отходов, дед.;  $З_{\text{экол}}$  – эксплуатационные затраты мероприятий, связанных только с утилизацией буровых отходов, млн. руб.;  $Ущ$  – предотвращенный ущерб, млн. руб., который определяется согласно методике [34]:

$$Ущ = \left( \sum_{i=1}^n W_i \cdot T_i \right) \cdot K_{\text{исп}} \cdot K_{\text{мпс}}, \quad (31)$$

где  $W_i$  – количество отходов одного класса опасности, тыс. т.;  $T$  – такса, начисляемая за каждую тонну размещаемых отходов, причиняющих вред почвам, как объекту охраны окружающей среды (III класс опасности отходов – 54 тыс. руб / т, IV класс – 13 тыс. руб / т);  $K_{\text{исп}}$  – коэффициент, учитываю-

щий категорию земли (от 1 до 2);  $K_{\text{мпс}}$  – коэффициент, учитывающий мощность плодородного слоя почвы (от 1 до 8);

$$\text{Себ}_{\text{ут}} = \frac{Z_{\text{экол}}}{W}, \quad (32)$$

где  $\text{Себ}_{\text{ут}}$  – себестоимость утилизации отходов бурения, тыс. руб / т.

#### *Определение групп месторождений для строительства завода*

Пусть имеется  $N$  месторождений в рассматриваемом регионе (субъекте РФ). Каждое  $i$ -месторождение имеет величину начальных извлекаемых запасов  $Q_i^{\text{НИЗ}}$ . Информация по количеству начальных извлекаемых запасов собрана из открытых источников [41, 42]. Не по всем месторождениям есть конкретные значения запасов и ресурсов УВС: по большинству из них есть информация о группе месторождений по величине начальных извлекаемых запасов нефти и газа. Количество величины НИЗ определялось согласно классификации запасов и ресурсов нефти и горючих газов [35]. По тем месторождениям, у которых имеются данные о величине запасов (категории А, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, С<sub>1</sub>, С<sub>2</sub>) и ресурсов (категории D<sub>0</sub>, D<sub>л</sub>, D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>) количество начальных извлекаемых запасов определялось согласно методике расчета минимального (стартового) размера разового платежа за пользование недрами [71]. Поэтому, имеется некоторая неопределенность в данных, которую можно минимизировать, зная геологические условия и используя метод Монте-Карло, определяя наиболее вероятное значение объемов УВС.

Из этого числа месторождений выделим только те, которые соответствуют условию  $Q_i^{\text{НИЗ}} \geq \text{МРЗ}$ , где МРЗ – минимально-рентабельные запасы, т.е. минимальный объем извлекаемых углеводородов, необходимых для достижения условия  $\text{NPV} = 0$  [166]. Обозначим количество месторождений, удовлетворяющих текущим условиям экономически успешного освоения месторождений углеводородов как  $N_{\text{МРЗ}}$  (рис. 26).

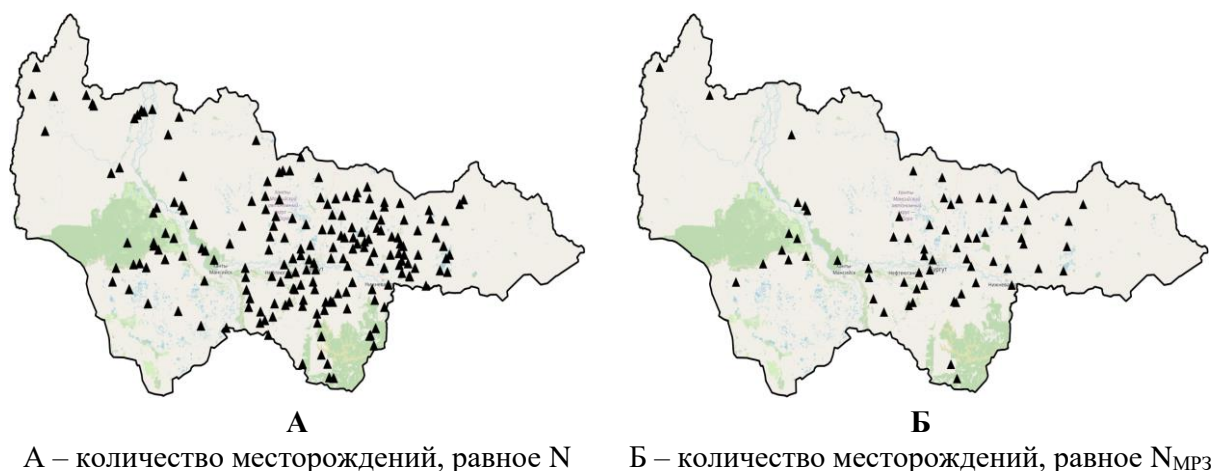


Рисунок 26 – Определение количества месторождений для расчета

Теперь необходимо посмотреть, насколько эти месторождения удалены друг от друга и от городских поселений, а также, имеется ли возможность добраться до них на грузовом транспорте. Данная задача решается с помощью свободной кроссплатформенной геоинформационной системы QGIS [88]. Оценим транспортную доступность на основе данных о дорожной сети и координатах месторождений, иными словами, проведем построение изохрон – линий равных затрат времени на преодоление пространства относительно заданных точек по модели Heavy Goods Vehicle (грузовые автомобили, с грузоподъемностью более 3,5 тонн). Составим карту региона, указав на ней месторождения и основные населенные пункты (рис. 27).

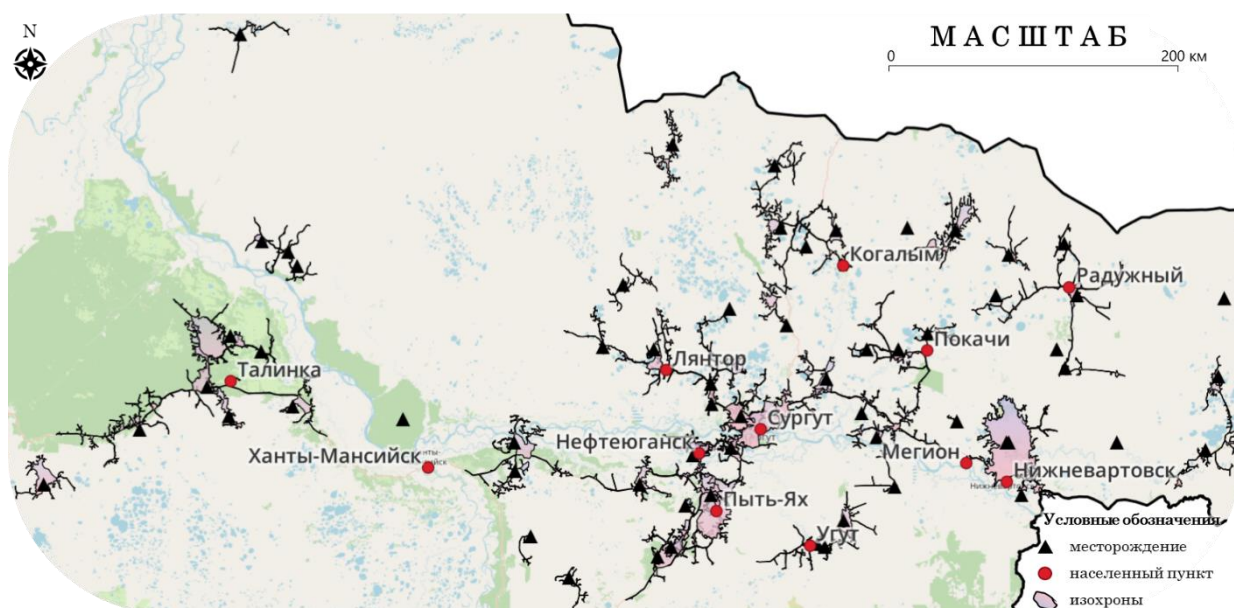
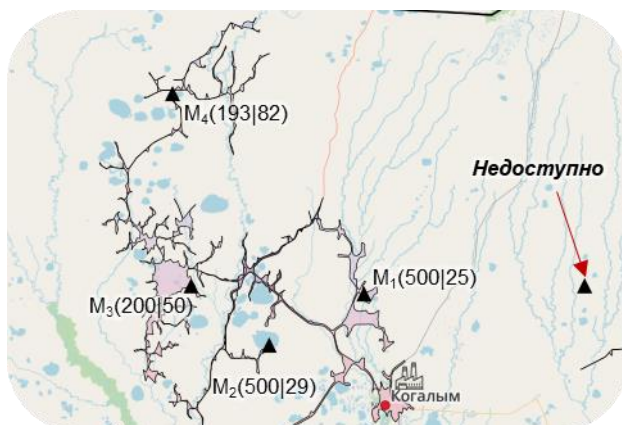


Рисунок 27 – Транспортная доступность месторождений

Из построения видно, что некоторые месторождения сильно удалены от основного скопления месторождений и городов, транспортная доступность некоторых совершенно отсутствует, поэтому, в дальнейших расчетах их можно не учитывать. Стоит понимать, что с удалением от урбанизированных территорий, в особенности на неразвитых площадях и с суровыми климатическими условиями, строительство новой инфраструктуры будет усложняться и расти в стоимости. Соответственно, рассмотрим предположительные географические районы, в которых есть потенциал к строительству завода по переработке отходов бурения на территории городского поселения. Данные районы будут характеризоваться наличием группы месторождений, буровой шлам с которых будет транспортироваться на один и тот же завод за счет наличия транспортной доступности между источником отходов и местом их сбора.

На рисунке 28 представлено выделение групп месторождений по следующим признакам: транспортная доступность (необходимость наличия дорог вокруг месторождения, способных к передвижению грузовых автомобилей), удаленность (расстояние от городских поселений не должно превышать минимально-рентабельное расстояние), недропользователь (месторождения, входящие в группу, принадлежат одной компании – недропользователю).

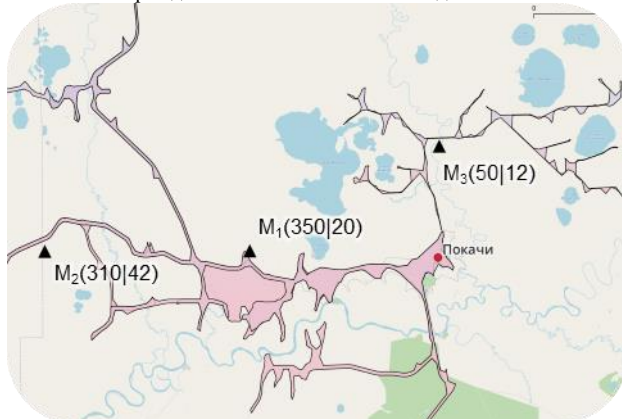




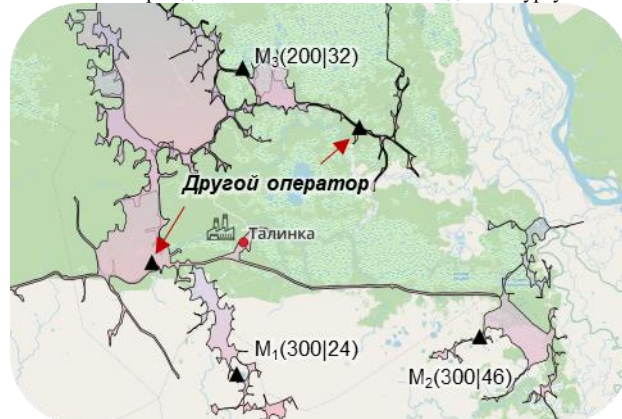
1. 4 месторождения. Местоположение завода – г. Когалым



2. 2 месторождения. Местоположение завода – г. Сургут



3. 3 месторождения. Местоположение завода – г. Покачи



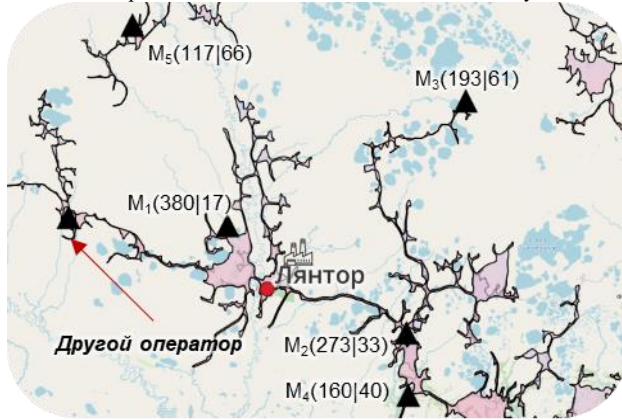
4. 3 месторождения. Местоположение завода – п.г.т. Талинка



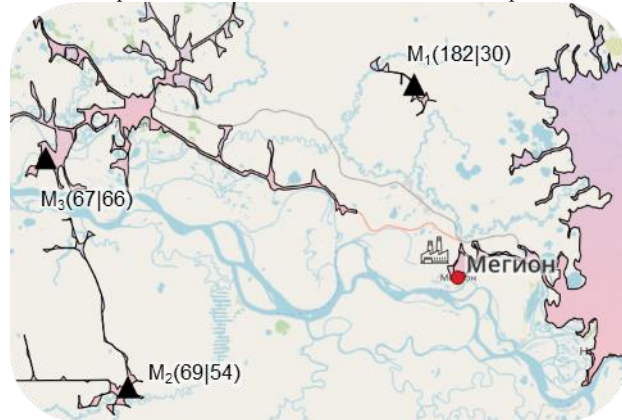
5. 3 месторождения. Местоположение завода – г. Радужный



6. 4 месторождения. Местоположение завода – г. Нефтеюганск



7. 5 месторождений. Местоположение завода – г. Лянтор



8. 3 месторождения. Местоположение завода – г. Мегийон

Обозначения:  $M_i(X|Y)$  – месторождение (НИЗ, млн т|расстояние, км)

Рисунок 28 – Выделение групп месторождений



Тогда экономическую эффективность при утилизации отходов бурения по третьему сценарию при освоении каждого месторождения, входящего в одну группу, можно оценить, сложив NPV отдельно взятого проекта:

а) если месторождения осваиваются одновременно (33):

$$NPV_{\text{экол}}^{\text{общ}} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=0}^{n_j} \frac{(\text{ДП}_j^{\text{экол}})_i}{(1+r)^i}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n_j, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (33)$$

где  $m$  – количество месторождений, входящих в одну группу, ед.;  $n_j$  – продолжительность  $j$ -го проекта, лет;  $\text{ДП}_j^{\text{экол}}$  – денежный поток  $j$ -го проекта;

б) если месторождения начинают осваиваться в разные периоды (34):

$$NPV_{\text{экол}}^{\text{общ}} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=0}^{n_j} \frac{(\text{ДП}_j^{\text{экол}})_{i+t_j}}{(1+r)^{i+t_j}}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n_j, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (34)$$

где  $t_j$  – временной промежуток между началом освоения месторождений, причем  $t_1 \leq t_2 \leq t_3$  и т.д.

Таким образом, выделено 8 групп с общим количеством в 27 месторождений для проведения дальнейших расчетов.

### **3.3 Сценарное моделирование и обоснование целесообразности переработки отходов**

Расчеты проведены для одного из отобранных месторождений с величиной начальных извлекаемых запасов нефти в 61 млн тонн. Фонд скважин, необходимый для достижения проектируемых показателей КИН составляет 295 добывающих и 92 нагнетательных скважин. За период эксплуатационного бурения добыто 18,3 млн т нефти, 34,2 млн т жидкости, закачано 41,0 млн т вытесняющего агента (воды). Технологические показатели разработки и генерация отходов по годам приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Технологические показатели разработки

Период	Добыча нефти	Добыча жидкости	Закачка воды	Ввод доб. скв	Ввод нагн. скв	Фонд доб. скв.	Фонд нагн. скв.	Генерация отходов
год	тыс.т.	тыс.т.	тыс.т.	шт.	шт.	шт.	шт.	тыс.т.
0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0
1	366,0	366,0	439,2	52	17	52	17	148,4
2	732,0	732,0	878,4	52	17	104	34	148,4
3	1098,0	1098,0	1317,6	52	17	156	51	148,4
4	1464,0	1465,9	1759,1	52	17	208	68	148,4
5	1830,0	1869,7	2243,7	52	17	260	85	148,4
6	1830,0	1957,4	2348,9	5	1	265	86	12,9
7	1830,0	2110,4	2532,4	5	1	270	87	12,9
8	1830,0	2359,8	2831,8	5	1	275	88	12,9
9	1830,0	2773,1	3327,7	5	1	280	89	12,9
10	1830,0	3516,4	4219,7	5	1	285	90	12,9
11	1830,0	5125,8	6151,0	5	1	290	91	12,9
12	1830,0	10783,6	12940,4	5	1	295	92	12,9

Составлено автором.

Бурение начинается с первого периода. Выход на пик добычи осуществляется за 5 лет, длительность полки добычи составляет 7 лет. Ввод скважин в годы нарастающей добычи составляет 90% от общего фонда, на пике – оставшиеся 10%. Суммарное количество образовавшихся отходов за весь этап эксплуатационного бурения составляет 893,97 тыс. т.

Капитальные вложения в бурение, объекты инфраструктуры и дополнительные объекты производства по четырем сценариям представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Капитальные затраты, млн. руб.

Статьи затрат	0	1	2	3
<b>1. Бурение скважин</b>	93 791,0	90 751,5	90 751,5	90 751,5
1.1 добывающие	71 494,4	69 177,5	69 177,5	69 177,5
1.2 нагнетательные	22 296,6	21 574,0	21 574,0	21 574,0
в т.ч. утилизация шлама в стоимости бурения	3 039,5	0,0	0,0	0,0
<b>2. Объекты промышленного обустройства</b>	6 140,2	6 140,2	6 002,1	6 140,2
Статьи затрат 2.1 - 2.9	5 193,2	5 193,2	5 193,2	5 193,2
2.10 внутрипромысловые дороги	270,9	270,9	135,5	270,9
2.11 внепромысловые дороги (зимники)	45,0	45,0	22,5	45,0
2.12 кустовые площадки	7,7	7,7	3,9	7,7
2.13 Установка по переработке шлама	0,0	0,0	371,5	0,0
2.14 прочие (непредвиденные затраты)	275,8	275,8	286,3	275,8
2.15 природоохранные мероприятия	347,6	347,6	360,8	347,6
<b>3. Завод по переработке шлама</b>	0,0	0,0	0,0	1 392,0
<b>Итого</b>	99 931,2	96 891,7	97 125,1	98 283,7

Составлено автором.

