

*На правах рукописи*

**Лебедев Андрей Павлович**



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

*Специальность 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика  
(экономика промышленности)*

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата экономических наук**

**Санкт-Петербург – 2024**

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

**Научный руководитель:**

доктор экономических наук, профессор

*Череповицын Алексей Евгеньевич*

**Официальные оппоненты:**

*Скобелев Дмитрий Олегович*

доктор экономических наук, профессор, федеральное государственное автономное учреждение «Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики», директор;

*Трейман Марина Геннадьевна*

доктор экономических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный экономический университет», кафедра менеджмента и инноваций, профессор.

**Ведущая организация** – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург.

Защита диссертации состоится **19 сентября 2024 г. в 11:00** на заседании диссертационного совета ГУ.1 Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д. 2, **аудитория № 1171а.**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II и на сайте [www.spmi.ru](http://www.spmi.ru).  
Автореферат разослан 19 июля 2024 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
диссертационного совета



ВАСИЛЬЕВ  
Юрий Николаевич

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **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. Khdary, 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. Коньк, 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 их

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 внедрением 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 работы** 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.

**Идея исследования.** 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.

Поставленная в диссертационной работе цель достигается посредством решения нижеуказанных **задач**:

1. Проанализировать методы утилизации отходов бурения, основанные на принципах циркулярной экономики, вы-

явить 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.

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

**Объект исследования** – 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 ос-

новые 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.

**На защиту выносятся следующие положения:**

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 сценарного 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 работы:**

1. Определены методы утилизации отходов бурения согласно принципам циркулярной экономики, уточнены и клас-

сифицированы 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 нефтегазодобывающей 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.).

**Апробация результатов.** Основные положения и результаты работы докладывались на следующих семинарах и конференциях: VIII Международной конференции «Менеджмент, экономика, этика, техника – МЕЕТ 2022» (г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский горный университет, 06-07 октября 2022 г.); XIX Международном форуме-конкурсе студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский горный университет, 22-26 мая 2023 г.); IX Международной конференции «Менеджмент, экономика, этика, техника – МЕЕТ 2023» (г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский горный университет, 05-06 октября 2023 г.); VII Международной научно-практической конференции «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 печатных работах, 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 (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура работы.** 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.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и основные задачи диссертационной работы, раскрыты пункты научной новизны, теоретическая

и практическая значимость исследования и изложены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** исследованы аспекты экономических и технологических проблем утилизации отходов бурения в нефтегазовом секторе. Основное внимание уделено теории становления циркулярной экономики в нефтегазовой отрасли. Изучены механизмы управления отходами бурения, в частности, концепция иерархии отходов. Выделены преимущества, недостатки и ограничения методов утилизации отходов бурения. Раскрыты экономические и экологические предпосылки утилизации буровых отходов в контексте продолжения их жизненного цикла.

**Во второй главе** представлен анализ опыта и перспектив повышения эффективности управления отходами бурения. Проведена оценка текущего состояния рынка бурения России. Оценен уровень развития технологий по утилизации бурового шлама и их применение на производстве на примере отечественных и зарубежных компаний. Проанализированы основные документы законодательства России в сфере деятельности по управлению отходами бурения. Выявлены основные показатели, влияющие на величину экологических платежей при утилизации отходов бурения.

**В третьей главе** представлены методические и практические подходы реализации программ утилизации отходов бурения в нефтегазовой отрасли на примере Ханты-Мансийского автономного округа. Разработана модель оценки и выбора альтернатив по утилизации отходов бурения и выделения групп месторождений для совместной переработки отходов в строительные материалы в рамках нефтегазодобывающего региона. Проведена апробация предложенной модели на примере освоения месторождений углеводородного сырья и строительства перерабатывающего завода на территории Ханты-Мансийского автономного округа.

**В заключении** отражены результаты проведенного диссертационного исследования и сформулированы основные рекомендации для нефтегазовых компаний по управлению отходами бурения.