По всем сценариям около 92-94% затрат приходится на бурение скважин. Инвестиции, вкладываемые только в объекты, связанные с утилизацией отходов, составляют 3,04% для базового сценария, отсутствуют для первого сценария, 0,55% для второго и 1,42% для третьего сценария.

Эксплуатационные затраты за первые 12 лет проекта отражены в таблице 20. Структура эксплуатационных затрат в процентном соотношении представлена на рисунке 29.

Таблица 20 – Эксплуатационные затраты, млн. руб.

Статьи затрат	0	1	2	3
1. Текущие затраты	38 483,7	38 483,7	38 483,7	38 483,7
1.1. Обслуживание добывающих скважин	4 110,0	4 110,0	4 110,0	4 110,0
1.2. Обслуживание нагнетательных скважин	834,1	834,1	834,1	834,1
1.3. Оплата труда	4 577,8	4 577,8	4 577,8	4 577,8
1.4. Сбор и транспорт нефти и газа	17 079,1	17 079,1	17 079,1	17 079,1
1.5. Ремонт добывающих и нагнетательных скважин	2 494,0	2 494,0	2 494,0	2 494,0
1.6. Технологическая подготовка нефти	8 539,6	8 539,6	8 539,6	8 539,6
1.7. Энергия на извлечение нефти	2 869,3	2 869,3	2 869,3	2 869,3
1.8. Закачка вытесняющего агента	2 262,6	2 262,6	2 262,6	2 262,6
1.9. Затраты на EOR	295,0	295,0	295,0	295,0
2. Транспортные расходы на нефть	6 405,0	6 405,0	6 405,0	6 405,0
3. Амортизационные отчисления	99 931,2	96 891,7	97 125,1	98 283,7
4. Страховые взносы	1 396,2	1 396,2	1 396,2	1 396,2
5. Плата за землю	361,8	361,8	361,8	361,8
6. НДС	408 277,3	408 277,3	408 277,3	408 277,3
Плата за НВОС (размещение отходов)	0,0	291,2	0,0	0,0
Утилизация шлама путем рекультивации	0,0	3 256,4	0,0	0,0
Транспорт шлама до места накопления	0,0	0,0	178,8	0,0
Переработка шлама на месте	0,0	0,0	3 128,9	0,0
Транспорт шлама до завода	0,0	0,0	0,0	535,7
Переработка шлама на заводе	0,0	0,0	0,0	1 703,8
Итого	554 855,2	555 363,4	555 356,8	555 447,2

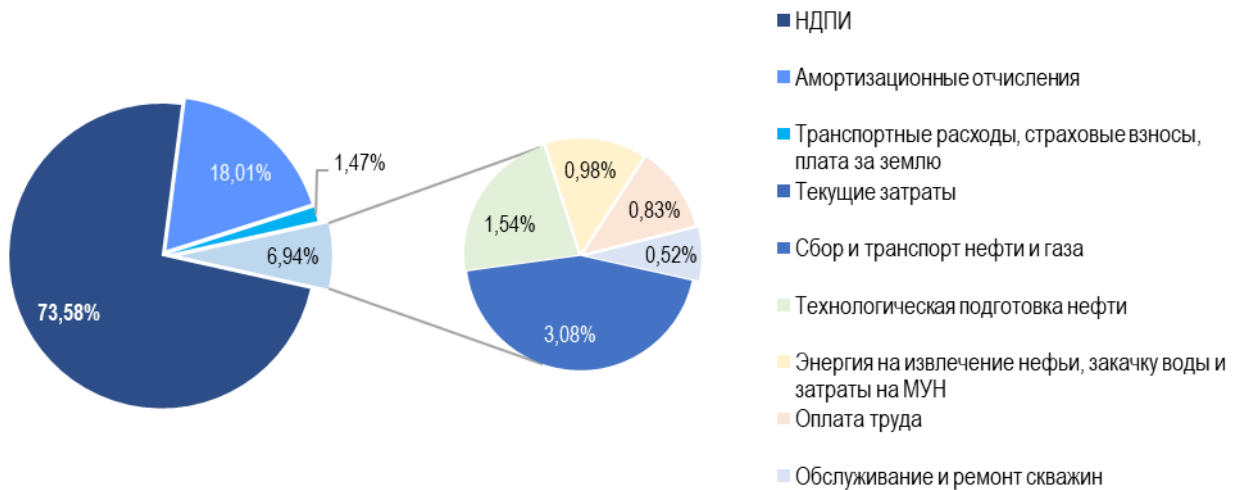
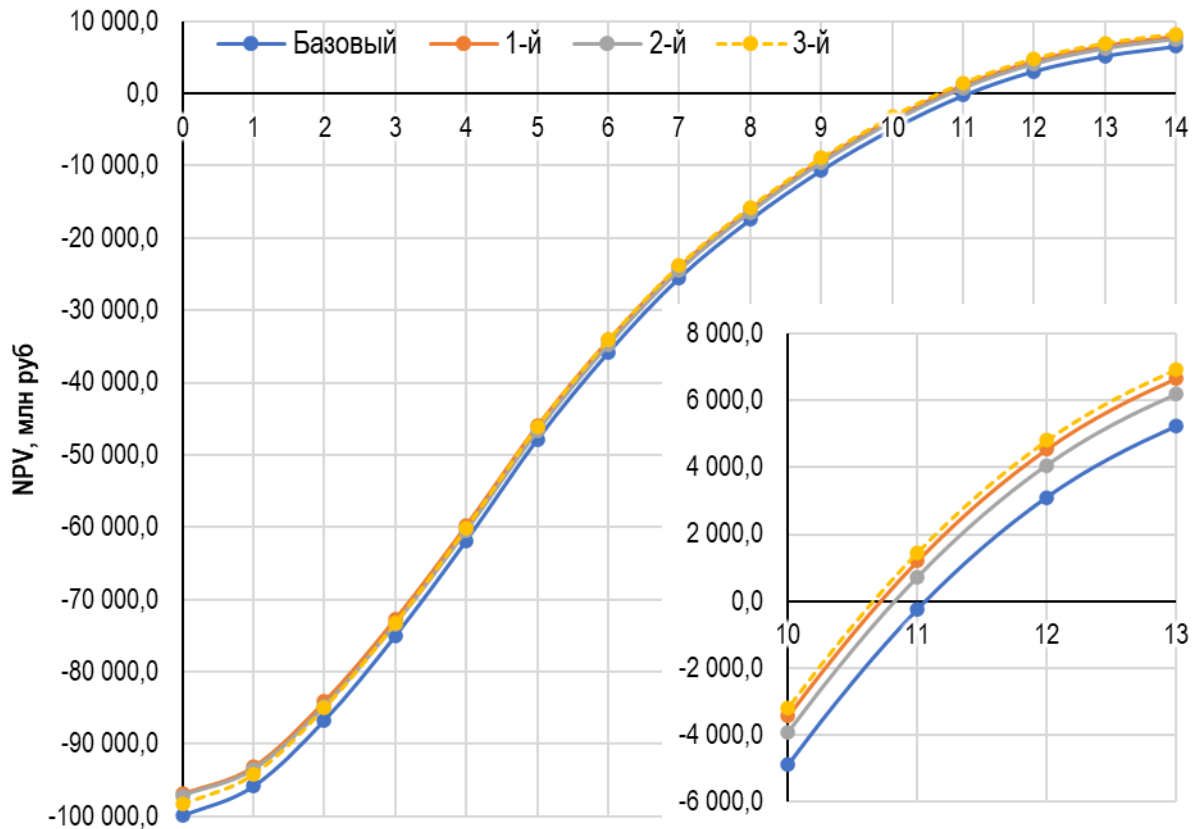


Рисунок 29 – Структура эксплуатационных затрат проекта освоения месторождения УВС за период эксплуатационного бурения

Наибольшая доля эксплуатационных затрат 73,58% соответствует выплате налога на добычу полезных ископаемых, так как ставка НДС наивысшая на начальном этапе освоения месторождения. Амортизационные отчисления составляют 18,01%, 6,94% соответствует текущим затратам и 1,47% составляют расходы на транспортировку нефти, страховые взносы и плату за пользование землей.

Наибольшие эксплуатационные затраты соответствуют последнему сценарию ввиду транспортных расходов и переработки отходов на заводе. Наименьшие эксплуатационные затраты – базовому сценарию, ввиду отсутствия энергозатрат на управление отходами бурения [172].

Согласно графику окупаемости (рис. 30), 4 сценария проекта по освоению месторождения УВС показывают положительный результат. Проект по 3-му сценарию окупается быстрее остальных ввиду дополнительной выручки от продажи строительных материалов. Медленнее окупается проект по базовому сценарию. В целом, денежные потоки по каждому проекту схожи и вывод на данном этапе об эффективности того или иного метода делать сложно. Поэтому, нужно оценивать каждый проект утилизации отходов бурения отдельно от основного проекта освоения месторождения.



Составлено автором

Рисунок 30 – График окупаемости проектов по 4-м сценариям

Показатели экономической эффективности (чистая приведенная стоимость NPV, внутренняя норма доходности IRR, дисконтированный срок окупаемости DPP и дисконтированный индекс доходности DPI) за 13 лет представлены в таблице 21.

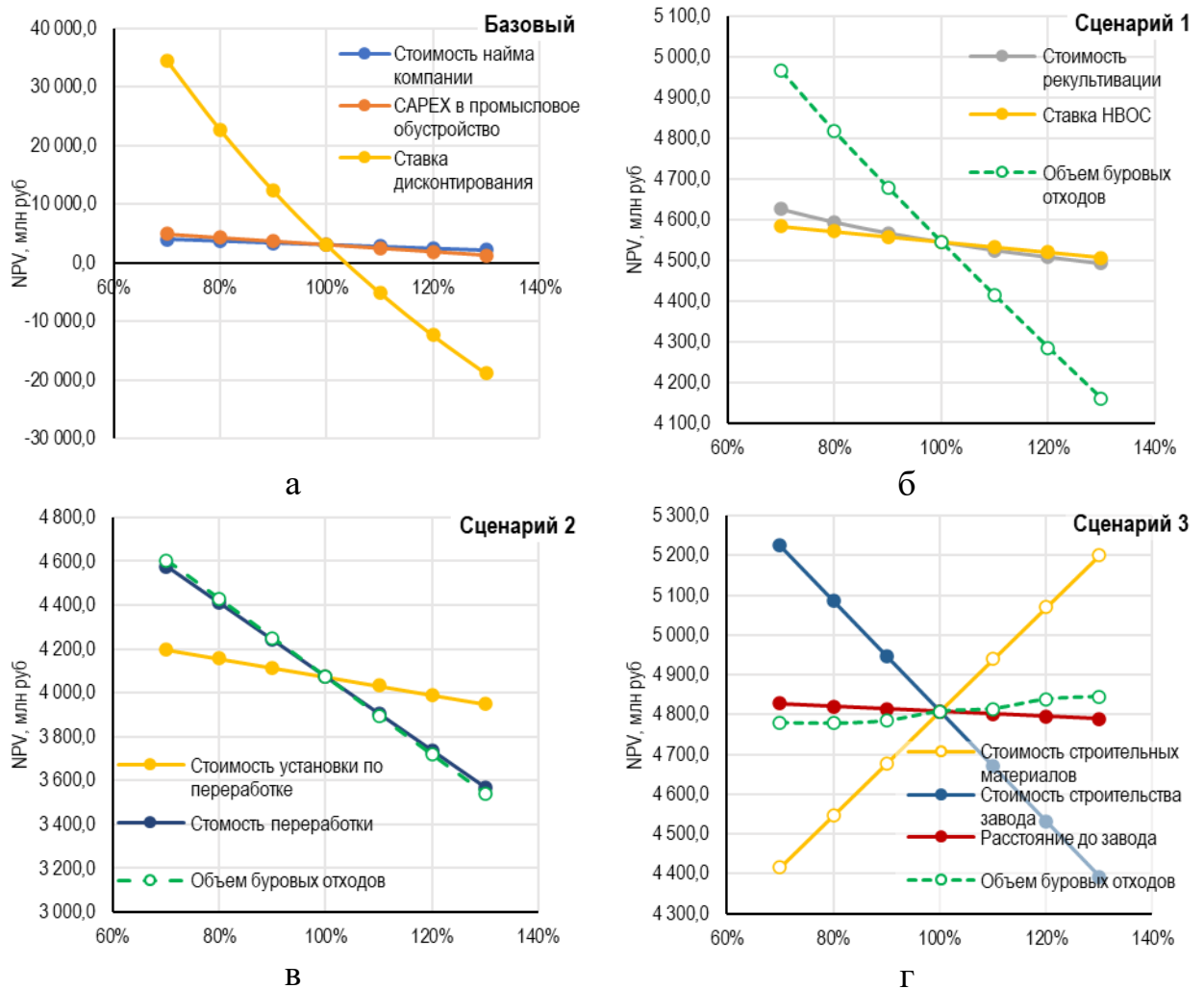
Таблица 21 – Показатели экономической эффективности

Показатель	0	1	2	3	Ограничения
NPV, млн руб	3 101,0	4 544,4	4 073,6	4 808,2	$\geq 0$
IRR, %	17,55%	17,86%	17,76%	17,90%	$\geq 16,93$
DPP, лет	11,0	10,7	10,8	10,6	$\leq 12$
DPI, д.ед.	1,0310	1,0469	1,0419	1,0489	$\geq 1$

Составлено автором.

Как видно из таблицы и из графика, проект по 3-му сценарию наиболее перспективен при заданных условиях. Стоит учесть тот факт, что сама модель по своей сути имеет множество исходов и данные, используемые в расчетах, могут варьироваться в некоторых диапазонах. В таком случае, необходимо прибегать к имитационному, либо вероятно статистическому моделированию.

Далее, необходимо оценить рисковую составляющую. Количественно оценить риски можно с помощью анализа чувствительности (рис. 31). Таким образом, можно выявить те параметры, которые могут в большей степени влиять на эффективность проекта и, впоследствии, воздействовать на них, либо управлять ими [189].



Составлено автором.

Рисунок 31 – Анализ чувствительности проектов

Для всех проектов характерна сильная зависимость от макропараметров: ставки дисконтирования и стоимости нефти (на рисунке 31.а показано, как на проект резко влияет изменение ставки дисконтирования – изменение ставки дисконтирования на 10% влечет повышение/понижение показателей на 264%).

Для базового сценария влияние стоимости найма компании ниже, чем стоимость инвестиций в объекты промышленного обустройства. С ростом объема бурового шлама эффективность проекта снижается для базового, 1 и 2 сценариев, однако для 3-го из-за реализации шлама эффективность растет.

На эффективность проекта по второму сценарию в большей степени влияют стоимость переработки и объем отходов, чем сама стоимость установок. В этом ключе можно рассмотреть данный проект с точки зрения разворачивания переработки отходов на месте в пределах промысла.

Третий сценарий подвержен наибольшему влиянию стоимости строительных материалов и инвестиций на строительство завода. Так как расчеты проведены для одного месторождения, окупить миллиардные инвестиции на строительство целого комплекса по переработке отходов невозможно. Поэтому необходимо рассматривать меры государственной поддержки и стимулирования, а также рассмотреть групповое освоение месторождений, расположенных рядом друг с другом.

Касаемо отражения экологической эффективности, можно оценить предотвращенный экологический ущерб – тот ущерб, который могло бы нанести осуществление проекта без использования утилизации отходов бурения. Так, используя таксы для исчисления размера вреда в виде порчи и захламления почв, ущерб для данного объема отходов составляет 11 081,1 млн руб при данных условиях. Операционные затраты, связанные с экологическими мероприятиями и экологический эффект для каждого проекта представлены в таблице 22.



Таблица 22 – Показатели экологической эффективности

Сценарий	З <sub>экол</sub> , млн руб	Себ <sub>ут</sub> , тыс. руб / т	Эф <sub>экол</sub> , д.ед.
0	3 039,5	3,400	0,38
1	3 547,6	3,968	0,47
2	3 841,0	4,297	0,53
3	3 631,5	4,062	0,49

Составлено автором.

Чем выше показатель, тем больше стоимость эксплуатационных затрат, расходуемых на экологические мероприятия, связанные с утилизацией буровых отходов.

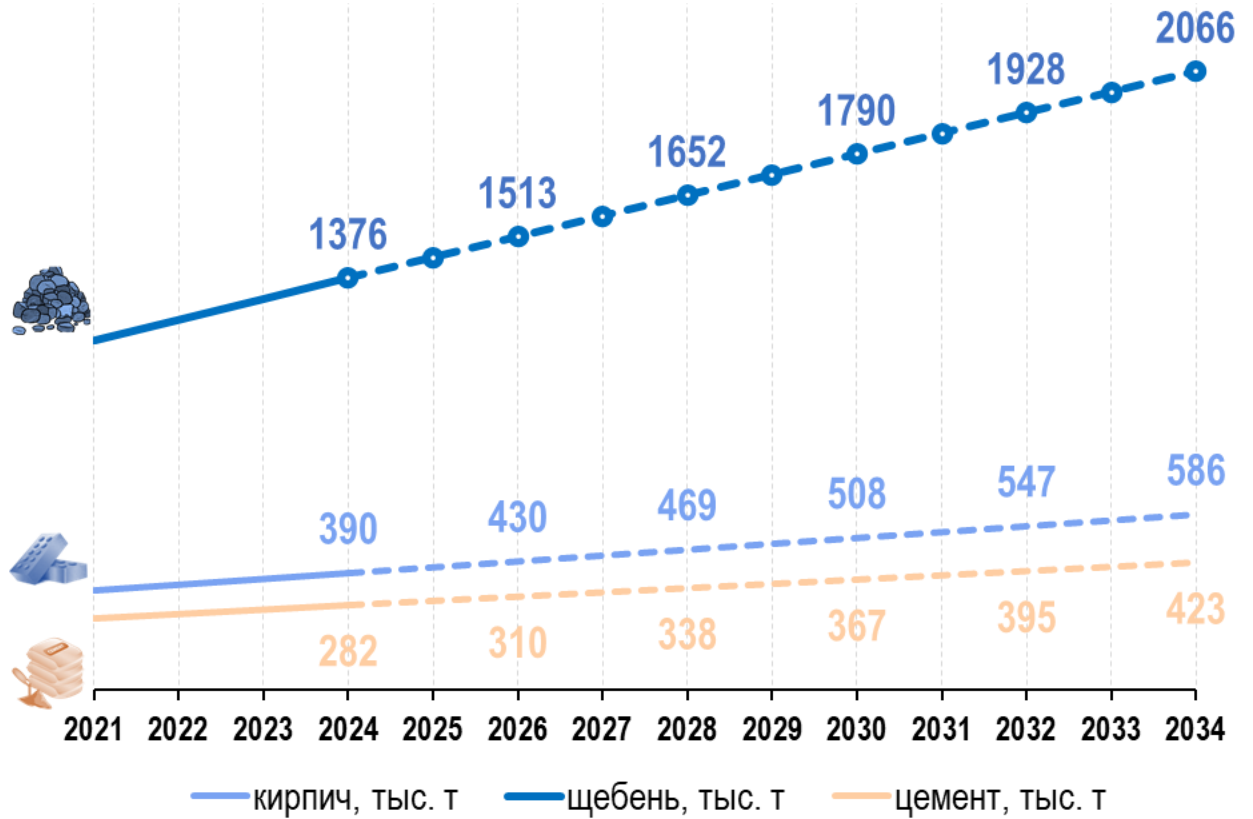
Таким образом, на данном этапе расчетов можно сделать вывод о том, что несмотря на высокий уровень требуемых инвестиций по третьему сценарию существуют предпосылки к росту эффективности за счет переработки буровых отходов в строительные материалы.