Основные результаты отражены в следующих защищаемых положениях:

**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.**

Глобальная экономика и общество в течение последних лет сталкиваются с серьезной проблемой устойчивого развития, которая предъявляет новые требования к существующим бизнес-моделям. Учитывая рост экономики, связанный с увеличением населения и соответствующим повышением 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 ряда проблем обеспечения устойчивости современного мирового хозяйства. Концепция данной экономики уходит от текущей линейной модели и создает замкнутые циклы, применяя оптимизацию производственного процесса, сокращение использования природных ресурсов, многократное или совместное использование продуктов и переработку генерируемых отходов. Около 75% мирового производства энергии основано на невозобновляемом виде ископаемого топлива, которое требует больших ресурсов для 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. Обращая внимание на неизбежный рост населения, влекущего за собой рост экономики, наращивание потребляемой энергии и на невозобновляемость природных ресурсов циркулярная экономика призвана быть решением возможных экономических и экологических кризисов.

В идеализированной системе, изображенной на рисунке 1, 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.

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.



Рисунок 1 – Концепция циркулярной экономики в рамках устойчивого развития

Устойчивому развитию нефтегазового сектора сопутствует множество проблем, как экологических, так и технологических, решить которые возможно благодаря соблюдению принципов экономики замкнутого цикла. Одной из важных и актуальных проблем является интенсивная генерация отходов бурения, утилизация которых 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. Кроме того, при маломасштабном бурении процессы переработки шлама также являются экономически неэффективными. Поэтому, зачастую используют самые простые и низкзатратные способы утилизации отходов бурения, такие как захоронение в амбарах и полигонах. 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 (рис. 2).

На настоящее время, необходимо понимать, что в силу растущей нагрузки на окружающую среду, целесообразнее использовать отходы производства. 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. 1).

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, а также создание из него алюмосиликатного пропанта для проведения гидроразрыва пласта. 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.

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

**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.**

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.

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

Постепенно компании внедряют методы, направленные на увеличение жизненного цикла отходов бурения за счет переработки в строительные материалы и грунты 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 место-

рождений углеводородов необходим всесторонний анализ четырех вариантов разработки месторождений, каждый из которых содержит различные сценарии утилизации отходов бурения (табл. 2). 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 утилизации отходов. В целом, модель выбора и оценки альтернатив по утилизации отходов бурения можно представить в виде схемы на рисунке 3.

В модели используются следующие основные формулы:

1. Профиль 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.

2. Количество добывающих и нагнетательных скважин (2):

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

где  $n_{\text{дс}}$  – количество добывающих скважин, шт;  $k_{\text{рез}}$  – коэффициент резерва скважин, д. ед.;  $k_{\text{экспл}}$  – коэффициент эксплуатации скважин, д. ед.;  $q$  – средний дебит одной скважины, т/сут.;  $n_{\text{нс}}$  – количество нагнетательных скважин, шт;  $\theta$  – отношение числа нагнетательных скважин к добывающим, д. ед.

3. Объем отходов бурения в год (3):

$$W = n_{дс} \cdot M_{одс} + n_{нс} \cdot M_{онс}, \quad (3)$$

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

4. Капитальные затраты (бурение скважин, строительство промысла) (4):

$$K = \begin{cases} [0,001 \cdot (C_{бур} + C_{ут})] \cdot (H_{дс} \cdot n_{дс} + H_{нс} \cdot n_{нс}) + C_{оп}, & \text{Базовый сц.} \\ 0,001 \cdot C_{бур} \cdot (H_{дс} \cdot n_{дс} + H_{нс} \cdot n_{нс}) + C_{оп}, & \text{1-й сц.} \\ 0,001 \cdot C_{бур} \cdot (H_{дс} \cdot n_{дс} + H_{нс} \cdot n_{нс}) + [C_{оп} - (C_{дор} + C_{кп}) \cdot \alpha] + C_{внутр}, & \text{2-й сц.} \\ 0,001 \cdot C_{бур} \cdot (H_{дс} \cdot n_{дс} + H_{нс} \cdot n_{нс}) + C_{оп} + C_{внеш}, & \text{3-й сц.} \end{cases}, \quad (4)$$