#### **3.4 Определение эффективных групп месторождений при переработке бурового шлама для производства строительных материалов**

Рассмотрим проект по 3-ему сценарию более подробно. Проектом подразумевается переработка отходов бурения в строительные материалы, которые на данный момент и в среднесрочной перспективе находятся в полном дефиците – это кирпич, щебень (грунт, гравий) и цемент (рис 32). Тогда, согласно прогнозам, доля переработки бурового шлама ( $w_i$ ), в кирпич составит 0,19; в щебень – 0,67; в цемент – 0,14.

Выделим из него только те денежные потоки, которые относятся к процессам по утилизации буровых отходов (рис. 33). Затратная часть проекта: капитальные затраты на строительство завода, эксплуатационные – транспорт и переработка отходов на заводе. Доходная часть проекта: продажа строительных материалов по рыночной цене. График окупаемости проекта

по строительству завода, перерабатывающего буровой шлам в строительные материалы, представлен на рисунке 33.



Составлено автором.

Рисунок 32 – Прогноз дефицитных строительных материалов в ХМАО

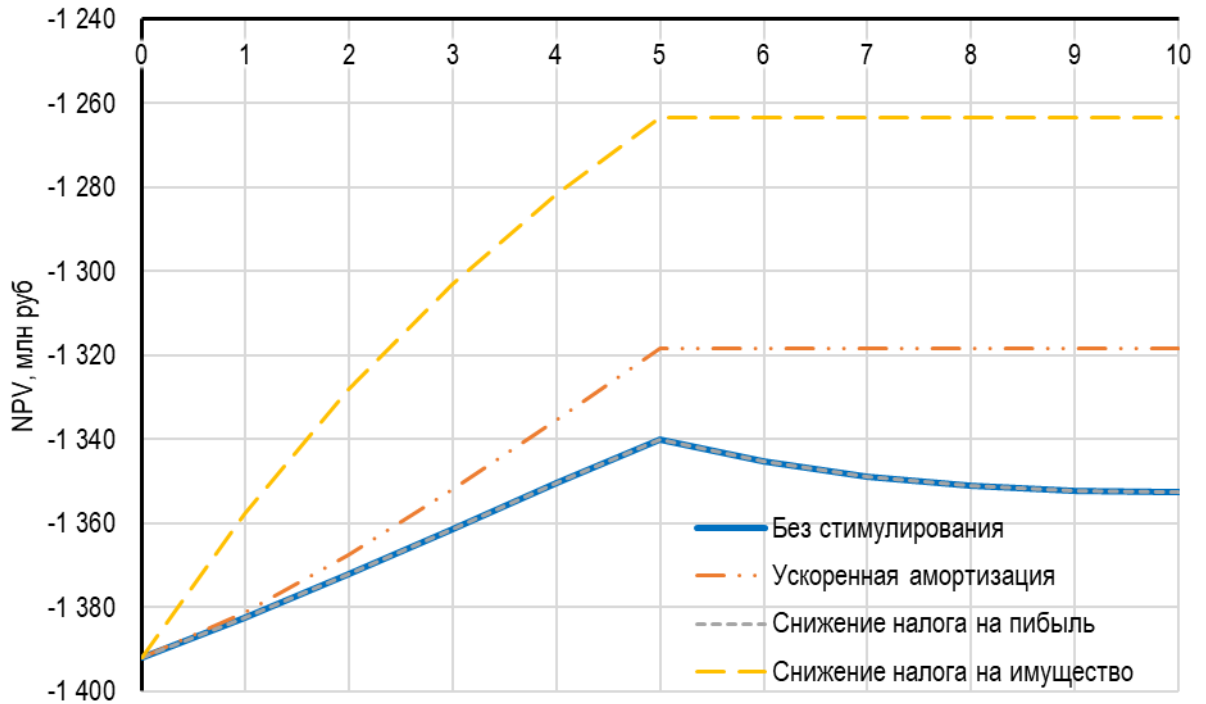


Рисунок 33 – График окупаемости проекта по строительству завода.

Использование инструментов стимулирования

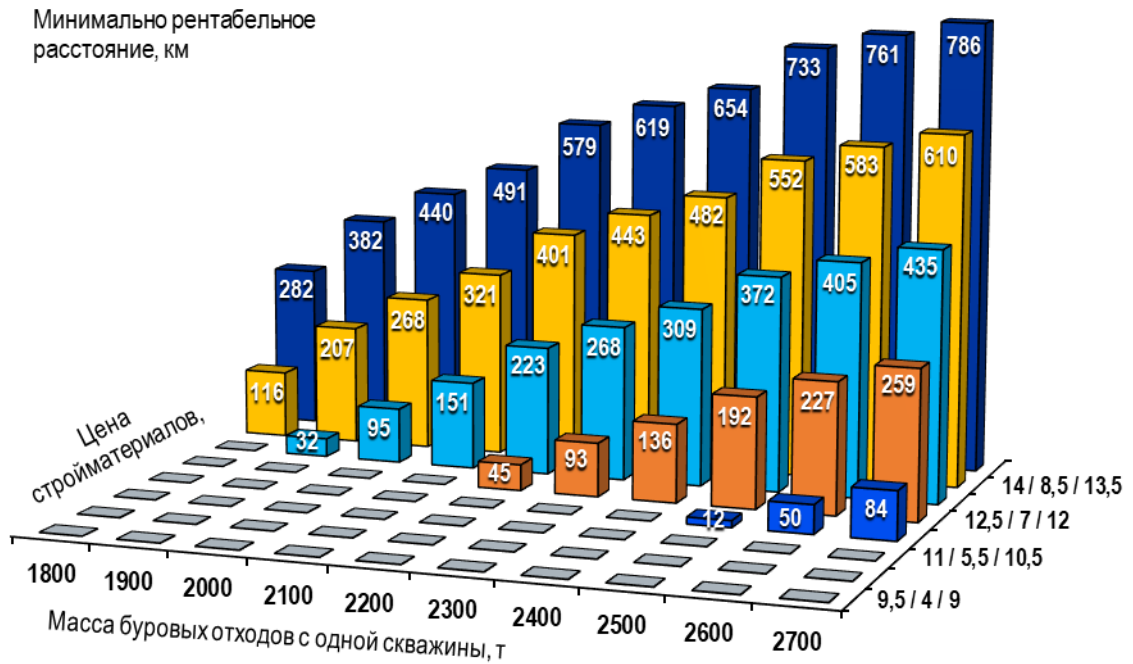
Как видно из графика, окупаемость проекта не достигается при разработке только одного месторождения и при текущих рыночных ценах на строительные материалы [96].

Взаимодействие бизнеса и государства [111] способно повысить эффективность проектов за счет использования стимулирования в виде льгот за применение наилучших доступных технологий (НДТ) [22, 79, 162], либо специальных инвестиционных контрактов (СПИК) [10]. Так, например, льготы по специальным инвестиционным контрактам могут отражаться в снижении налога на прибыль, либо налога на имущество. Кроме того, согласно п. п. 5 пункта 1 статьи 259.3 НК РФ [44] разрешается применять к основной норме амортизации специальный коэффициент, но не выше 2 в отношении основных средств, относящихся к основному технологическому оборудованию, эксплуатируемому в случае применения НДТ; согласно п. п. 6 пункта 1 – в отношении основных средств (I – VII амортизационные группы) и произведенных в соответствии с условиями СПИК.

Однако, снижение налога на прибыль не меняет эффективность проекта, так как выручка от продажи строительных материалов не превышает эксплуатационные затраты.

Согласно полученным расчетам, снижение ставки налога на имущество в наибольшей степени влияет окупаемость проекта, в меньшей степени – ускоренная амортизация.

Поэтому важно оценить такой параметр, как минимально рентабельное расстояние от месторождения до завода (*minimum commercial distance, MCD*) – такое расстояние, при котором NPV проекта равен 0. Составим матрицу значений MCD, зависящий от двух параметров: объема отходов и цены строительных материалов (рис. 34) и представим полученные данные в виде 3D диаграммы.



$X / Y / Z$  – цена кирпича / щебня / цемента соответственно, тыс.руб/т

Рисунок 34 – Зависимость минимально рентабельного расстояния от цены строительных материалов и объема отходов

Из построенной диаграммы видны диапазоны значений минимального объема отходов и минимальной цены строительных материалов, при которых минимально рентабельное расстояние больше нуля для данного проекта при заданных условиях. Так, при среднем объеме отходов с одной скважины в 2600 тонн и рыночной цене строительных материалов в 11,75 тыс.руб/т для кирпича, 6,25 тыс.руб/т для щебня и 11,25 тыс.руб/т для цемента, минимально рентабельное расстояние равно 50 км. По такой цене потребители готовы будут приобретать товар только в случае сильной необходимости и отсутствия альтернативных вариантов. Оценка этих параметров необходима для рассмотрения широкого диапазона случаев. Поэтому важно проводить анализ уровня спроса и предложения на рынке строительных материалов, чтобы определить оптимальную стратегию ценообразования и минимизировать риски неудачных инвестиций. В любом случае, использование данной математической модели и анализ получаемых данных поможет принимать обоснованное решение для эффективного управления проектами.

В итоге, в данном конкретном примере ввиду необходимости крупных инвестиций при нынешних рыночных условиях помимо применения инструментов господдержки необходимо подходить к осуществлению проекта иным путем, а именно, использовать имеющийся потенциал нефтегазодобывающего региона – наличие большого количества месторождений как действующих (некоторым из них необходимы доразведка, доразбуривание и некоторые методы повышения нефтеотдачи или интенсификации притока нефти, подразумевающие генерацию отходов бурения), так и находящихся в консервации и ждущих начала своего освоения.

Так как месторождения нефти и газа различны по количеству запасов и на одной территории могут быть как крупные, так и мелкие месторождения, генерация бурового шлама будет сильно варьироваться, как по времени (разные периоды жизни проекта по освоению требуют разного объема бурения скважин), так и по объему (глубина скважин и их диаметр может различаться). Как выяснилось выше, от объема отходов напрямую зависит эффективность проекта по переработке отходов в строительные материалы. Поэтому, необходимо задействовать в проекте не одно месторождение, а несколько.

Перейдем к выделенным группам. Рассчитаем NPV для следующих проектов:

- 1) Проект по освоению отдельно взятого месторождения без учета денежных потоков от экологических мероприятий –  $NPV_1$ ;
- 2) Проект по освоению отдельно взятого месторождения с учетом денежных потоков от экологических мероприятий –  $NPV_2$ ;
- 3) Проект, учитывающий денежные потоки только от экологических мероприятий –  $NPV_3$ ;
- 4) Проект по всей группе месторождений, учитывающий денежные потоки только от экологических мероприятий –  $NPV_{\text{экол}}^{\text{общ}}$ .

Расчеты проведены при условии, что эксплуатационное бурение каждого месторождения начинается одновременно, т.е. по формуле 33. Капитальные затраты на строительство завода начисляются в нулевой период. Ре-

результаты сведем в таблицу 23, графики окупаемости изобразим на рисунке 35. Дисконтированный доход накопленным итогом по годам для каждой группы представлен в таблице Б.1.

Таблица 23 – Результаты расчета интегрального NPV по группам при одновременном запуске проектов

Группа	Месторождение	Местоположение завода	НИЗ, млн т	Расстояние, км	NPV <sub>1</sub> , млн руб	NPV <sub>2</sub> , млн руб	NPV <sub>3</sub> , млн руб	NPV <sub>экол.</sub> <sup>общ.</sup> , млн руб
1	1	г. Кога-лым	500	24,8	17 902,9	17 828,7	-245,9	1178,1
	2		500	28,7	17 902,9	17 786,2	1 020,6	
	3		200	50,0	7 524,6	6 550,3	269,1	
	4		193	82,1	7 479,6	6 356,4	134,4	
2	1	г. Сургут	264	58,1	10 302,7	9 404,9	-834,7	-604,4
	2		215	16,6	9 790,7	9 002,3	230,4	
3	1	г. Покачи	350	20,2	11 240,7	10 814,5	-463,3	125,6
	2		310	42,1	11 691,4	10 996,6	460,7	
	3		59	11,9	-4 243,0	-5 321,1	128,2	
4	1	п.г.т. Та-линка	300	24,0	10 310,6	9 719,5	-581,1	132,2
	2		300	46,4	10 310,6	9 572,5	422,5	
	3		200	31,6	7 524,6	6 630,3	290,9	
5	1	г. Радуж-ный	300	7,9	10 310,6	9 824,8	-485,7	-213,1
	2		206	46,9	8 909,5	7 954,2	234,9	
	3		57	50,6	-4 443,9	-5 617,7	37,6	
6	1	г. Нефте-юганск	200	22,7	7 524,6	6 669,5	-753,2	-339,1
	2		150	30,3	6 594,6	5 577,2	231,9	
	3		100	4,9	5 210,0	4 124,1	174,3	
	4		61	47,8	6 078,8	4 808,2	7,9	
7	1	г. Лянтор	380	16,7	12 436,8	12 115,8	-387,8	711,5
	2		273	32,5	9 978,8	9 261,9	521,6	
	3		193	60,9	7 479,6	6 445,7	240,7	
	4		160	39,6	5 029,2	4 005,2	251,0	
	5		117	65,9	6 635,8	5 428,0	86,0	
8	1	г. Мегион	182	30,3	7 340,4	6 401,5	-816,9	-897,8
	2		69	53,8	4 882,3	3 624,7	-27,3	
	3		67	66,0	4 046,1	2 759,1	-53,6	

При заданных условиях 4 группы месторождений (1, 3, 4, 7) из 8 показывают положительный интегральный показатель эффективности экологического проекта, несмотря на то что в каждой группе есть некупаемые проек-

ты. В группах 2, 5, 6 и 8 есть положительные показатели NPV, но в сумме при освоении всех месторождений проект по строительству завода убыточен.

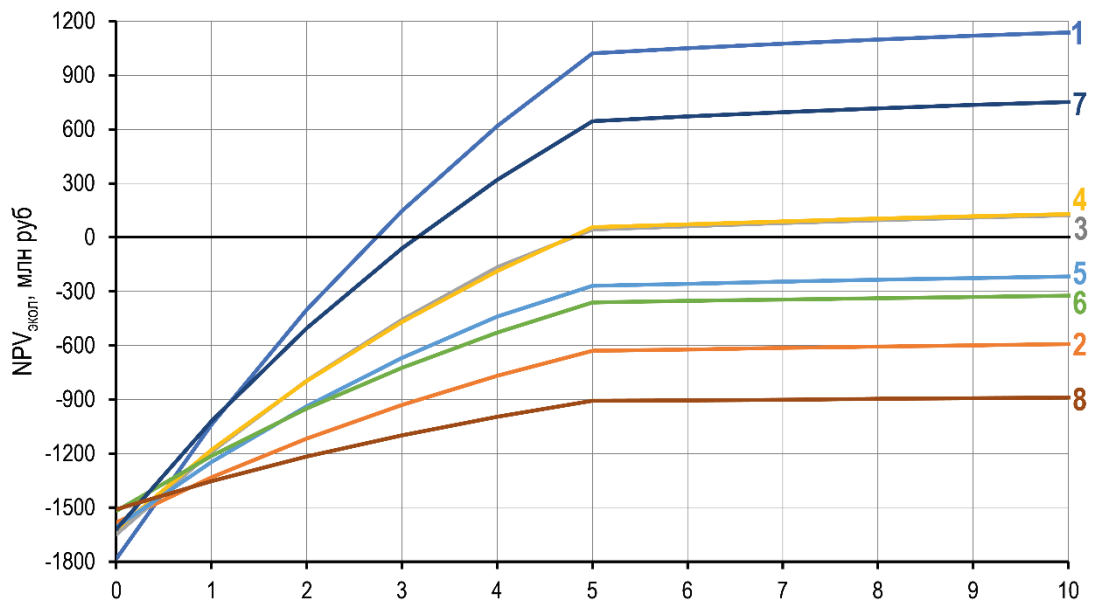


Рисунок 35 – Графики окупаемости групп при одновременном запуске освоения месторождений

Себестоимость утилизации отходов бурения при данном подходе в среднем для каждой группы составляет от 2,526 до 2,783 тыс. руб / т, что гораздо ниже, чем при переработке отходов бурения только с одного месторождения. Соответственно, проведенными расчетами доказываем эффективность утилизации буровых отходов, поступающих с нескольких месторождений.

Рассмотрим более существующую картину освоения месторождений. Пусть в первую очередь вводится месторождение, наиболее крупное по начальным извлекаемым запасам. Каждое следующее месторождение  $j$  вводится через период  $t_j$ . Капитальные затраты на строительство завода начисляются в нулевой период. Но, при постепенном освоении каждого месторождения, увеличивается срок проекта, что приводит к росту капитальных затрат в последующие годы. Допустим, что основные средства (производственных мощностей завода) будут обновляться в момент начала освоения последующих месторождений. Тогда, по формуле 34 произведем расчеты и представим на рисунке 36 графики окупаемости групп для следующих случаев, когда

каждое месторождение запускается: через 3 года от начала предыдущего (рис. 36.а, табл. Б2); через 5 лет от начала предыдущего (рис. 36.б).