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

5. Эксплуатационные затраты проекта (5):

$$\Theta = \begin{cases} Z_{тек} + Z_{тр} + A + Стр + Z_{из} + НДСП, & \text{Базовый сц.} \\ Z_{тек} + Z_{тр} + A + Стр + Z_{из} + НВОС + Z_{амб}, & \text{1-й сц.} \\ Z_{тек} + Z_{тр} + A + Стр + Z_{из} + Z_{внутр}, & \text{2-й сц.} \\ Z_{тек} + Z_{тр} + A + Стр + Z_{из} + Z_{внеш} + Z_{нер}, & \text{3-й сц.} \end{cases}, \quad (5)$$

где  $Z_{тек}$  – текущие затраты, млн. руб.;  $Z_{тр}$  – транспортные затраты углеводородов, млн. руб;  $A$  – амортизация, млн. руб;  $Стр$  – страховые взносы, млн. руб;  $Z_{из}$  – плата за использование

земли, млн. руб; НВОС – плата за негативное воздействие на окружающую среду, млн. руб;  $Z_{амб}$  – затраты на строительство и рекультивацию амбаров, млн. руб;  $Z_{внутр}$  – транспортные затраты на перемещение бурового шлама на месторождении до мест накопления, млн. руб;  $Z_{внеш}$  – транспортные затраты до завода, млн. руб;  $Z_{пер}$  – затраты на переработку шлама в строительные материалы, млн. руб.

6. Плата за негативное воздействие на окружающую среду (6):

$$НВОС = 10^{-3} \cdot C_{ТНВОС} \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot (W^{н.г.} - W^{к.г.}), \quad (6)$$

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

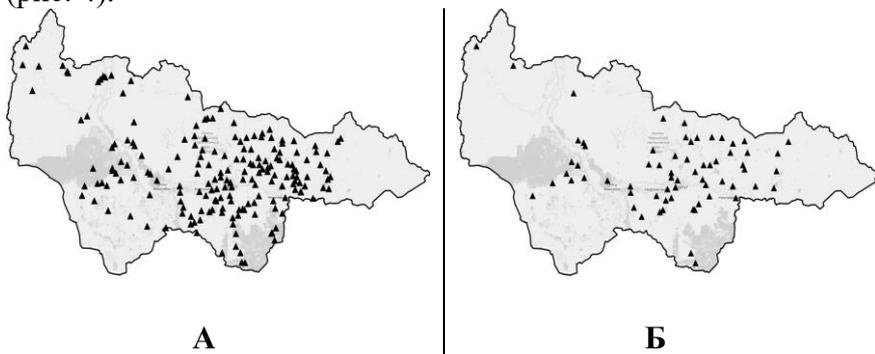
7. Выручка от продажи нефти на внутреннем рынке и от реализации получаемых строительных материалов (7):

$$\text{Выручка} = \begin{cases} 10^{-3} \cdot q_n \cdot \text{Нетбэк, Базовый, 1-й, 2-й сценарии} \\ 10^{-3} \cdot q_n \cdot \text{Нетбэк} + \gamma \cdot W \cdot \sum_i^n w_i \cdot c_i, \text{ 3-й сценарий} \end{cases} \quad (7)$$

где Выручка – выручка от реализации продукции, млн. руб; Нетбэк – цена реализации на внутреннем рынке, руб/т;  $\gamma$  – 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.

Чтобы выделить группу месторождений, в первую очередь, необходимо определить их количество, которое соответствуют условию  $Q_i^{низ} \geq MPЗ$ , где  $MPЗ$  – минимально-рентабельные запасы, т.е. минимальный объем извлекаемых

углеводородов, необходимых для достижения условия  $NPV = 0$  (рис. 4).



А – количество месторождений, равное  $N$ ; Б – количество месторождений, равное  $N_{MP3}$

Рисунок 4 – Определение количества месторождений для расчета

Необходимо определить, 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. 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. 5).

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 суро-

выми климатическими условиями, строительство новой инфраструктуры будет усложняться и расти в стоимости. Соответственно, рассмотрим предположительные районы, в которых есть потенциал к строительству завода по переработке отходов бурения на территории городского поселения.

На рисунке 6 представлено выделение групп месторождений по следующим признакам: транспортная доступность (необходимо наличие дорог вокруг месторождения, способных к передвижению грузовых автомобилей), удаленность (расстояние от городских поселений не должно превышать минимально-рентабельное расстояние), недропользователь (месторождения, входящие в кластер, принадлежат одной компании – недропользователю).

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

а) если месторождения осваиваются одновременно (8):

$$NPV_{\text{экол}}^{\text{общ}} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=0}^{n_j} \frac{(ДП_j^{\text{экол}})_i}{(1+r)^i}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n_j, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (8)$$

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

б) если месторождения начинают осваиваться в разные периоды (9):

$$NPV_{\text{экол}}^{\text{общ}} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=0}^{n_j} \frac{(ДП_j^{\text{экол}})_{i+t_j}}{(1+r)^{i+t_j}}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n_j, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (9)$$

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

**3. Предложенная экономико-математическая модель оценки альтернатив по утилизации отходов бурения поз-**

**воляет 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.**

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). 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. Расчет NPV выполнен 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 8. Капитальные затраты на строительство завода начисляются в нулевой период. Результаты сведем в таблицу 3, графики окупаемости изобразим на рисунке 7.

При заданных условиях 4 группы (1, 3, 4, 7) из 8 показывают положительный интегральный показатель эффективности экологического проекта, несмотря на то что в каждой группе есть некупающиеся проекты. В группах 2, 5, 6 и 8 есть положительные показатели NPV, но в сумме при освоении всех месторождений проект по строительству завода убыточен.

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 оптимальный вариант 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 (производственные мощности завода) будут обновляться в момент начала освоения последующих месторождений. Тогда, по формуле 9 произведем расчеты и представим на рисунках 8 и 9 графики окупаемости кластеров для следующих случаев, когда каждое месторождение запускается: через 3 года от начала предыдущего (рис. 8); через 5 лет от начала предыдущего (рис. 9).

Как видно из рисунка 8, 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 группа с показателем  $NPV_{\text{экол}}^{\text{общ}}$  равным 188,5 млн руб при себестоимости утилизации отходов бурения 2,550 тыс. руб / т.

Благодаря реализации проекта по переработке отходов бурения можно достичь сокращения дефицита доступности строительных материалов в рассматриваемом регионе. Также, 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.

Необходимо отметить также, что промышленная переработка отходов позволяет увеличить ВРП региона, создать новые рабочие места, повысить отчисления НДС.

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, позволяющие применить ускоренную амортизацию, снизить налоги на имущество и прибыль. Строительство завода по переработке отходов в группах 2, 5, 6 и 8 при текущих рыночных условиях неэффективно.

### **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 разработке 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 необ-

ходимо своевременное и экологически оправданное управление буровыми отходами.

2. Существуют биологические и небиологические 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 синергетического 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 покрыть существующий дефицит региона в строительных материалах, 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 энергоресурсы, а также получить материал для проведения гидроразрыва пласта, то отходы бурения можно максимально использовать в собственных нуждах.

## СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Публикации в изданиях из Перечня ВАК:*

1. 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.

2. 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.

*Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:*

1. 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.

2. **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.

*Свидетельство на объект интеллектуальной собственности:*

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024616208 Российская Федерация. Программа для поиска минимально рентабельного расстояния для строительства завода по переработке бурового шлама, образующегося при бурении нефтяных и газовых скважин: № 2024615101: заявл. 14.03.2024; опубл. 18.03.2024 / **А. П. Лебедев**, Е. В. Григорьев, А. Е. Череповицын; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». – EDN IKUOEG.



Рисунок 2 – Классификация методов утилизации отходов бурения

Таблица 1 – 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

Таблица 2 – 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)	+	-
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	+	+