Как видно из рисунка 36, в первом случае положительный интегральный показатель  $NPV_{\text{экол}}^{\text{общ}}$  достигается в группе 1 (446,3 млн руб при себестоимости утилизации отходов бурения 2,537 тыс. руб / т) и в группе 7 (15,1 млн руб при себестоимости утилизации отходов бурения 2,558 тыс. руб / т). Во втором случае окупается только 1-ая группа с показателем  $NPV_{\text{экол}}^{\text{общ}}$  равным 188,5 млн руб при себестоимости утилизации отходов бурения 2,550 тыс. руб / т.

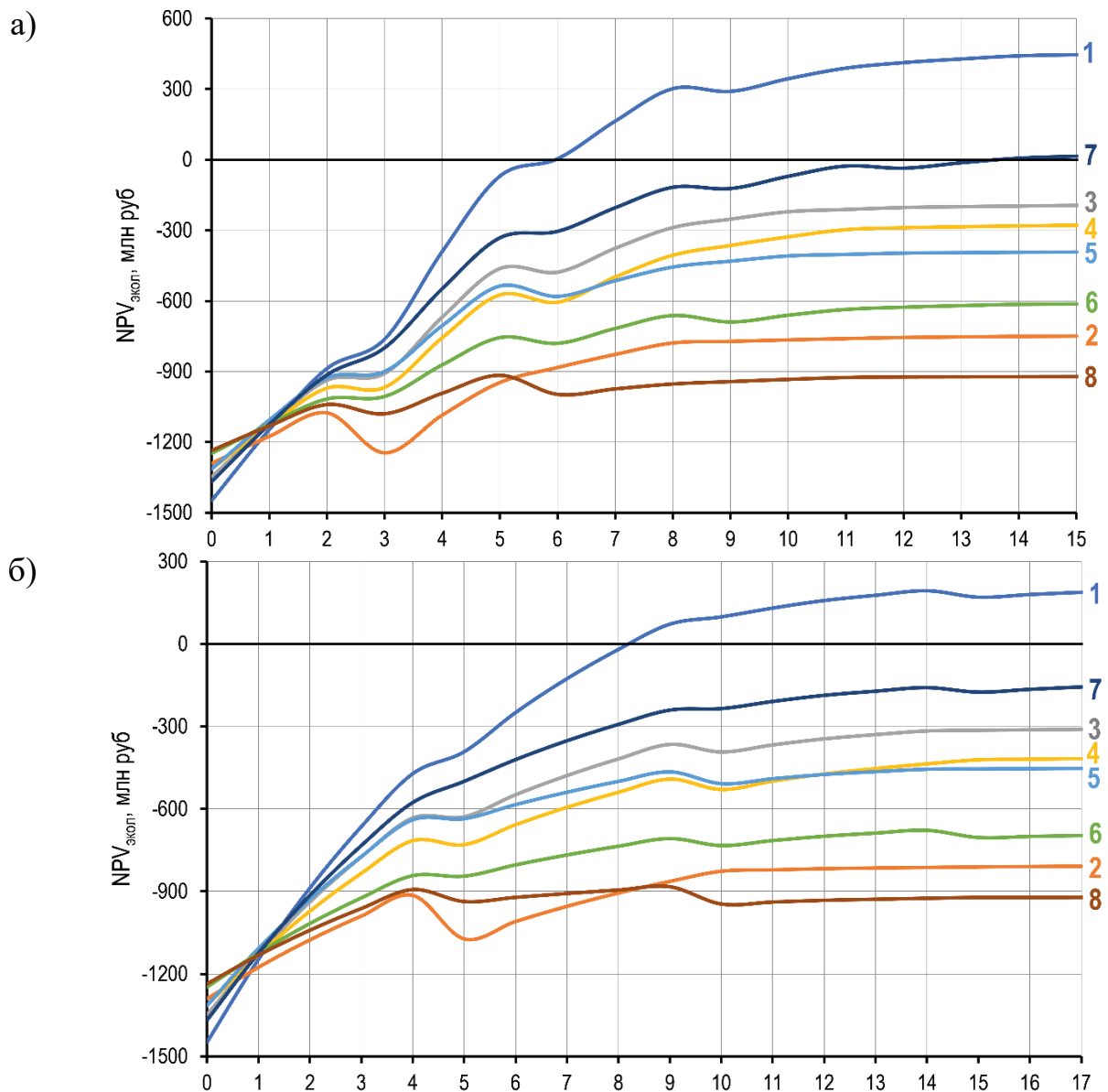


Рисунок 36 – Графики окупаемости групп месторождений при разном временном запуске проектов



Как выяснилось выше, благодаря реализации проекта по переработке отходов бурения можно достичь сокращение дефицита доступности строительных материалов в рассматриваемом регионе. Так, например при реализации группы 1 с запуском месторождений каждые 3 года можно сократить потребность в строительных материалах, как показано на рисунке 37.

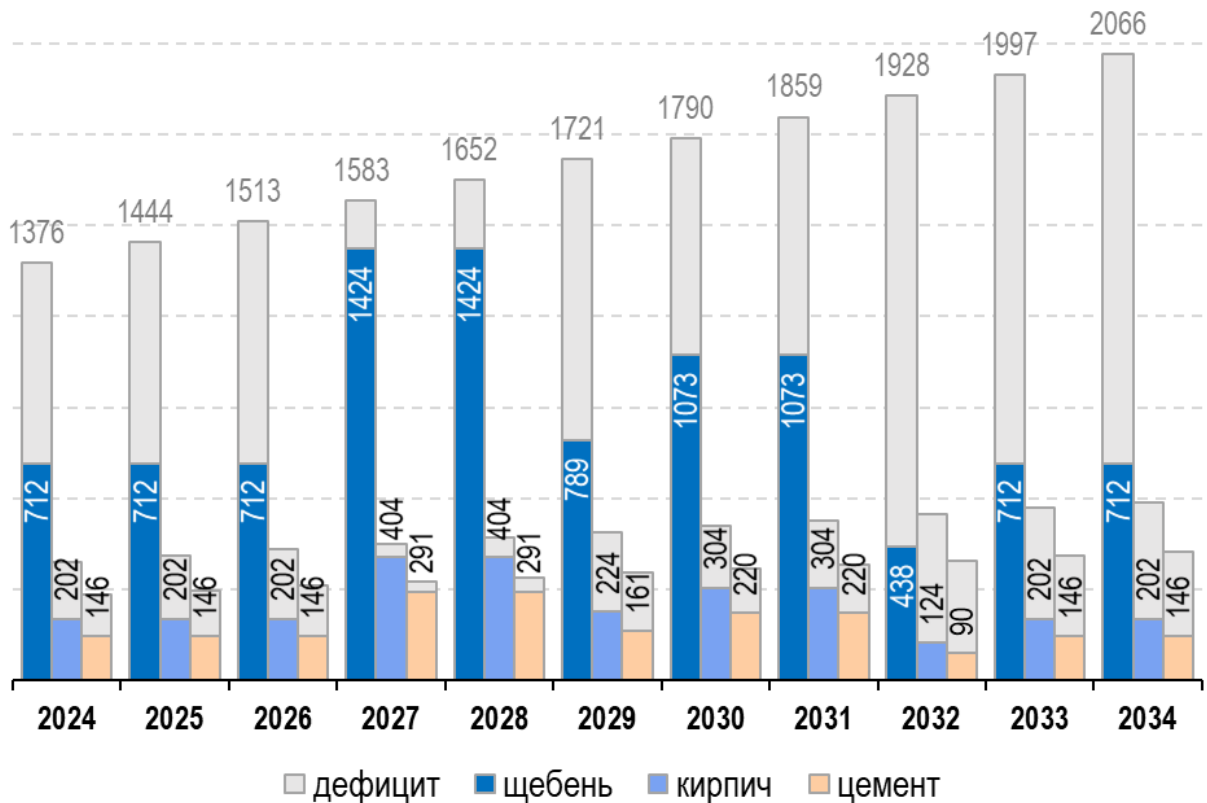


Рисунок 37 – Сокращение дефицита строительных материалов, тыс. т.

По графику можно заметить, что в 4 и 5 периоде можно покрыть до 90% дефицита, а в 9 периоде всего до 23%. Это значительное сокращение дефицита в некоторые периоды в строительных материалах позволит обеспечить строительную отрасль необходимыми ресурсами для выполнения строительных проектов без значительных задержек и перебоев в поставках.

Развитие переработки отходов бурения в строительные материалы в ХМАО может принести выгоду в развитии не только самого региона, но и соседних – Ямало-Ненецкого автономного округа, Свердловской и Тюменской областей. Так, в 2023 году было объявлено о мегапроекте «Сухой порт –

Екатеринбург», который будет играть ключевую роль в развитии торгово-экономических связей не только внутри России, но и за ее пределами. [38]. Данный проект подразумевает создание основного маршрута для перевозки грузов в страны Ближнего Востока, Юго-Восточной Азии, Африки, минуя Суэцкий канал, в Индию. Переработка отходов бурения в строительные материалы может стать одним из элементов инфраструктуры этого проекта, обеспечивая строительными материалами создания транспортных путей (автомобильных дорог).

Необходимо отметить также, что промышленная переработка отходов позволяет увеличить ВРП региона, долю новых рабочих мест, отчисления НДФЛ и уплату налогов в региональный бюджет.

Таким образом, наиболее эффективными выглядят группы 1 и 7, для групп 3 и 4 для повышения эффективности и окупаемости в срок можно применить инструменты государственного регулирования (рис. 38), позволяющие ускорить амортизацию, снизить налоги на имущество и прибыль. Строительство завода по переработке отходов в группах 2, 5, 6 и 8 при текущих рыночных условиях неэффективно.

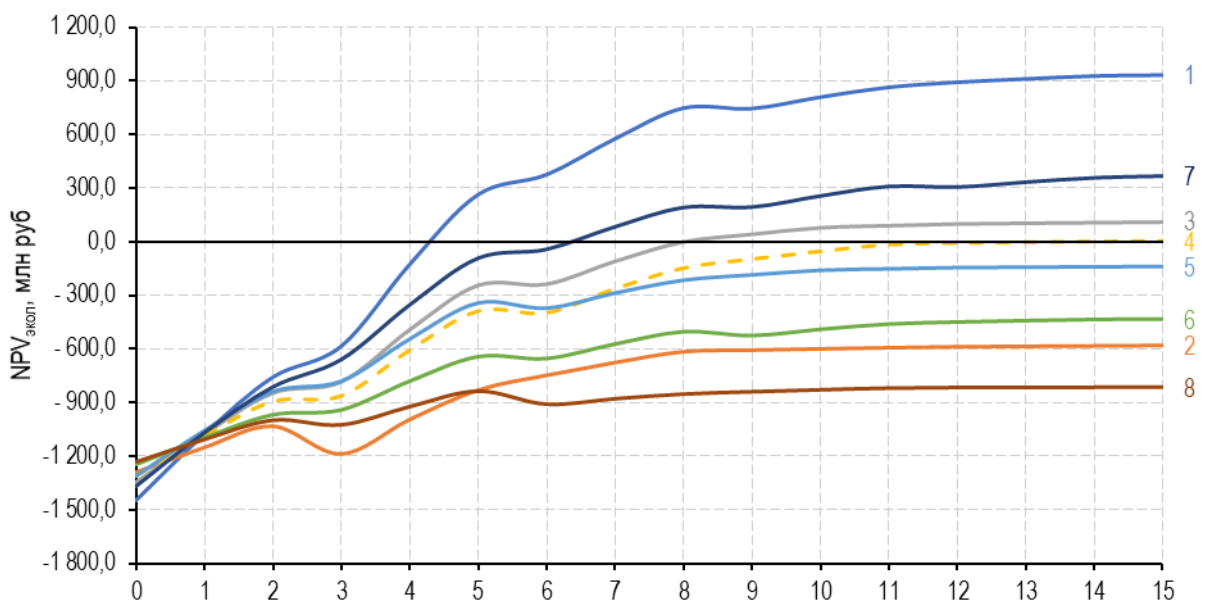


Рисунок 38 – Графики окупаемости групп месторождений при одновременном запуске проектов с применением мер государственного стимулирования

Также необходимо отметить, что при транспорте шлама на далекие расстояния с промысла стоит серьезная логистическая задача. Так как разработка месторождения углеводородов ресурсоемкий проект и требует достаточное материально-техническое обеспечение, особенно на начальных этапах разработки [155]. Поэтому, осуществление доставки бурового шлама за пределы территории месторождения позволяет использовать арендованные под транспорт отходов грузовые машины в целях обеспечения материальных потребностей в строительстве промысла. Отсюда вытекает экономия за счет продуманной логистики. Также возникают дополнительные вопросы по поводу управления отходами на месторождениях Западной Сибири. В виду болотистой местности большей части территорий, наличия вечномёрзлых грунтов и частого передвижения грузовых автомобилей возможны проблемы с насыпными территориями ввиду их размыва и деградации грунтов [188]. В таком случае, необходим периодический ремонт кузовных площадок и внутрипромысловых насыпных дорог. Следовательно, использование бурового шлама в качестве ресурсов для ремонта кузовных площадок и дорог от размыва является эффективным решением и требующим дальнейшего изучения.

### **3.5 Выводы по третьей главе**

1. Регионом исследования выбран Ханты-Мансийский автономный округ, который в большей степени подвержен генерации и накоплению отходов бурения нефтяных и газовых скважин. По анализу социально-экономических показателей и статистических данных с Росстата, анализу рынка строительных материалов было выявлено, что в регион наращивает расширение площадей под жилые дома, густоту автомобильных дорог и дорог с твердым покрытием к 2030 году.

2. В третьей главе было проведено технико-экономическое обоснование 4 сценариев утилизации буровых отходов на месторождении, рассчитаны экономические и экологические показатели эффективности. Также составлена модель для оценки и расчета альтернатив по управлению отходами буре-

ния, выделения групп для последующего строительства завода по переработке отходов бурения в строительные материалы и оценке его экономической эффективности. Исходя из построенной модели и заданных условий наиболее экономически эффективным оказался 3-й сценарий, согласно которому происходит переработка отходов в строительные материалы и последующая их реализация на рынке.

3. Было выделено 8 групп для расчета интегрального показателя эффективности при совместной переработке отходов с нескольких месторождений, входящих в одну группу. Группы были выделены по транспортной доступности, близости урбанизированной территории и наличии не менее двух месторождений, удаленных на минимально рентабельное расстояние. При одновременном освоении каждого месторождения эффективными группами выступают 1, 3, 4 и 7. При постепенном освоении месторождений группы 1 и 7. Для групп 3 и 4 возможно применение инструментов государственного регулирования, таких как СПИК и НДТ, включающих в себя начисление ускоренной амортизации с коэффициентом 2, снижение налога на имущество и прибыль.

4. Второй сценарий также имеет потенциал для осуществления, поскольку разработка месторождения нефти и газа – ресурсоемкий проект. Для строительства объектов обустройства месторождения необходим большой перечень как стройматериалов, так и энергетических ресурсов. Так, буровые отходы можно преобразовать в материалы для ремонта дорог и кустовых площадок, в топливо, либо в материал для проведения гидроразрыва пласта.

5. Реализация переработки отходов бурения в строительные материалы влечет за собой положительные эффекты, такие как увеличение ВРП, создание новых рабочих мест, развитие технологий переработки отходов и покрытие дефицита в строительных материалах.

6. При взаимодействии компаний с государством возможно получать налоговые льготы в виде льготных ставок, субсидий и иных мер стимулирования. Наиболее эффективным инструментом государственной поддержки,

согласно проведенному моделированию, является использование льготной ставки налога на имущество.

7. На основе исследования для компаний и государства можно сформировать краткие предложения по развитию деятельности по управлению отходами бурения:

I. При проектировании обустройства месторождений нефти и газа включать в строительство объекты размещения отходов или площадки по их очистке и переработке.

II. На основании минимально рентабельных объемов отходов оценивать возможные альтернативы по утилизации отходов.

III. При строительстве объектов обустройства месторождения использовать полученные продукты переработки отходов бурения.

IV. Обязать на законодательном уровне собственников отходов за неиспользование полученных из них продуктов и материалов и усилить государственный надзор за лицензированной деятельностью и соблюдением технологий по переработке и обезвреживанию буровых отходов, а также за использованием полученных из них продуктов и материалов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационном исследовании предлагается новое решение актуальной научной проблемы, которая заключается в разработке модели выбора метода утилизации отходов бурения и оценки экономической эффективности при проектировании этапа эксплуатационного бурения при освоении месторождений углеводородов.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы и рекомендации.

1. Объемы бурения скважин не снижаются с годами, что приводит к росту генерации отходов бурения, содержащих разнообразные элементы, пагубно влияющие на окружающую среду. Следовательно, нефтегазовой промышленности необходимо своевременное и экологически оправданное управление буровыми отходами.

2. Существуют биологические и небιологические методы утилизации бурового шлама, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки, и выбор метода зависит от экологических, экономических и химических соображений, а также требований местных органов власти.

3. Внедрение совершенных технологий утилизации буровых отходов может принести положительный экономический эффект, позволяя использовать продукты переработки в строительстве и повторно использовать буровые растворы в процессе бурения следующей скважины.

4. Отходы бурения имеют потенциал для расширения жизненного цикла через использование их в производстве полезных продуктов, достигая синергического эффекта: экономических выгод и минимизации негативного воздействия на окружающую среду и здоровье человека.

5. Текущая ситуация на рынке бурения в России характеризуется наличием больших запасов нефти и газа и ежегодным наращиванием темпов бурения, несмотря на волатильность в ценах на нефть. Доля количества утилизированных и обезвреженных отходов в динамике по годам снижается, а

отношение размещенных отходов на объектах, принадлежащих предприятию – увеличивается в связи с более низкой стоимостью захоронения.

6. Нефтегазовые компании стремятся сократить накопление и размещение отходов, используя инновационные технологии и увеличивая утилизацию отходов. Темпы утилизации отходов бурения, реализация наилучших практик управления отходами бурения регулируются государственным надзором. Компании могут рассчитывать на премирование, субсидирование и другие рычаги стимулирования при использовании передовых технологий и достижении определенных показателей.