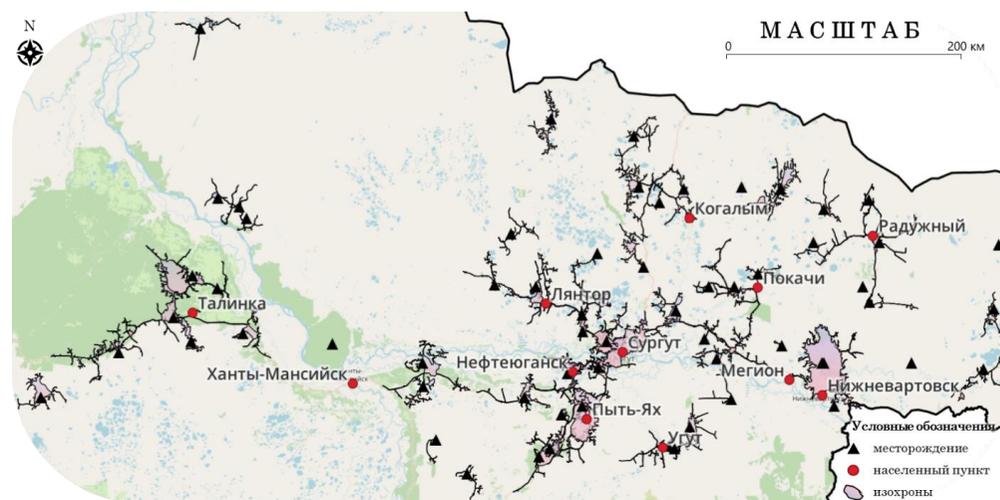


Рисунок 5 – Транспортная доступность месторождений

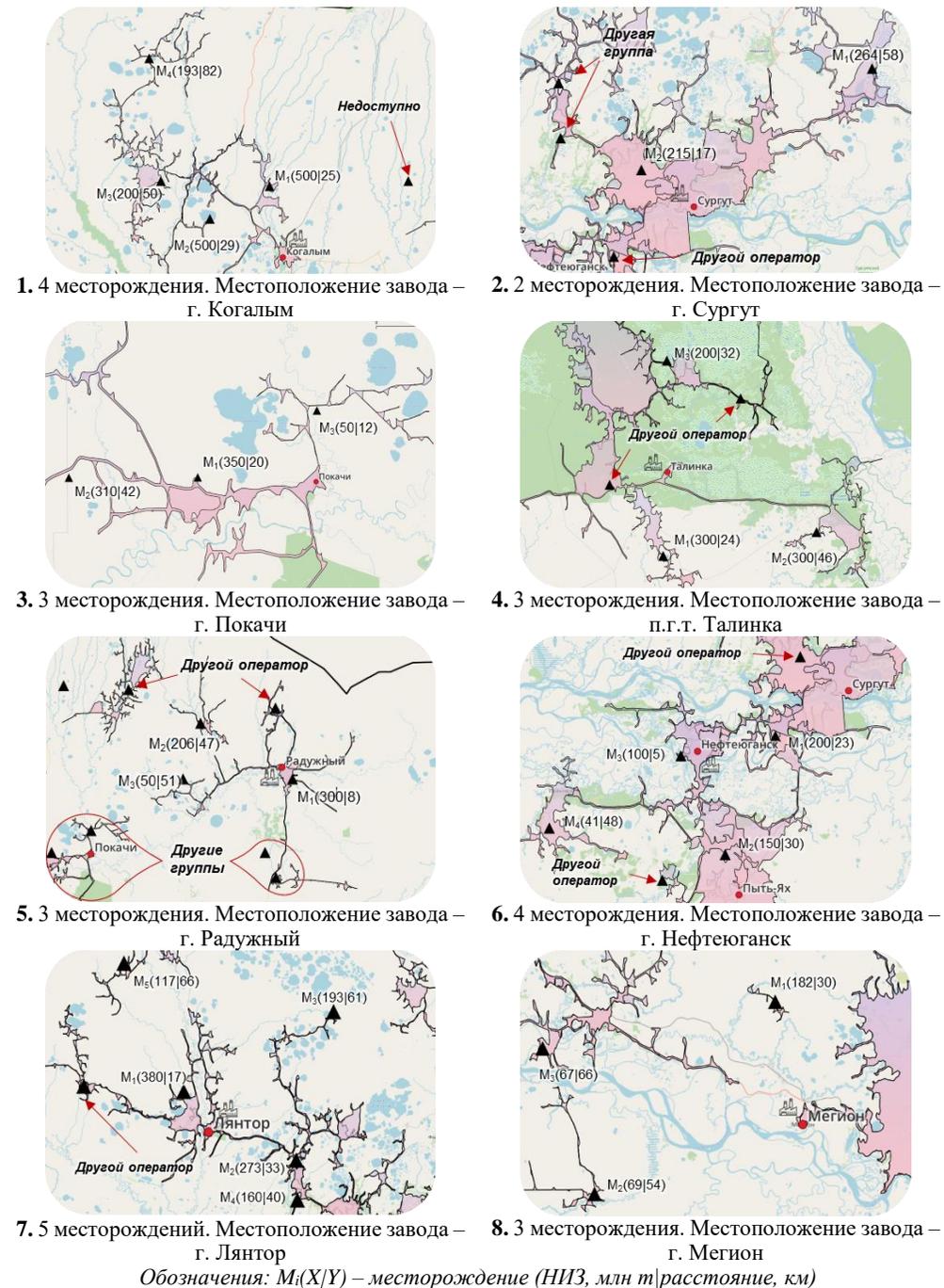
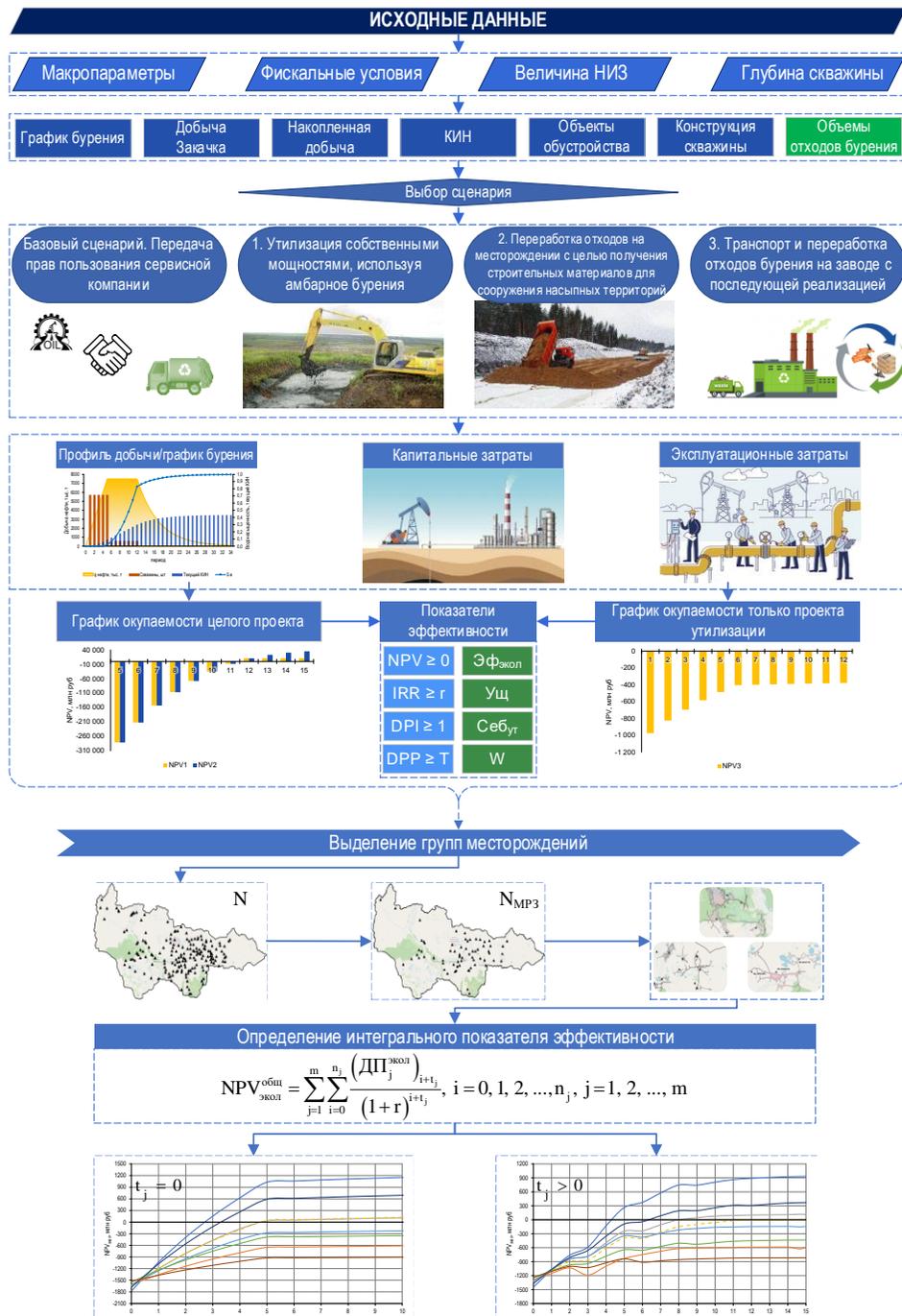