7. Составлена модель для расчета альтернатив по управлению отходами бурения. Благодаря модели определен наиболее эффективный подход к утилизации отходов – переработка в строительные материалы. Выделены группы для совместной переработки отходов бурения. Доказана экономическая эффективность переработки отходов. Группы 1 и 7 являются наиболее экономически эффективными, группы 3 и 4 также имеют потенциал к развитию, но при текущих рыночных условиях только с использованием государственных инструментов стимулирования.

8. Развитие перерабатывающей отрасли способно сократить существующий дефицит строительных материалов в регионе, создать новые рабочие места, увеличить ВРП региона, а также обеспечить пополнение регионального бюджета. Реализация строительства участков федеральных дорог также может быть частично обеспечена за счет использования переработанных буровых отходов.

Дальнейшие исследования в данном направлении заключаются в совершенствовании модели, в частности, при объединении месторождений разных операторов в части формирования активов и распределения прибыли. А также, видится возможным проработать модель по второму сценарию: так как буровые отходы можно переработать в стройматериалы, извлечь энерго-ресурсы, а также получить материал для проведения гидроразрыва пласта, то отходы бурения можно максимально использовать в собственных нуждах.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВВП	–	валовой внутренний продукт;
ВИЭ	–	возобновляемые источники энергии;
ВРП	–	валовой региональный продукт;
ЕС	–	Европейский Союз;
ЗБС	–	забурка боковых стволов;
НВОС	–	негативное воздействие на окружающую среду;
НДС	–	налог на добавленную стоимость;
НДТ	–	наилучшая доступная технология;
ООН	–	организация объединенных наций;
ООО	–	общество с ограниченной ответственностью;
ООС	–	охрана окружающей среды;
ПАО	–	публичное акционерное общество;
ПГ	–	парниковые газы;
ПРИ	–	породоразрушающий инструмент;
РУС	–	роторные управляемые системы;
СПИК	–	специальный инвестиционный контракт;
ХМАО	–	Ханты-Мансийский автономный округ;
ЦЭ	–	циркулярная экономика;
Эдж	–	эксаджоуль;
ЯНАО	–	Ямало-Ненецкий автономный округ;
DOE	–	Department of Energy (Министерство энергетики США);
DPI	–	discounted profitability index (дисконтированный индекс доходности);
DPP	–	discounted payback period (дисконтированный срок окупаемости);
ELG	–	Effluent Limitation Guidelines (Руководство по ограничению выбросов);
EPA	–	Environmental Protection Agency (Агентство по охране окружающей среды США);



- EWC – end-of-waste-criteria (с англ. «критерии окончания отходов»);
- GBDF – gas based drilling fluids (буровые растворы на газовой основе);
- IRR – internal rate of return (внутренняя норма доходности);
- MCD – minimum commercial distance (минимально рентабельное расстояние);
- MMS – Minerals Management Service (Служба управления полезными ископаемыми США);
- NPDES – National Pollutant Discharge Elimination System (Национальная система ликвидации выбросов загрязняющих веществ в США);
- NPV – net present value (чистая приведенная стоимость);
- OBDF – oil based drilling fluids (буровые растворы на нефтяной основе);
- OSPAR – Oslo and Paris Commission (Объединённая осло-парижская комиссия);
- SBDF – synthetic based drilling fluids (буровые растворы на синтетической основе);
- WBDF – water based drilling fluids (буровые растворы на водной основе).

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Алгоритмический подход к процессам обращения с отходами бурения / С. В. Мещеряков, С. В. Остах, А. В. Сушкова, О. С. Остах // Экология и промышленность России. – 2017. – Т. 21. – № 10. – С. 9-13. – DOI:10.18412/1816-0395-2017-10-9-13.
2. Алифирова, Е. Буровая активность в нефтяном секторе России остается на рекордном уровне. – URL: <https://neftegaz.ru/news/drill/788717-burovaya-aktivnost-v-neftyanom-sektore-rossii-ostaetsya-na-rekordnom-urovne/> (дата обращения: 01.02.2024). – Текст : электронный.
3. Алифирова, Е. Роснедра подвели итоги ГРП в России и 2022 г. и обозначили перспективы ТрИЗ. – URL: <https://neftegaz.ru/news/Geological-exploration/782788-rosnedra-podveli-itogi-grr-v-rossii-i-2022-g-i-oboznachili-perspektivu-triz/> (дата обращения: 16.01.2024). – Текст : электронный.
4. Ампилов, Ю. П. Экономическая геология / Ю. П. Ампилов, А. А. Герт; ред. П. Б. Никитин, Б. В. Робинсон. – Москва : Геоинформмарк, 2006. – 329 с.
5. Анализ рынка строительных материалов в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре. – URL: <http://racugra.ru/wp-content/uploads/2019/04/StrojMaterialy.pdf> (дата обращения: 17.01.2024). – Текст : электронный.
6. Анофриев, С. С. Строительство завода по утилизации бурового шлама на Самотлорском месторождении / С. С. Анофриев. – «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» в г. Нижневартовске, 2020. – 114 с.
7. Аренда техники в Ханты-Мансийске. – URL: <https://dep-hm.ru/uslugi/arenda-tehniki> (дата обращения: 10.12.2023). – Текст : электронный.
8. Бездудная, А. Г. Управление отходами - новые механизмы и пути решения: отечественный и зарубежный опыт / А. Г. Бездудная, О. В. Кадырова, М. Г. Трейман // Проблемы современной экономики. – 2022. –

№ 1(81). – С. 199-204.

9. Бездудная, А. Г. Исследование путей развития нефтегазового сектора: региональные, экологические и информационные аспекты / А. Г. Бездудная, Р. В. Смирнов, М. Г. Трейман // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2022. – Т. 1. – № 9-1. – С. 31-38. – DOI:10.17513/vaael.2388.

10. Белов, В. Б. Специальные инвестиционные контракты и Российско-Германское экономическое сотрудничество. Часть вторая / В. Б. Белов // Современная Европа. – 2020. – Т. 1. – № 94. – С. 146-157. – DOI:10.15211/soveurope12020146157.

11. Бобылев, С. Н. Устойчивое развитие в интересах будущих поколений: экономические приоритеты / С. Н. Бобылев. – Текст : электронный // Мир новой экономики. – 2017. – № 3. – С. 90-96. – URL: <https://wne.fa.ru/jour/article/view/141/142> (дата обращения: 04.12.2023).

12. Бобылев, С. Н. Циркулярная экономика и ее индикаторы для России / С. Н. Бобылев, С. В. Соловьева // Мир новой экономики. – 2020. – Т. 14. – № 2. – С. 63-72. – DOI:10.26794/2220-6469-2020-14-2-63-72.

13. Булатов, В. И. Отходы нефтегазового комплекса как технологический индикатор геоэкологического состояния регионов России / В. И. Булатов, Н. О. Игенбаева, О. А. Нанишвили // Бюллетень науки и практики. – 2021. – Т. 7. – № 8. – С. 46-55. – DOI:10.33619/2414-2948/69/05.

14. Валько, Д. В. Циркулярная экономика основные бизнес-модели и экономические возможности / Д. В. Валько // Журнал экономической теории. – 2020. – Т. 17. – № 1. – С. 156-163. – DOI:10.31063/2073-6517/2020.17-1.12.

15. Власов, А. С. Геоэкологическая оценка технологии использования отходов бурения в составе асфальтобетона / А. С. Власов, К. Г. Пугин, А. А. Сурков // Neftyanoe khozyaystvo - Oil Industry. – 2020. – № 12. – С. 139-142. – DOI:10.24887/0028-2448-2020-12-139-142.

16. Гарин, В. В. Регионы России. Социально-экономические показатели / В. В. Гарин, С. Н. Климаев, Г. Ю. Карпова; ред. С. Н. Егоренко,

И. Н. Волков, Л. М. Гохберг [и др.]. – Р32 Стат. – Москва : Росстат, 2022. – 1122 с.

17. ГОСТ 9128-2013 Смеси Асфальтобетонные, Полимерасфальтобетонные, Асфальтобетон, Полимерасфальтобетон Для Автомобильных Дорог и Аэродромов. Технические Условия. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108509> (дата обращения: 05.12.2022). – Текст : электронный.

18. Государственный реестр объектов размещения отходов. – URL: [https://rpn.gov.ru/opendata/7703381225-groro?sphrase\\_id=1164166](https://rpn.gov.ru/opendata/7703381225-groro?sphrase_id=1164166) (дата обращения: 20.01.2024). – Текст : электронный.

19. Гурьева, М. А. Практика реализации модели циркулярной экономики / М. А. Гурьева, В. В. Бутко // Экономические отношения. – 2019. – Т. 9. – № 4. – С. 2367-2384. – DOI:10.18334/eo.9.4.40991.

20. Декарбонизация нефтегазового комплекса: приоритеты и организационные модели развития / А. А. Ильинский, О. В. Калинина, М. М. Хасанов [и др.] // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2022. – Т. 75. – № 1/2022. – С. 33-46. – DOI:10.37614/2220-802X.1.2022.75.003.

21. Желтов, Ю. П. Разработка нефтяных месторождений / Ю. П. Желтов. – 2-е изд. – Москва : ОАО "Издательство «Недра», 1998. – 365 с.

22. Закондырин, А. Е. Наилучшие доступные технологии в горнодобывающем секторе: актуальные проблемы и пути их решения / А. Е. Закондырин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 6-1. – С. 55-64. – DOI:10.25018/0236-1493-2020-61-0-55-64.

23. Зеленая экономика: управление развитием. Стратегия и тактика: монография / С. А. Липина, Е. В. Кудряшова, Е. В. Агапова [и др.]; ред. В. П. Чичканов, А. В. Мясков. – Архангельск : Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2022. – 264 с.

24. Ильинский, А. А. Стратегические приоритеты развития

нефтедобывающего комплекса при освоении маргинальных месторождений / А. А. Ильинский, С. Тан; ред. К. Н. Миловидов, В. Е. Храпов. – Апатиты : ФИЦ КНЦ РАН, 2019. – 132 с.

25. Информация о тарифах, установленных на 2023-2024 год г. Ханты-Мансийск. – URL: <https://irc-hm.ru/tarify/> (дата обращения: 30.01.2024). – Текст : электронный.

26. Касаткин, Д. Б. Обзор рынков добычи и нефтесервиса / Д. Б. Касаткин // Бурение и нефть. – 2023. – № 2. – С. 3-11.

27. Компания “Сахалин Энерджи” приступила к закачиванию воды в первую наклонно-направленную скважину. – URL: <https://tia-ostrova.ru/news/obschestvo/17955/> (дата обращения: 01.02.2024). – Текст : электронный.

28. Комплексный консалтинг для нефтегазовой отрасли. – URL: <https://ingenix-group.ru/> (дата обращения: 11.12.2023). – Текст : электронный.

29. Консалтинговое агентство Argus. Экспорт нефти. – URL: <https://www.argusmedia.com/-/media/Files/methodology/argus-russian-crude-exports-russian.ashx> (дата обращения: 01.02.2024). – Текст : электронный.

30. Конык, О. А. Обеспечение экологической безопасности при обращении с отходами на нефтяных месторождениях / О. А. Конык // Вестник института геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. – 2017. – Т. 12. – С. 39-41. – DOI:10.19110/2221-1381-2017-12-39-41.

31. Крапивский, Е. И. Нефтешламы: уничтожение, утилизация, дезактивация / Е. И. Крапивский; ред. А. Д. Чарнецкий, В. Г. Савоненков. – Москва; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 432 с.

32. Лебедев, А. Н. Экологическое состояние нефте-газодобывающей промышленности Западной Сибири / А. Н. Лебедев, Э. А. Арустамов // Отходы и ресурсы. – 2018. – Т. 5. – № 2. – DOI:10.15862/07NZOR218.

33. Матыцын, В. Концепция природоохранных мероприятий при бурении скважин / В. Матыцын // Бурение и нефть. – 2006. – № 3. – С. 36-39.

34. Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как

объекту охраны окружающей среды. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902227668?marker=6500IL> (дата обращения: 21.01.2024). – Текст : электронный.

35. Методические рекомендации по применению классификации запасов и ресурсов нефти и горючих газов. – URL: [https://gkz-rf.ru/sites/default/files/docs/metodicheskie\\_rekomendacii\\_po\\_primeneniyu\\_nkz\\_utverzhdennyye.pdf](https://gkz-rf.ru/sites/default/files/docs/metodicheskie_rekomendacii_po_primeneniyu_nkz_utverzhdennyye.pdf) (дата обращения: 17.03.2024). – Текст : электронный.

36. Минстрой России. Индексы изменения сметной стоимости.

37. Мишустин, М. В. Факторы роста налоговых доходов: макроэкономический подход / М. В. Мишустин // Экономическая политика. – 2016. – Т. 11. – № 5. – С. 8-27. – DOI:10.18288/1994-5124-2016-5-01.

38. Морозова, А. Екатеринбург встал на пути транспортного коридора. – URL: <https://ekb.rbc.ru/ekb/19/07/2023/64b78aa59a794772a03ecfb1> (дата обращения: 30.01.2024). – Текст : электронный.

39. Мочалова, Л. А. Теория, методология и методика перехода к циркулярной экономике в сфере недропользования : научная монография / Л. А. Мочалова, О. Г. Соколова. – Екатеринбург : Уральский государственный горный университет, 2021. – 147 с.

40. На Ванкорском месторождении построена линия по переработке бурового шлама. – URL: <https://lenta.ru/news/2023/09/26/shlam/> (дата обращения: 16.03.2024). – Текст : электронный.

41. Независимый нефтегазовый Портал. Месторождения нефти и газа. – URL: <https://oilgasinform.ru/science/fields/> (дата обращения: 16.01.2024). – Текст : электронный.

42. Нефтяники.рф. Месторождения нефти и газа. – URL: <http://www.nftn.ru/oilfields/> (дата обращения: 17.03.2024). – Текст : электронный.

43. НК РФ Статья 164. Налоговые ставки. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_28165/35cc6698564adc4507baa31c9cfdbb4f2516d068/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28165/35cc6698564adc4507baa31c9cfdbb4f2516d068/) (дата обращения: 04.03.2024). – Текст :

электронный.

44. НК РФ Статья 259.3. Применение повышающих (понижающих) коэффициентов к норме амортизации. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_28165/8f5e360a53d29554be20fe46a6b79f85e5bbbd0d/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28165/8f5e360a53d29554be20fe46a6b79f85e5bbbd0d/) (дата обращения: 01.06.2024). – Текст : электронный.

45. НК РФ Статья 284. Налоговые ставки. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_28165/eb9180fc785448d58fe76ef323fb67d1832b9363/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28165/eb9180fc785448d58fe76ef323fb67d1832b9363/) (дата обращения: 04.03.2024). – Текст : электронный.

46. НК РФ Статья 342. Налоговая ставка. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_28165/b0945496f341b2d7e1f79e0bc9dd4e4522a466b1/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28165/b0945496f341b2d7e1f79e0bc9dd4e4522a466b1/) (дата обращения: 30.12.2023). – Текст : электронный.

47. НК РФ Статья 380. Налоговая ставка. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_28165/ce7353ef8711e5b40f860860b7b77e724c028b65/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28165/ce7353ef8711e5b40f860860b7b77e724c028b65/) (дата обращения: 01.04.2024). – Текст : электронный.

48. НК РФ Статья 425. Тарифы страховых взносов. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_28165/a3f603ffd57b1431ed51e1693ba710093347235d/#dst23012](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28165/a3f603ffd57b1431ed51e1693ba710093347235d/#dst23012) (дата обращения: 04.03.2024). – Текст : электронный.

49. Обзор нефтесервисного рынка России - 2020. – URL: <https://www2.deloitte.com/kz/ru/pages/energy-and-resources/articles/2020/oil-gas-survey-russia-2020.html> (дата обращения: 16.02.2022). – Текст : электронный.

50. Обращение с отходами в Группе Газпром. – URL: <https://sustainability.gazpromreport.ru/2021/3-environmental-protecti/3-4-waste-management/> (дата обращения: 12.11.2023). – Текст : электронный.

51. Обустройство кустовой площадки № 81 Среднеботуобинского НГКМ. – URL:

<https://botuobuia.sakha.gov.ru/uploads/905/f09527c89184cfcb887e470b01007a4b58170f67.pdf> (дата обращения: 21.01.2024). – Текст : электронный.

52. Орешкин, Д. В. Экологические проблемы комплексного освоения недр при масштабной утилизации техногенных минеральных ресурсов и отходов в производстве строительных материалов / Д. В. Орешкин. – Текст : электронный // Строительные материалы. – 2017. – № 8. – С. 55-63. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29966534> (дата обращения: 05.12.2023).

53. Патент № 2180909 С1 Российская Федерация, МПК С10L 1/04, С02F 11/12, С02F 11/18. Способ получения топлива из нефтесодержащих отходов, топливо, полученное этим способом, способ получения топливной композиции и топливная композиция, полученная этим способом / В. А. Бугаев, Е. А. Бугаев, Я. А. Ерошевский [и др.] ; заявитель Открытое акционерное общество "Энергетическая компания «Феникс Холдинг». – EDN TETUXB.

54. Патент № 2323293 С1 Российская Федерация, МПК E01C 3/04. Способ утилизации буровых шламов : № 2006135005/03 : заявл. 03.10.2006 : опубл. 27.04.2008 / В. Ю. Рядинский ; заявитель ГОУ ВПО «Тюменский государственный университет». – EDN KIAUPW.

55. Патент № 2347629 С1 Российская Федерация, МПК B09B 3/00, E21C 41/32. Способ утилизации бурового шлама : № 2007127968/03 : заявл. 20.07.2007 : опубл. 27.02.2009 / В. Ю. Рядинский, А. А. Антропов ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский государственный университет». – EDN KTZFPT.

56. Патент № 2389564 С1 Российская Федерация, МПК B09B 3/00, С04B 33/132, С04B 33/32. Способ обезвреживания бурового шлама с получением из него строительного материала : № 2009122101/03 : заявл. 10.06.2009 : опубл. 20.05.2010 / В. М. Горин, М. К. Кабанова, И. К. Казмалы [и др.] ; заявитель Закрытое акционерное общество «НИИКерамзит». – EDN QBNXWM.