Рисунок 3 – Интерпретация модели выбора и оценки альтернатив по утилизации отходов бурения

Рисунок 6 – Выделение групп месторождений

Таблица 3 – Результаты расчета интегрального NPV по группам при  $t_j = 0$

Группа	Место-рождение	Местополо-жение завода	НИЗ, млн т	Расстоя-ние, км	NPV <sub>1</sub> , млн руб	NPV <sub>2</sub> , млн руб	NPV <sub>3</sub> , млн руб	NPV <sub>общ.экол.</sub> , млн руб
1	1	г. Когалым	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. Талинка	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. Радужный	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	

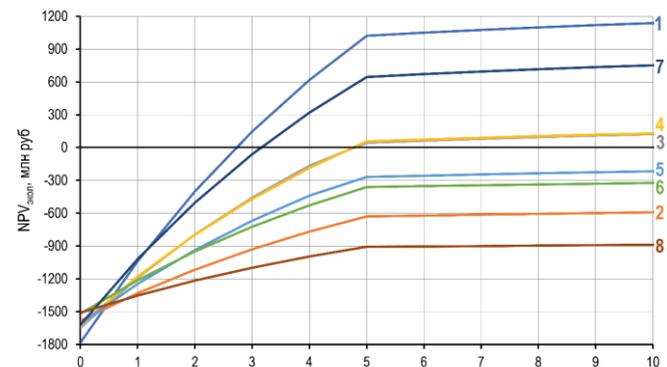


Рисунок 7 – Графики окупаемости групп месторождений при  $t_j = 0$  лет

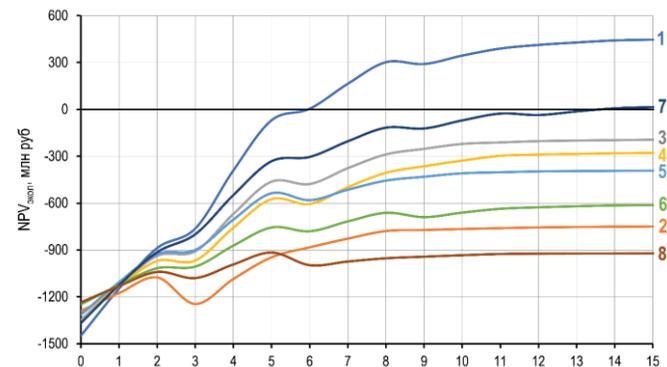


Рисунок 8 – Графики окупаемости групп месторождений при  $t_j = 3$  года

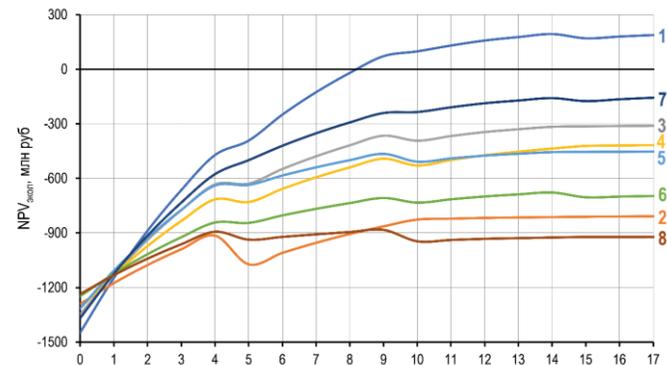


Рисунок 9 – Графики окупаемости групп месторождений при  $t_j = 5$  лет