57. Патент № 2551560 С2 Российская Федерация, МПК С04В 28/02,



C04B 18/04, E02D 3/12. Дорожно-строительный композиционный материал : № 2013128439/03 : заявл. 24.06.2013 : опубл. 27.05.2015 / С. С. Заболоцкий ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Сибпромстрой». – EDN XVLMMF.

58. Патент № 2614339 С Российская Федерация, МПК C04B 14/24, C04B 20/06, C04B 38/00. Композиция для производства пористого заполнителя : № 2016112854 : заявл. 04.04.2016 : опубл. 24.03.2017 / Е. С. Абдрахимова ; заявитель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)» (СГАУ). – EDN VIZKIJ.

59. Патент № 2625494 С Российская Федерация, МПК B09B 3/00. Способ изготовления литифицированного искусственного грунта : № 2016108136 : заявл. 09.03.2016 : опубл. 14.07.2017 / Д. Х. Туктаров, Е. В. Круглей ; заявитель Закрытое акционерное общество «Инвестгеосервис». – EDN ABRTNY.

60. Патент № 2732242 С1 Российская Федерация, МПК C10G 7/04, C10G 33/00. Способ получения мазута из пропарочно-промывочных смесей нефтепродуктов : № 2020111997 : заявл. 24.03.2020 : опубл. 14.09.2020 / Э. С. Джангулян ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Саратовский Торговый Дом». – EDN SSPNBV.

61. Пахомова, Н. В. Переход к циркулярной экономике и замкнутым цепям поставок как фактор устойчивого развития / Н. В. Пахомова, К. К. Рихтер, М. А. Ветрова // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. – 2017. – Т. 33. – № 2. – С. 244-268. – DOI:10.21638/11701/spbu05.2017.203.

62. Переработка отходов бурения в автономном режиме с применением установки фильтр-пресс. – URL: [https://www.ecoindustry.ru/i/ent/903/presentation\\_14531229335228.pdf](https://www.ecoindustry.ru/i/ent/903/presentation_14531229335228.pdf) (дата

обращения: 21.01.2024). – Текст : электронный.

63. Перспективы нефтедобычи в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке: методические вопросы, практическая реализация, влияние санкций / Л. В. Эдер, И. В. Филимонова, М. В. Мишенин, Р. А. Мочалов // Бурение и нефть. – 2014. – № 12. – С. 10-15.

64. Пичугин, Е. А. Технология утилизации буровых шламов с получением экологически чистого дорожно-строительного материала / Е. А. Пичугин. – Текст : электронный // Молодой ученый. – 2013. – № 9 (56). – С. 124-126. – URL: <https://moluch.ru/archive/56/7725/> (дата обращения: 05.12.2023).

65. Поварова, Л. В. Анализ технологий утилизации экологически опасных буровых отходов / Л. В. Поварова // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 2. – С. 233-247.

66. Пономарев, М. В. Эколого-правовые проблемы обращения с отходами недропользования в Арктической зоне Российской Федерации / М. В. Пономарев // Журнал российского права. – 2022. – Т. 25. – № 10. – С. 143-156. – DOI:10.12737/jrl.2021.129.

67. Постановление Правительства РФ от 01.01.2002 N 1 (ред. от 18.11.2022) «О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы». – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34710/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34710/) (дата обращения: 01.12.2023). – Текст : электронный.

68. Постановление Правительства РФ от 13 сентября 2016 г. N 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах». – URL: <http://ivo.garant.ru/#/document/71489914/paragraph/1:0> (дата обращения: 16.12.2023). – Текст : электронный.

69. Постановление Правительства РФ от 20 марта 2023 г. N 437 «О применении в 2023 году ставок платы за негативное воздействие на окружающую среду». – URL:

[https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_443492/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_443492/) (дата обращения: 16.12.2023). – Текст : электронный.

70. Постановление Правительства РФ от 31 мая 2023 г. № 881 “Об утверждении Правил исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду и о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации и отдельного положения. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/406865936/> (дата обращения: 20.11.2023). – Текст : электронный.

71. Приказ Минприроды России N 242, Роснедр N 01 от 31.03.2022 (ред. от 19.12.2023) «Об установлении Методики расчета минимального (стартового) размера разового платежа за пользование недрами» (Зарегистрировано в Минюсте России 18.04.2022 N 68250). – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_415064/1a59e86c24940fae4e5386719c94ccf81f8f4474/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_415064/1a59e86c24940fae4e5386719c94ccf81f8f4474/) (дата обращения: 17.03.2024). – Текст : электронный.

72. Приказ Минприроды России от 08.07.2010 N 238 (ред. от 18.11.2021) «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды». – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_104774/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_104774/) (дата обращения: 16.12.2023). – Текст : электронный.

73. Применение утилизированного бурового шлама в качестве добавки к портландцементу / Г. Г. Ягафарова, Ю. Г. Матвеев, Ф. А. Агзамов, Д. В. Рахматуллин // Нефтегазовое дело. – 2011. – Т. 9. – № 4. – С. 37-39.

74. Проблемы утилизации отходов бурения в Ханты-Мансийском автономном округе - Югре. – URL: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/otchety-o-deyatelnosti-prirodnadzora/teksty-vystupleniy-i-prezentatsii/arkhiv/2012-2015/133061/problemy-utilizatsii-otkhodov-bureniya-v-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okruge-yugre/> (дата обращения: 17.01.2024). – Текст : электронный.

75. Прогнозное моделирование гидравлического разрыва пласта

алюмосиликатными пропантами, изготовленными на основе буровых шламов / А. А. Третьяк, Е. А. Яценко, С. В. Доронин [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 3. – С. 165-172. – DOI:10.18799/24131830/2023/3/4081.

76. Проект рекультивации земель, нарушенных в связи с обустройством буровых шламовых амбаров и земель, нарушенных в связи с обустройством поисково-разведочных скважин АО «Самотлорнефтегаз». – URL: <https://clck.ru/36LL5v> (дата обращения: 21.01.2024). – Текст : электронный.

77. Разманова, С. В. Нефтесервисные компании в рамках цифровизации экономики: оценка перспектив инновационного развития / С. В. Разманова, О. В. Андрухова // Записки Горного института. – 2020. – Т. 244. – С. 482-492. – DOI:10.31897/pmi.2020.4.11.

78. Ратнер, С. В. Циркулярная экономика: теоретические основы и практические приложения в области региональной экономики и управления / С. В. Ратнер // Инновации. – 2018. – № 9(239). – С. 29-37.

79. Рациональное использование вторичных минеральных ресурсов в условиях экологизации и внедрения наилучших доступных технологий : монография / В. А. Кныш, Ф. Д. Ларичкин, М. А. Невская [и др.]; ред. Ф. Д. Ларичкин, В. А. Кныш. – Апатиты : Издательство ФИЦ КНЦ РАН, 2019. – 252 с.

80. Реймерс, Н. Ф. Природопользование: словарь-справочник / Н. Ф. Реймерс. – Москва : Мысль, 1990. – 637 с.

81. «Роснефть» применила в Югре инновационный метод утилизации отходов бурения. – URL: <https://www.rosneft.ru/press/news/item/187683/> (дата обращения: 16.03.2024). – Текст : электронный.

82. Росприроднадзор. Банк данных об отходах. – URL: <https://rpn.gov.ru/activity/regulation/kadastr/bdo/> (дата обращения: 16.12.2023). – Текст : электронный.

83. РосТендер — Все тендеры России. – URL: <https://rostender.info/> (дата обращения: 15.11.2023). – Текст : электронный.

84. Румянцева, А. В. Обоснование метода утилизации буровых отходов при добыче нефти на основе современных технологий / А. В. Румянцева, М. В. Березюк, Ю. В. Пластинина. – Текст : электронный // Вестник евразийской науки. – 2023. – Т. 15. – № 2. – URL: <https://esj.today/PDF/17ECVN223.pdf> (дата обращения: 01.06.2023).

85. Рябова, Е. В. Инвестиционная привлекательность проектов по разработке нефтяных месторождений в условиях налогового маневра. Оценка на примере Западно-Сибирского экономического района / Е. В. Рябова, Н. В. Ферулева, О. А. Замотаева // Финансовый журнал. – 2022. – Т. 14. – № 3. – С. 86-101. – DOI:10.31107/2075-1990-2022-3-86-101.

86. Савенкова, Д. Российские нефтяники увеличили вводы новых скважин. – URL: <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2024/01/17/1015382-v-rf-mogut-razreshit-bolshe-odnoi-lgotnoi-ipoteki-pri-rozhdenii-rebenka> (дата обращения: 17.01.2024). – Текст : электронный.

87. Сарданашвили, О. Н. Техничко-экономическая оценка освоения Средне-Назымского нефтяного месторождения с применением различных налоговых механизмов / О. Н. Сарданашвили, Ю. Г. Богаткина // Neftegaz.RU. – 2023. – № 7.

88. Свободная географическая информационная система с открытым кодом QGIS. – URL: <https://qgis.org/ru/site/> (дата обращения: 21.03.2024). – Текст : электронный.

89. Сервисные компании. Каталог поставщиков по переработке нефтешламов и буровых шламов РФ. – URL: [https://nefteshlamy.ru/service\\_companies](https://nefteshlamy.ru/service_companies) (дата обращения: 15.12.2023). – Текст : электронный.

90. Скобелев, Д. О. Промышленная политика повышения ресурсоэффективности и достижение целей устойчивого развития / Д. О.

Скобелев // Journal of New Economy. – 2021. – Т. 21. – № 4. – С. 153-173. – DOI:10.29141/2658-5081-2020-21-4-8.

91. Скобелев, Д. О. Политика повышения ресурсоэффективности и формирование экономики замкнутого цикла / Д. О. Скобелев, С. В. Федосеев // Компетентность. – 2021. – № 3. – С. 5-13. – DOI:10.24412/1993-8780-2021-3-05-14.

92. Стратегия социально-экономического развития Ханты-Мансийского автономного округа – Югры до 2020 года и на период до 2030 года. Часть 7. Строительный комплекс. – URL: <https://dereconom.admhmao.ru/upload/iblock/077/stroitelnyu.pdf> (дата обращения: 17.01.2024). – Текст : электронный.

93. Тарифы на услуги нефтепродуктопроводного транспорта 2024. – URL: <https://www.transneft.ru/customers/uslugi-po-transportirovke/tarify-na-uslugi-po-transportirovke/deystvuyushchie-tarify-2024/> (дата обращения: 04.03.2024). – Текст : электронный.

94. Теличенко, В. И. Материаловедческие аспекты геоэкологической и экологической безопасности в строительстве / В. И. Теличенко, Д. В. Орешкин. – Текст : электронный // Экология урбанизированных территорий. – 2015. – № 2. – С. 31-33. – URL: <https://www.eco-eua.ru/ru/archive/2015/2/materialovedcheskie-aspekty-geoekologicheskoy-i-ekologicheskoy-bezopasnosti-v-stroitelstve> (дата обращения: 05.12.2023).

95. Технологический процесс получения керамического кирпича на основе бурового шлама / В. А. Гурьева, В. В. Дубинецкий, К. М. Вдовин, А. В. Дорошин. – Текст : электронный // Молодой ученый. – 2017. – № 21.1 (155.1). – С. 127-130. – URL: <https://moluch.ru/archive/155/44132/> (дата обращения: 14.12.2023).

96. Торговая площадка Пульс Цен в Ханты-Мансийске. – URL: <https://hanty.pulscen.ru/> (дата обращения: 26.03.2024). – Текст : электронный.

97. Утилизация отходов мрамора и бурового шлама в процессе производства строительных материалов / Д. В. Орешкин, И. В. Шадрюнова, Т.

В. Чекушина, А. Н. Прошляков. – Текст : электронный // Строительные материалы. – 2019. – Т. 769. – № 4. – С. 65-72. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37621304> (дата обращения: 05.12.2023). – DOI:10.31659/0585-430X-2019-769-4-65-72.

98. Фактические данные для расчета нетбэка на нефть, публикующиеся с целью оказания информационной поддержки процесса подготовки и согласования технических проектов на разработку месторождений углеводородного сырья. – URL: <https://vygon.consulting/bulletin> (дата обращения: 15.12.2023). – Текст : электронный.

99. Факторы развития нефтесервисного рынка России / И. Филимонова, В. Немов, А. Комарова, С. Кожевина // Нефтегазовая вертикаль. – 2020. – № 21-22. – С. 5-14.

100. Федеральная служба государственной статистики. Заработная плата. – URL: [https://rosstat.gov.ru/labour\\_costs](https://rosstat.gov.ru/labour_costs) (дата обращения: 10.12.2023). – Текст : электронный.

101. Федеральный закон «О страховых тарифах на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний на 2023 год и на плановый период 2024 и 2025 годов» от 19.12.2022 N 517-ФЗ. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_434541/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_434541/) (дата обращения: 05.03.2024). – Текст : электронный.

102. Федоренко, Н. П. О разработке системы оптимального функционирования экономики / Н. П. Федоренко. – Москва : Наука, 1968. – 243 с.

103. Федоров, Г. Б. Разработка виброакустического модуля для тонкой очистки буровых растворов / Г. Б. Федоров, О. Л. Дудченко, Д. С. Куренков. – Текст : электронный // Записки Горного института. – 2018. – Т. 234. – № 6. – С. 647-651. – URL: <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/13153> (дата обращения: 30.11.2023). – DOI:10.31897/pmi.2018.6.647.

104. Цены на бензин, ДТ, газ в Ханты-Мансийском автономном округе. – URL: [https://www.benzin-price.ru/price.php?region\\_id=86](https://www.benzin-price.ru/price.php?region_id=86) (дата обращения: 30.01.2023). – Текст : электронный.

105. Череповицын, А. Е. Возможности использования технологий замкнутого цикла в нефтегазовом комплексе / А. Е. Череповицын, **А. П. Лебедев** // Вопросы инновационной экономики. – 2022. – Т. 12. – № 2. – С. 1185-1198. – DOI:10.18334/vines.12.2.114923.

106. Череповицын, А. Е. Экономическая и экологическая эффективность переработки бурового шлама при бурении нефтяных и газовых скважин / А. Е. Череповицын, **А. П. Лебедев** // Отходы и ресурсы. – 2023. – Т. 10. – № 4. – DOI:10.15862/10ECOR423.

107. Шандрыгин, А. Н. Оценка извлекаемых запасов углеводородов. Нужно ли изобретать велосипед? / А. Н. Шандрыгин // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2019. – № 4 (27). – DOI:10.29222/ipng.2078-5712.2019-27.art10.

108. Экономическая оценка проектов разработки месторождений углеводородного сырья в условиях северных районов добычи с применением бинарного и реверсированного дисконтирования / Е. А. Марин, Т. В. Пономаренко, Н. В. Василенко, С. Г. Галевский // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2022. – Т. 25. – № 3/2022. – С. 144-157. – DOI:10.37614/2220-802X.3.2022.77.010.

109. Энергопотребление установок погружных электроцентробежных насосов / Р. И. Вахитова, К. Р. Уразаков, Е. Б. Думлер [и др.]; ред. И. С. Закиров, А. С. Галеев. – Альметьевск : Альметьевский государственный нефтяной институт, 2020. – 100 с.

110. Эффективность применения методов повышения нефтеотдачи пластов и интенсификации добычи нефти на месторождениях Ханты-Мансийского автономного округа – Югры / С. Г. Кузьменков, М. И. Королев, М. В. Новиков [и др.] // Георесурсы. – 2023. – Т. 25. – № 3. – С. 129-139. – DOI:10.18599/grs.2023.3.16.

111. Юдин, С. С. Партнерство государства и бизнеса для обеспечения



экономической устойчивости сложных промышленных нефтегазовых систем в Арктике / С. С. Юдин, А. Е. Череповицын // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2022. – Т. 25. – № 2/2022. – С. 7-18. – DOI:10.37614/2220-802X.2.2022.76.001.

112. A conceptual review on microalgae biorefinery through thermochemical and biological pathways: Bio-circular approach on carbon capture and wastewater treatment. Vol. 11 / J. Arun, K. P. Gopinath, P. S. SundarRajan [et al.]. – 2020.

113. Almeida, P. C. de. Managing offshore drill cuttings waste for improved sustainability / P. C. de Almeida, O. de Q. F. Araújo, J. L. de Medeiros // Journal of Cleaner Production. – 2017. – Vol. 165. – P. 143-156. – DOI:10.1016/j.jclepro.2017.07.062.

114. An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe / C. Zhang, M. Hu, F. Di Maio [et al.] // Science of The Total Environment. – 2022. – Vol. 803. – P. 149892. – DOI:10.1016/j.scitotenv.2021.149892.

115. Analysis of Hazardous Waste Management Elements in Oil and Gas Enterprises Based on the Life-Cycle Management Concept / R. Wang, Q. Xu, C. He [et al.] // Sustainability. – 2023. – Vol. 15. – № 6. – P. 5504. – DOI:10.3390/su15065504.

116. Anis, M. D. Issues Impacting Sustainability in the Oil and Gas Industry / M. D. Anis, T. Z. Siddiqui // Journal of Management and Sustainability. – 2015. – Vol. 5. – № 4. – P. 115. – DOI:10.5539/jms.v5n4p115.

117. Baba Hamed, S. Rheological properties of biopolymers drilling fluids / S. Baba Hamed, M. Belhadri // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2009. – Vol. 67. – № 3-4. – P. 84-90. – DOI:10.1016/j.petrol.2009.04.001.

118. Bakke, T. Environmental impacts of produced water and drilling waste discharges from the Norwegian offshore petroleum industry / T. Bakke, J. Klungsøyr, S. Sanni // Marine Environmental Research. – 2013. – Vol. 92. – P. 154-169. – DOI:10.1016/j.marenvres.2013.09.012.

119. Ball, A. S. A review of the current options for the treatment and safe disposal of drill cuttings / A. S. Ball, R. J. Stewart, K. Schliephake // *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*. – 2012. – Vol. 30. – № 5. – P. 457-473. – DOI:10.1177/0734242X11419892.

120. Barriers to the Circular Economy: Evidence From the European Union (EU) / J. Kirchherr, L. Piscicelli, R. Bour [et al.] // *Ecological Economics*. – 2018. – Vol. 150. – P. 264-272. – DOI:10.1016/j.ecolecon.2018.04.028.

121. Basile, V. The usefulness of sustainable business models: Analysis from oil and gas industry / V. Basile, N. Capobianco, R. Vona // *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. – 2021. – Vol. 28. – № 6. – P. 1801-1821. – DOI:10.1002/csr.2153.

122. Benyus, J. M. *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature* / J. M. Benyus. – 1st ed. – New-York : Morrow, 1997. – 308 p.

123. Bioremediation of oil-based drill cuttings by a halophilic consortium isolated from oil-contaminated saline soil / M. Rezaei Somee, M. Shavandi, S. M. M. Dastgheib, M. A. Amoozegar // *3 Biotech*. – 2018. – Vol. 8. – № 5. – P. 229. – DOI:10.1007/s13205-018-1261-8.

124. Bogdanova, O. Experience in the Implementation of Drilling Waste Utilization Technology on the Example of a Large Oil and Gas Region of Russia / O. Bogdanova, V. Okmynskaia // *Journal of Ecological Engineering*. – 2022. – Vol. 23. – № 2. – P. 132-139. – DOI:10.12911/22998993/144336.

125. Boulding, K. E. *The Economics of the Coming Spaceship Earth* / K. E. Boulding. – Text : electronic. – New York : RFF Press, 1966. – P. 3-14. – URL: [https://arachnid.biosci.utexas.edu/courses/THOC/Readings/Boulding\\_SpaceshipEarth.pdf](https://arachnid.biosci.utexas.edu/courses/THOC/Readings/Boulding_SpaceshipEarth.pdf) (date accessed: 05.12.2022).

126. Braungart, M. Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design / M. Braungart, W. McDonough, A. Bollinger // *Journal of Cleaner Production*. – 2007. – Vol. 15. – № 13-14. – P. 1337-1348. – DOI:10.1016/j.jclepro.2006.08.003.

127. Carignan, M.-P. Assessment of two thermally treated drill mud wastes

for landfill containment applications / M.-P. Carignan, C. B. Lake, T. Menzies // Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy. – 2007. – Vol. 25. – № 5. – P. 394-401. – DOI:10.1177/0734242X07073652.

128. Cherepovitsyn, A. Drill Cuttings Disposal Efficiency in Offshore Oil Drilling / A. Cherepovitsyn, **A. Lebedev** // Journal of Marine Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11. – № 2. – P. 317. – DOI:10.3390/jmse11020317.

129. Circular Carbon Economy (CCE): A Way to Invest CO<sub>2</sub> and Protect the Environment, a Review / L. M. Alsarhan, A. S. Alayyar, N. B. Alqahtani, N. H. Khdary // Sustainability. – 2021. – Vol. 13. – № 11625. – DOI:10.3390/su1321.

130. Circular Economy in Oil & Gas Industry. The Current Situation in Argentina, Possibilities, and Future Applications. / C. N. Richard, G. S. Zabala, M. F. Saitta [et al.] // Proceedings of the 2020 Latin America Unconventional Resources Technology Conference. – Tulsa, OK, USA : Unconventional Resources Technology Conference, 2020. – DOI:10.15530/urtec-2020-1331.

131. Clements, K. Global Practices and Regulations for Land application and Disposal of Drill Cuttings and Fluids / K. Clements, J. A. Veil, A. J. Leuterman // SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production. – Rio de Janeiro, Brazil : SPE, 2010. – DOI:10.2118/126565-MS.

132. Cochrane, J. H. Presidential Address: Discount Rates / J. H. Cochrane // The Journal of Finance. – 2011. – Vol. 66. – № 4. – P. 1047-1108. – DOI:10.1111/j.1540-6261.2011.01671.x.

133. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02008L0098-20180705> (date accessed: 15.12.2023). – Text : electronic.

134. Drill cutting accumulations in the Northern and Central North Sea: a review of environmental interactions and chemical fate / E. Breuer, A. . Stevenson, J. . Howe [et al.] // Marine Pollution Bulletin. – 2004. – Vol. 48. – № 1-2. – P. 12-25. – DOI:10.1016/j.marpolbul.2003.08.009.

135. Drilling fluid waste management in drilling for oil and gas wells / A. R. Ismail, A. H. Alias, W. R. W. Sulaiman [et al.]. – Text : electronic // Chemical Engineering Transactions. – 2017. – Vol. 56. – P. 1351-1356. – URL: <https://www.cetjournal.it/index.php/cet/article/view/CET1756226> (date accessed: 05.12.2023). – DOI:10.3303/CET1756226.

136. Drilling Waste Management – Solutions that Optimise Drilling, Reduce Well Cost and Improve Environmental Performance / L. Phillips, A. Morris, G. Innes [et al.] // Day 2 Tue, November 13, 2018. – SPE, 2018. – DOI:10.2118/192793-MS.

137. Drilling Waste Management Market ( By Service: Treatment & Disposal, Containment & Handling, Solids Control, Others; By Application: Onshore, Offshore; By Waste Type: Waste Lubricants, Contaminated water-based muds, Contaminated oil-based muds, Spent Bulk. – URL: <https://www.precedenceresearch.com/drilling-waste-management-market> (date accessed: 15.03.2024). – Text : electronic.

138. Drilling Waste Management Technology Review. IOGP Report 557. – URL: <https://www.iogp.org/bookstore/product/drilling-waste-management-technology-review/> (date accessed: 01.02.2024). – Text : electronic.

139. Drilling waste management using zero discharge technology with Drill Cutting Re-injection (DCRI) method for environmental preservation / M. H. Darajah, I. Karundeng, R. Setiati, A. R. R. Wastu // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 802. – № 1. – P. 012046. – DOI:10.1088/1755-1315/802/1/012046.

140. Dynamic modeling of environmental risk associated with drilling discharges to marine sediments / Í. Durgut, H. Rye, M. Reed [et al.]. – Text : electronic // Marine Pollution Bulletin. – 2015. – Vol. 99. – № 1-2. – P. 240-249. – URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X15004397> (date accessed: 24.11.2022). – DOI:10.1016/j.marpolbul.2015.07.019.

141. Effects of drill cuttings on biogeochemical fluxes and macrobenthos of marine sediments / M. T. Schaanning, H. C. Trannum, S. Øxnevad [et al.] //

Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. – 2008. – Vol. 361. – № 1. – P. 49-57. – DOI:10.1016/j.jembe.2008.04.014.

142. Evaluation of the reuse and recycling of drill cuttings in concrete applications / M. Foroutan, M. M. Hassan, N. Desrosiers, T. Rupnow // Construction and Building Materials. – 2018. – Vol. 164. – P. 400-409. – DOI:10.1016/j.conbuildmat.2017.12.180.

143. Frosch, R. A. Strategies for Manufacturing / R. A. Frosch, N. E. Gallopoulos. – Text : electronic // Scientific American. – 1989. – Vol. 261. – № 3. – P. 144-152. – URL: <https://www.scientificamerican.com/article/strategies-for-manufacturing/> (date accessed: 05.12.2022). – DOI:10.1038/scientificamerican0989-144.

144. Ghisellini, P. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems / P. Ghisellini, C. Cialani, S. Ulgiati // Journal of Cleaner Production. – 2016. – Vol. 114. – P. 11-32. – DOI:10.1016/j.jclepro.2015.09.007.

145. Giusti, L. A review of waste management practices and their impact on human health / L. Giusti // Waste Management. – 2009. – Vol. 29. – № 8. – P. 2227-2239. – DOI:10.1016/j.wasman.2009.03.028.

146. Globalshift.co.uk. – URL: <https://www.globalshift.co.uk/> (date accessed: 14.03.2024). – Text : electronic.

147. Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues / D. D'Amato, N. Droste, B. Allen [et al.] // Journal of Cleaner Production. – 2017. – Vol. 168. – P. 716-734. – DOI:10.1016/j.jclepro.2017.09.053.

148. GRI Standards. GRI 306: Waste 2020. – URL: <https://www.globalreporting.org/standards/media/2573/gri-306-waste-2020.pdf> (date accessed: 14.11.2023). – Text : electronic.

149. James, R. W. Total Energy Consumption: A Comparative Case Study of Two Alternative North Sea Cuttings Handling Processes Associated with the Use of Oil Based Drilling Fluids. / R. W. James, B. Rørvik // SPE International

Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production. – Kuala Lumpur, Malaysia : SPE, 2002. – DOI:10.2118/73919-MS.

150. Jawahir, I. S. Technological Elements of Circular Economy and the Principles of 6R-Based Closed-loop Material Flow in Sustainable Manufacturing / I. S. Jawahir, R. Bradley // *Procedia CIRP*. – 2016. – Vol. 40. – P. 103-108. – DOI:10.1016/j.procir.2016.01.067.

151. Kazamias, G. Drill cuttings waste management from oil and gas exploitation industries through end-of-waste criteria in the framework of circular economy strategy / G. Kazamias, A. A. Zorpas // *Journal of Cleaner Production*. – 2021. – Vol. 322. – P. 129098. – DOI:10.1016/j.jclepro.2021.129098.

152. Kirkness, A. Treatment of Nonaqueous-Fluid-Contaminated Drill Cuttings—Raising Environmental and Safety Standards / A. Kirkness, D. Garrick // *IADC/SPE Drilling Conference*. – Orlando, Florida, USA : SPE, 2008. – DOI:10.2118/112727-MS.

153. Korhonen, J. Circular Economy: The Concept and its Limitations / J. Korhonen, A. Honkasalo, J. Seppälä // *Ecological Economics*. – 2018. – Vol. 143. – P. 37-46. – DOI:10.1016/j.ecolecon.2017.06.041.

154. Kun, H. Circular Economy Strategies of oil and Gas exploitation in China / H. Kun, Z. Jian // *Energy Procedia*. – 2011. – Vol. 5. – P. 2189-2194. – DOI:10.1016/j.egypro.2011.03.378.

155. **Lebedev, A.** Waste Management during the Production Drilling Stage in the Oil and Gas Sector: A Feasibility Study / **A. Lebedev**, A. Cherepovitsyn // *Resources*. – 2024. – Vol. 13. – № 2. – P. 26. – DOI:10.3390/resources13020026.

156. Lehtimäki, H. Strategic Decisions Related to Circular Business Model in a Forerunner Company: Challenges Due to Path Dependency and Lock-In / H. Lehtimäki, V.-V. Piispanen, K. Henttonen // *South Asian Journal of Business and Management Cases*. – 2020. – Vol. 9. – № 3. – P. 402-412. – DOI:10.1177/2277977920957957.

157. Leonard, S. A. Stabilization/solidification of petroleum drill cuttings: Leaching studies / S. A. Leonard, J. A. Stegemann // *Journal of Hazardous*

Materials. – 2010. – Vol. 174. – № 1-3. – P. 484-491. – DOI:10.1016/j.jhazmat.2009.09.078.

158. Ling, L. H. Environmentally Sustainable and Cost Effective Offshore Disposal of Drilling Wastes: A Review of Current Practice in Malaysia / L. H. Ling, K. H. Lye, L. S. Shern // SPE Asia Pacific Health, Safety, Security, Environment and Social Responsibility Conference. – Kuala Lumpur, Malaysia : SPE, 2017. – DOI:10.2118/185191-MS.

159. Lovins, A. B. A Road Map for Natural Capitalism. – URL: <https://hbr.org/2007/07/a-road-map-for-natural-capitalism> (date accessed: 05.12.2022). – Text : electronic.

160. Luomi, M. The Circular Carbon Economy Index 2021 – Methodology / M. Luomi, F. Yilmaz, T. Alshehri. – Riyadh, Saudi Arabia, 2021.

161. Lyle, J. T. Regenerative Design for Sustainable Development / J. T. Lyle. – California : John Wiley & Sons, 1996. – 352 p.

162. Malyshkov, G. B. Legislative regulation of waste management system development in Russian federation / G. B. Malyshkov, L. A. Nikolaichuk, L. S. Sinkov // International Journal of Engineering Research and Technology. – 2019. – Vol. 12. – № 5. – P. 631-635.

163. Mapping the Oil and Gas Industry to the Sustainable Development Goals: An Atlas. – URL: <https://www.ipieca.org/resources/mapping-the-oil-and-gas-industry-to-the-sustainable-development-goals-an-atlas> (date accessed: 15.01.2024). – Text : electronic.

164. Marine Water Quality Assessment Of Synthetic-Based Drilling Waste Discharges / R. Sadiq, T. Husain, B. Veitch, N. Bose // International Journal of Environmental Studies. – 2003. – Vol. 60. – № 4. – P. 313-323. – DOI:10.1080/00207230304729.

165. Marinina, O. Circular Economy Models in Industry: Developing a Conceptual Framework / O. Marinina, N. Kirsanova, M. Nevskaya // Energies. – 2022. – Vol. 15. – № 24. – P. 9376. – DOI:10.3390/en15249376.

166. Minimum economic field size estimation and its role in exploration

project risks assessment: evaluation of different methodologies / I. Yemez, H. Stigliano, V. Singh, E. Izaguirre // *First Break*. – 2016. – Vol. 34. – № 4. – DOI:10.3997/1365-2397.2016004.

167. Mojarad, A. A. S. Challenges for sustainable development strategies in oil and gas industries / A. A. S. Mojarad, V. Atashbari, A. Tantau // *Proceedings of the International Conference on Business Excellence*. – 2018. – Vol. 12. – № 1. – P. 626-638. – DOI:10.2478/picbe-2018-0056.

168. Nilsen, H. R. The hierarchy of resource use for a sustainable circular economy / H. R. Nilsen // *International Journal of Social Economics*. – 2019. – Vol. 47. – № 1. – P. 27-40. – DOI:10.1108/IJSE-02-2019-0103.

169. Off-line-pyrolysis–gas chromatography–mass spectrometry analyses of drilling fluids and drill cuttings – Identification of potential environmental marker substances / N. A. al Sandouk-Lincke, J. Schwarzbauer, V. Antic [et al.] // *Organic Geochemistry*. – 2015. – Vol. 88. – P. 17-28. – DOI:10.1016/j.orggeochem.2015.08.001.

170. Offshore Disposal of Oil-Based Drilling-Fluid Wastes An Environmentally Acceptable Solution / E. Malachosky, B. E. Shannon, J. E. Jackson, W. G. Aubert // *SPE Drilling & Completion*. – 1993. – Vol. 8. – № 04. – P. 283-287. – DOI:10.2118/23373-PA.

171. OGP Exploration and Production Waste Management Guidelines / E. Garland, J. M. Kerr, K. J. Mundy [et al.] // *SPE International Conference on Health, Safety, and Environment in Oil and Gas Exploration and Production*. – Nice, France : SPE, 2008. – DOI:10.2118/112861-MS.

172. Oil-Based Mud Waste as a Filler Material in LDPE Composites: Evaluation of Mechanical Properties / S. Siddique, A. Novak, E. Guliyev [et al.] // *Polymers*. – 2022. – Vol. 14. – № 7. – P. 1455. – DOI:10.3390/polym14071455.

173. Orazalin, N. Economic, environmental, and social performance indicators of sustainability reporting: Evidence from the Russian oil and gas industry / N. Orazalin, M. Mahmood // *Energy Policy*. – 2018. – Vol. 121. – P. 70-79. – DOI:10.1016/j.enpol.2018.06.015.



174. OSPAR. Discharges, spills and emissions from offshore oil and gas installations in 2009. Including assessment of data reported in 2008 and 2009. – URL: <https://oap.ospar.org/en/versions/1884-en-1-0-0-2009-2019/> (date accessed: 23.04.2023). – Text : electronic.

175. Pauli, G. A. The blue economy : 10 years, 100 innovations, 100 million jobs : Report to the Club of Rome / G. A. Pauli. – Taos, New Mexico, USA : Paradigm Publications, 2010. – 308 p.

176. Product design and business model strategies for a circular economy / N. M. P. Bocken, I. de Pauw, C. Bakker, B. van der Grinten // Journal of Industrial and Production Engineering. – 2016. – Vol. 33. – № 5. – P. 308-320. – DOI:10.1080/21681015.2016.1172124.

177. Promoting the resource utilization of oil-based drilling cuttings pyrolysis residues in cement products / W. Liu, B. Wang, Y. Du [et al.] // Construction and Building Materials. – 2023. – Vol. 373. – P. 130886. – DOI:10.1016/j.conbuildmat.2023.130886.

178. Reuse of drill cuttings in hot mix asphalt mixture: A study on the environmental and structure performance / M. Khodadadi, L. Moradi, B. Dabir [et al.] // Construction and Building Materials. – 2020. – Vol. 256. – P. 119453. – DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.119453.

179. Rosa, A. P. Bioremediation process on Brazil shoreline / A. P. Rosa, J. A. Triguís // Environmental Science and Pollution Research - International. – 2007. – Vol. 14. – № 7. – P. 470-476. – DOI:10.1065/espr2007.02.377.

180. Saasen, A. Environmental Priorities of Re-Injection and Land Based Handling of Drilled Cuttings and Affiliated Fluids / A. Saasen, J. E. Paulsen, K. Holthe // SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production. – Stavanger, Norway : SPE, 2000. – DOI:10.2118/61262-MS.

181. Singh, R. Solidification and stabilization of hazardous wastes using geopolymers as sustainable binders / R. Singh, S. Budarayavalasa // Journal of Material Cycles and Waste Management. – 2021. – Vol. 23. – № 5. – P. 1699-

1725. – DOI:10.1007/s10163-021-01245-0.

182. Srinivas, H. Understanding the 3R Concept. – URL: <http://www.gdrc.org/uem/waste/3r-understanding.html> (date accessed: 06.12.2022). – Text : electronic.

183. Stahel, W. R. The product life factor. an inquiry into the nature of sustainable societies: the role of the private sector / W. R. Stahel // *An Inquiry Into the Nature of Sustainable Societies: The Role of the Private Sector* / ed. S. G. Orr. – Geneva : Mitchell Prize Papers, HARC, 1982. – P. 72-96.

184. Statistical Review of World Energy. – URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (date accessed: 14.12.2023). – Text : electronic.

185. Study on Barium Transformation and Environmental Risk during Oil-Based Drill Cuttings Incineration / X. Huang, X. Peng, W. Guo [et al.] // *Research of Environmental Sciences*. – 2023. – Vol. 36. – № 5. – P. 1006-1019. – DOI:10.13198/j.issn.1001-6929.2023.02.21.

186. Sustainable development goals for people and planet / D. Griggs, M. Stafford-Smith, O. Gaffney [et al.] // *Nature*. – 2013. – Vol. 495. – № 7441. – P. 305-307. – DOI:10.1038/495305a.

187. Sustainable Waste Management Drilling Process in Fuzzy Environment / B. Orazbayev, S. Santeyeva, A. Zhumadillayeva [et al.] // *Sustainability*. – 2019. – Vol. 11. – № 24. – P. 6995. – DOI:10.3390/su11246995.

188. Syas'ko, V. Assessing the State of Structural Foundations in Permafrost Regions by Means of Acoustic Testing / V. Syas'ko, A. Shikhov // *Applied Sciences*. – 2022. – Vol. 12. – № 5. – P. 2364. – DOI:10.3390/app12052364.

189. System of Comprehensive Assessment of Project Risks in the Energy Industry / G. A. Stroykov, N. V. Babyr, I. V. Ilin, R. S. Marchenko // *International Journal of Engineering*. – 2021. – Vol. 34. – № 7. – P. 1778-1784. – DOI:10.5829/ije.2021.34.07a.22.

190. The 5R adaptation framework: Concepts, systems, and learning

scenarios / Q. Tan, X. Zhang, F. C. Pivot [et al.] // Journal of Internet Technology. – 2016. – Vol. 17. – № 5. – P. 971-980. – DOI:10.6138/JIT.2016.17.5.20141119a.

191. The 7 R's Of Recycling | Golden Plains Shire Council. – URL: <https://www.goldenplains.vic.gov.au/resident/waste-management/7-rs-recycling> (date accessed: 06.12.2022). – Text : electronic.

192. The Development and Trial Use of Oil Exploration Drill-Cutting Waste as an Aggregate Replacement in Cold-Mix Asphalt / B. Allen, D. Day, S. Armstrong [et al.] // E&P Environmental and Safety Conference. – Galveston, Texas, U.S.A. : SPE, 2007. – P. 293-298. – DOI:10.2118/106816-MS.

193. The fate of waste drilling fluids from oil and gas industry activities in the exploration and production operations / J. Njuguna, S. Siddique, L. Bakah Kwroffie [et al.] // Waste Management. – 2022. – Vol. 139. – P. 362-380. – DOI:10.1016/j.wasman.2021.12.025.

194. The future of the circular economy and the circular economy of the future / R. Weigend Rodríguez, F. Pomponi, K. Webster, B. D'Amico // Built Environment Project and Asset Management. – 2020. – Vol. 10. – № 4. – P. 529-546. – DOI:10.1108/BEPAM-07-2019-0063.

195. The Reutilization of Drilling Fluid Wastes as Material for the Manufacture of Bricks / T. L. Chen, S. Lin, G. V. Chilingar, Z. S. Lin // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. – 2010. – Vol. 32. – № 15. – P. 1399-1407. – DOI:10.1080/15567030903077733.

196. Towards the circular economy. – URL: <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an> (date accessed: 04.12.2022). – Text : electronic.

197. Treatment of drilling fluid waste during oil and gas drilling: a review / J. Yang, J. Sun, R. Wang, Y. Qu // Environmental Science and Pollution Research. – 2023. – Vol. 30. – № 8. – P. 19662-19682. – DOI:10.1007/s11356-022-25114-x.

198. Tsiglianu, P. Conceptual Management Framework for Oil and Gas Engineering Project Implementation / P. Tsiglianu, N. Romasheva, A. Nenko //

Resources. – 2023. – Vol. 12. – № 6. – P. 64. – DOI:10.3390/resources12060064.

199. Ukeles, S. D. *Drilling Fluids* / S. D. Ukeles, B. Grinbaum // Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. – Hoboken, NJ, USA : John Wiley & Sons, Inc., 2004. – DOI:10.1002/0471238961.0418091203120118.a01.pub2.

200. Veil, J. U.S. Produced Water Volumes and Management Practices in 2012. – URL: [https://eincprut.dentalqoretamp.com/wp-content/uploads/2019/12/prod\\_water\\_volume\\_2012.pdf](https://eincprut.dentalqoretamp.com/wp-content/uploads/2019/12/prod_water_volume_2012.pdf) (date accessed: 15.03.2024). – Text : electronic.

201. Wasiuddin, N. M. Use of Offshore Drilling Waste in Hot Mix Asphalt (HMA) Concrete as Aggregate Replacement / N. M. Wasiuddin, N. Ali, M. R. Islam // Engineering Technology Conference on Energy, Parts A and B. – Houston, Texas, USA : ASMEDC, 2002. – Vol. 1. – P. 451-458. – DOI:10.1115/ETCE2002/EE-29168.

202. Waste Management and Disposal of Cuttings and Drilling Fluid Waste Resulting from the Drilling and Completion of Wells to Produce Orinoco Very Heavy Oil in Eastern Venezuela / J. M. Getliff, M. P. Silverstone, A. K. Sharman [et al.] // All Days. – SPE, 1998. – DOI:10.2118/46600-MS.

203. Waste management in the mining industry of metals ores, coal, oil and natural gas - A review / S. Kalisz, K. Kibort, J. Mioduska [et al.] // Journal of Environmental Management. – 2022. – Vol. 304. – P. 114239. – DOI:10.1016/j.jenvman.2021.114239.

204. Webster, K. *The Circular Economy: A Wealth of Flows* / K. Webster. – 2nd editio. – Cowes, UK : Ellen MacArthur Foundation Publishing, 2017. – 202 p.

205. Wojtanowicz, A. K. *Oilfield Waste Disposal Control* / A. K. Wojtanowicz // Environmental Technology in the Oil Industry. – Cham : Springer International Publishing, 2016. – P. 167-198. – DOI:10.1007/978-3-319-24334-4\_5.

206. World population by year. – URL: <https://www.worldometers.info/world-population/world-population-by-year/> (date

accessed: 10.01.2024). – Text : electronic.

207. Xing, S. Disposal technology of waste oil drilling cuttings in drilling engineering / S. Xing, J. Wang, L. Feng // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – Vol. 208. – P. 012093. – DOI:10.1088/1755-1315/208/1/012093.

208. Zhang, X. Thermal Desorption Process Simulation and Effect Prediction of Oil-Based Cuttings / X. Zhang, K. Li, A. Yao // ACS Omega. – 2022. – Vol. 7. – № 25. – P. 21675-21683. – DOI:10.1021/acsomega.2c01597.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Исходные данные для моделирования

Таблица А.1 – Данные для расчета модели

Параметр	Ед. изм.	Источник	Неопределенность*
Цена реализации (с НДС)			
– нефти на внутреннем рынке	руб / т	[98]	Низкая
– кирпича	тыс руб / т	[96]	
– грунта			
– цемента			
Транспортные расходы	руб / т	[93]	
Налоги и тарифы			
– налог на добавленную стоимость	%	[43]	Отсутствует
– налог на добычу полезных ископаемых	руб / т	[46]	Средняя
– налог на имущество	%	[47]	Отсутствует
– налог на прибыль		[45]	
– страховые взносы		[48]	
– тариф на обязательное страхование от несчастных случаев на производстве и профзаболеваний		[101]	
Бурение скважин			
– глубина добывающей скважины	м	[26, 49, 99]	Средняя
– глубина нагнетательной скважины			
– стоимость бурения скважины	тыс руб / м		Высокая
Стоимость утилизации шлама сервисной компанией	тыс руб / т	[89]	Средняя

\**Неопределенность*: «высокая» – данные взяты по аналогичным проектам прошлых периодов, либо данные, собранные из статей и иных источников; «средняя» – данные, рассчитанные по формулам; «низкая» – данные, средние по рынку; «отсутствует» – данные, взятые из правительственных документов.

Продолжение таблицы А.1

Параметр	Ед. изм.	Источник	Неопределенность
Промысловое обустройство			
– оборудование для нефтедобычи и закачки воды	тыс руб / скв	[4, 24, 85, 87, 110]	Высокая
– сбор и транспорт нефти	тыс руб / доб скв		
– комплексная автоматизация, электроснабжение и связь			
– промышленное водоснабжение			
– базы производственного обслуживания и обеспечения			
– внутрипромысловые дороги	тыс руб / скв		
– система поддержания пластового давления	тыс руб / нагн скв		
– пункт сбора и первичной подготовки нефти	млн руб		
– установки для выработки электроэнергии и тепла			
– внепромысловые дороги (зимники)	млн руб / км		
– установка для переработки бурового шлама с получением материала для отсыпки дорог и площадок	млн руб	[84]	Высокая
Строительство завода по производству стройматериалов		[83]	
Эксплуатационные затраты:			
– обслуживание добывающих скважин	тыс руб / доб скв	[4, 24, 85, 87, 110]	Высокая
– обслуживание нагнетательных скважин	тыс руб / нагн скв		
– расходы на оплату труда	тыс руб / скв		
– сбор и транспорт нефти и газа	руб / т жидк		
– технологическая подготовка нефти			
– расходы на ремонт добывающей скважины	тыс руб / доб скв		
– расходы на ремонт нагнетательной скважины	тыс руб / нагн скв		
– геолого-технические мероприятия	тыс руб / доб скв		
– стоимость воды для закачки в пласт	руб / м <sup>3</sup>		
– стоимость электроэнергии	руб / квт ч		
– плата за землю	тыс руб / скв	[28]	Высокая
Плата за негативное воздействие на окружающую среду			
– за III категорию опасности	руб / т шлама	[68]	Отсутствует
– за IV категорию опасности			
– коэффициент 1	д.ед.		
– коэффициент 2			
– коэффициент 3			

Продолжение таблицы А.1

Утилизация шлама путем реультивации земель	тыс руб / т шлама	[76]	Средняя
Транспорт буровых отходов до места накопления			
переработка шлама на месторождении для отсыпки дорог и кустовых площадок			
цена дизельного топлива	руб / л	[104]	Низкая
Стоимость смены работы грузового автомобиля	тыс руб /сут	[7]	Средняя
Транспорт буровых отходов автотранспортом до производственных объектов по строительству стройматериалов	тыс руб / т		
Переработка шлама на заводе с получением			
– кирпича	тыс руб / т	[73, 95]	Высокая
– грунта			
– цемента			
Норма амортизационных отчислений			
– на реновацию скважин	%	[67]	Отсутствует
– прочих основных фондов			
– на обновление установки по переработке шлама			
– на поддержание завода по переработке шлама			
Удельный расход электроэнергии			
– при добыче нефти УЭЦН	квт ч /т жидк	[109]	Низкая
– на закачку воды	квт.ч./м3		
Среднемесячная заработная плата одного рабочего	тыс руб	[100]	Низкая
Отсыпка кустовой площадки	тыс руб / скв	[28]	Средняя
Степень переработки шлама в строительные материалы	%	[73, 95]	Высокая



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Дисконтированный доход накопленным итогом по каждой группе месторождений

Таблица Б.1 – Дисконтированный доход накопленным итогом по каждой группе при  $t_j = 0$

Группа	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-1 776,6	-1 032,8	-394,4	153,5	623,7	1 027,3	1 057,9	1 085,3	1 109,8	1 131,7	1 151,2	1 165,7	1 178,1
2	-1 604,8	-1 354,4	-1 138,1	-951,5	-790,3	-651,2	-643,5	-635,8	-628,2	-620,8	-613,8	-608,7	-604,4
3	-1 657,2	-1 199,2	-805,4	-466,7	-175,6	33,8	52,3	69,4	85,0	99,2	110,5	118,6	125,6
4	-1 634,7	-1 191,2	-809,8	-481,9	-199,9	42,7	59,9	75,9	90,5	103,9	116,1	124,8	132,2
5	-1 614,9	-1 254,1	-943,5	-676,1	-445,8	-276,7	-264,9	-253,6	-243,0	-233,0	-224,5	-218,4	-213,1
6	-1 543,3	-1 238,3	-975,5	-749,1	-554,0	-385,9	-378,1	-370,4	-362,8	-355,4	-348,4	-343,4	-339,1
7	-1 677,5	-1 076,9	-561,1	-118,1	262,3	589,0	613,5	635,6	655,6	673,5	689,6	701,4	711,5
8	-1 525,2	-1 368,4	-1 232,1	-1 113,8	-1 011,2	-922,3	-919,5	-916,0	-912,1	-907,9	-903,7	-900,5	-897,8

Таблица Б.2 – Дисконтированный доход накопленным итогом по каждой группе при  $t_j = 3$

Группа	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	-1 448,4	-1 147,1	-887,6	-762,4	-389,7	-69,6	4,2	164,3	302,3	290,6	344,5	389,5	412,8	428,5	441,6	446,3
2	-1 290,4	-1 175,9	-1 076,2	-1 246,0	-1 085,6	-947,0	-883,3	-827,6	-779,0	-772,3	-765,9	-760,5	-755,7	-753,1	-751,3	-749,7
3	-1 348,0	-1 127,9	-938,0	-908,8	-669,0	-462,7	-478,1	-376,4	-288,4	-252,6	-221,2	-211,6	-203,3	-199,6	-196,9	-194,5
4	-1 314,5	-1 130,5	-971,5	-968,0	-756,7	-574,8	-605,8	-498,7	-406,1	-364,5	-328,1	-297,4	-289,4	-285,0	-281,7	-278,7
5	-1 314,5	-1 106,9	-927,6	-900,5	-705,4	-537,4	-581,6	-514,8	-456,6	-431,7	-409,6	-403,2	-397,5	-395,5	-394,0	-392,7
6	-1 247,5	-1 123,9	-1 016,5	-1 005,8	-871,6	-755,8	-780,0	-717,0	-662,1	-689,5	-660,7	-636,4	-626,7	-620,2	-614,7	-613,4
7	-1 368,0	-1 124,2	-914,0	-798,7	-547,5	-331,5	-304,1	-203,7	-116,9	-122,0	-70,1	-26,6	-35,7	-12,7	6,8	15,1
8	-1 235,5	-1 131,5	-1 040,6	-1 079,8	-992,4	-916,4	-997,4	-974,1	-953,2	-943,1	-933,7	-925,8	-923,3	-922,8	-922,3	-921,9

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

## Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2024616208

**Программа для поиска минимально рентабельного  
расстояния для строительства завода по переработке  
бурового шлама, образующегося при бурении нефтяных  
и газовых скважин**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования «Санкт-  
Петербургский горный университет императрицы  
Екатерины II» (RU)*

Авторы: *Лебедев Андрей Павлович (RU), Григорьев Егор  
Витальевич (RU), Череповицын Алексей Евгеньевич (RU)*

Заявка № 2024615101

Дата поступления 14 марта 2024 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 18 марта 2024 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г****Акт о внедрении результатов диссертационного исследования**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
**Научно-исследовательский институт Центр экологической  
промышленной политики (ФГАУ «НИИ «ЦЭПП»)**  
141006, Московская область, г. Мытищи, Олимпийский проспект, д. 42 Тел.: +7 (495) 583-65-83, +7 (495) 240-00-00, e-mail:  
info@eipc.center

**Утверждаю**  
Директор ФГАУ «Научно-  
исследовательский институт «Центр  
экологической промышленной политики»  
(ФГАУ «НИИ «ЦЭПП»)

  
Д.О. Скобелев  
«17» апреля 2024 г.



**АКТ**  
о внедрении/использовании результатов  
кандидатской диссертации  
Лебедева Андрея Павловича  
по научной специальности 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика

Научно-технический совет ФГАУ «НИИ «ЦЭПП» (НТС) в составе:

Председатель – Скобелев Дмитрий Олегович, д.э.н.

Члены комиссии: Гусева Т.В., д.т.н., профессор, заместитель председателя НТС; Пятница А.А., ученый секретарь НТС; Волосатова А.А., к.т.н.; Аверочкин Е.М., к.т.н.; Малявин А.С., к.т.н.; Попов А.Ю., к.х.н.; Санжаровский А.Ю., к.т.н. составили настоящий акт о том, что результаты диссертации Лебедева Андрея Павловича на тему «Экономическая эффективность переработки бурового шлама в нефтегазовой отрасли», представленной на соискание ученой степени кандидата наук по научной специальности 5.2.3 Региональная и отраслевая экономика, использованы в 2024 году в научной деятельности «Федерального государственного автономного учреждения «Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики» (Протокол заседания НТС ФГАУ «НИИ «ЦЭПП» № 52 от 09.10.2023).

Внедрены/использованы следующие результаты:

- концептуальные подходы циркулярной экономики позволяющие обосновать диверсификацию бизнеса нефтегазовой компании путем переработки буровых отходов, образованных в результате бурения нефтяных и газовых скважин, в продукты, имеющие экономическую ценность;
- методический подход выбора наиболее рентабельного метода утилизации буровых отходов при освоении месторождения углеводородного сырья на этапе эксплуатационного бурения, включающий сценарное моделирование и оценку экономических показателей;



– экономико-математическая модель оценки экономической эффективности строительства перерабатывающего производства в нефтегазодобывающем регионе с слаборазвитой транспортной инфраструктурой при освоении нескольких месторождений углеводородного сырья в разные временные периоды с учетом потребности внутреннего рынка.

Использование указанных результатов позволяет:

– повысить эффективность проектов по освоению месторождений углеводородного сырья на этапе эксплуатационного бурения путем использования отходов производства в качестве ресурсов для изготовления строительных материалов;

– обеспечить рост конкурентоспособности и следовать трендам устойчивого развития в российской нефтегазовой отрасли за счет расширения жизненного цикла отходов бурения, а также достичь положительных эффектов, таких как создание новых рабочих мест, сокращение дефицита на рынке строительных материалов.

Результаты внедрялись при выполнении научно-исследовательской работы по теме «Научное обоснование развития системы устойчивого (в том числе зеленого) финансирования модернизации промышленности в Российской Федерации», № государственной регистрации 1022052400014-5-1.6.19

**Председатель комиссии**

Директор

Д.О. Скобелев

**Члены комиссии:**

Заместитель директора

Т.В. Гусева

Начальник юридического  
отдела

А.А. Пятница

Заместитель директора

А.А. Волосатова

Главный научный сотрудник  
научно-консультационного отдела

Е.М. Аверочкин

Заместитель начальника отдела  
химической и нефтехимической  
промышленности

А.С. Малявин

Старший научный сотрудник отдела  
химической и нефтехимической  
промышленности

А.Ю. Попов

Научный сотрудник отдела  
методологии ресурсосбережения

А.Ю. Санжаровский