

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2023, Том 10, № 4 / 2023, Vol. 10, Iss. 4 <https://resources.today/issue-4-2023.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/10ECOR423.pdf>

DOI: 10.15862/10ECOR423 (<https://doi.org/10.15862/10ECOR423>)

5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

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. — URL: <https://resources.today/PDF/10ECOR423.pdf> DOI: 10.15862/10ECOR423

For citation:

Cherepovitsyn, A.E., Lebedev A.P. Economic and environmental efficiency of drill cuttings processing in oil and gas drilling operations. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2023; 10(4): 10ECOR423. Available at: <https://resources.today/PDF/10ECOR423.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/10ECOR423

Череповицын Алексей Евгеньевич

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Санкт-Петербург, Россия
Заведующий кафедрой «Экономики организации и управления»
Доктор экономических наук, профессор
E-mail: alekseicherepov@inbox.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0472-026X>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=472193
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=6506719512>

Лебедев Андрей Павлович

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Санкт-Петербург, Россия
E-mail: andrey.lebedev.997@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3651-3831>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1151980
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=58126197400>

Экономическая и экологическая эффективность переработки бурового шлама при бурении нефтяных и газовых скважин

Аннотация. Текущая ситуация в энергетическом балансе мира складывается из того, что доля углеводородной энергетики продолжает занимать основную нишу. В результате, нефтегазовые компании продолжают наращивать объемы операций по разведке и добыче нефти и газа, тем самым увеличивая долю извлекаемых запасов углеводородов. Параллельно этим процессам мировая энергетика пытается создать баланс в потреблении «грязной» и генерации «чистой» энергии. Иными словами, 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 и предотвращению. 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, осуществляется методами, нацеленными на достижение экономической эффективности и снижения нагрузки на окружающую среду. В данной работе рассматриваются методы утилизации буровых отходов, образующихся в результате операционной деятельности нефтегазовых компаний, в частности, при бурении. Целью работы является определение

возможных экономических и экологических эффектов от применения технологий утилизации буровых отходов. Объект исследования — отходы бурения нефтегазовых компаний. Авторами проанализированы труды отечественных и зарубежных исследователей в области обращения с отходами бурения. На основе литературного обзора описаны причины технологических сложностей утилизации отходов. Выявлены достоинства и недостатки методов утилизации буровых шламов, а также экономические и экологические предпосылки к их эффективной утилизации.

Ключевые слова: управление отходами; буровые растворы; буровые шламы; методы утилизации буровых отходов; нефтегазовые месторождения; шельф; экология; экономический эффект

Введение

Текущая промышленная политика должна учитывать концепцию устойчивого развития (гармонического развития с учетом экономической, экологической и социальной составляющей) [1]. Следовательно, добыча углеводородного сырья должна подчиняться принципам циркулярной экономики, целью которой является создание замкнутых циклов, максимально использующих добытые ресурсы и сводящих к минимуму образование отходов, во избежание разрушения хрупких экосистем [2; 3]. Для открытия месторождений и их дальнейшей разработки необходимо бурение большого количества скважин разного диаметра и траектории, что влечет за собой образование колоссального объема сложно утилизируемых отходов [4]. Как видно из рисунка 1, уровень добычи углеводородов полностью коррелирует с генерацией отходов (рис. 1).

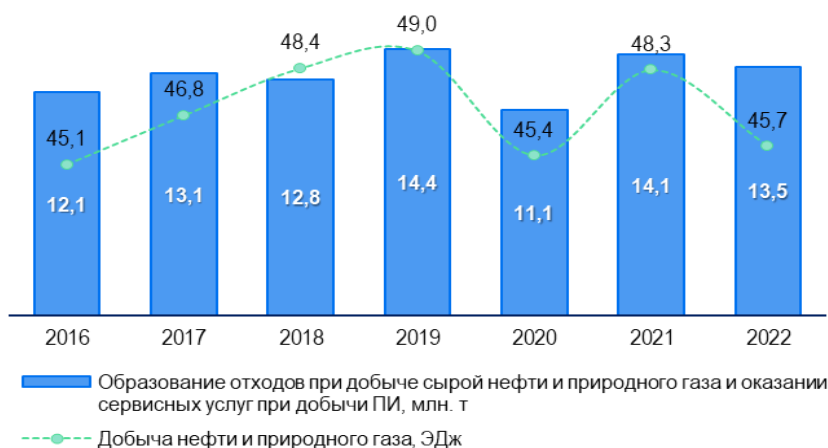


Рисунок 1. Сопоставление динамик добычи углеводородов и образования отходов (составлено авторами на основе данных статистического обзора мировой энергетики¹ и Росстата²)

Тем не менее, отношение количества утилизированных и обезвреженных отходов к их образованию снижается, а отношение размещенных отходов на объектах, принадлежащих предприятию — увеличивается (рис. 2).

¹ Energy Institute Statistical Review of World Energy, 72nd edition, 2023. — URL: <https://www.energyinst.org/statistical-review>.

² Федеральная служба государственной статистики — URL: <https://rosstat.gov.ru/>.



Рисунок 2. Отношение объемов утилизации и объемов размещения к образованию отходов производств и потребления (составлено авторами на основе данных Росстата)

Причин у такой динамики множество, однако, в основном это связано со снижением индекса физического объема природоохранных расходов на обращение с отходами — с увеличением генерации отходов текущие затраты на утилизацию и обезвреживание 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 [5]. 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.

Таким образом, в рамках данного исследования планируется определить экономическую и экологическую эффективность моделей обращения с отходами бурения при разработке месторождений углеводородов. Для этого необходимо решить следующие задачи:

1. Оценить текущую ситуацию в сфере обращения с отходами производств и потребления (выделить именно отходы, образующиеся при бурении скважин).
2. Проанализировать данные по ведущим нефтяным компаниям России. Сравнить их модели управления отходами. Выявить стимулы к переработке отходов бурения.
3. Предложить возможные показатели оценки экономической и экологической эффективности утилизации отходов бурения.

1. Краткий обзор текущей ситуации

Так как основная доля в энергопотреблении приходится на углеводородное сырье¹ и по прогнозам многих аналитиков спрос на нефть и газ будет оставаться на высоком уровне до 2050 года³, бурение скважин будет актуальным. Так, объем проходки в эксплуатационном бурении на 2022 год составил 28,4 млн м, что на 8,8 % выше по сравнению с 2021 годом.⁴

³ Shell Scenarios. Meeting the Goals of The Paris Agreement, 2018. URL: — <https://clck.ru/36sGT7>.

⁴ Савенкова Д., Милькин, В. Российские нефтяники увеличили вводы новых скважин. URL — <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2023/05/04/973682-rossiiskie-neftyaniki-uvlechili-vvodi-novih-skvazhin>.

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, 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.

В России на 2022 год насчитывается более 1 900 месторождений нефти и газа (рис. 3). 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. Следовательно, данные регионы наиболее подвержены накоплению отходов бурения. Многие месторождения еще не разрабатываются, на некоторых проходят поисковые и геологоразведочные работы [6].

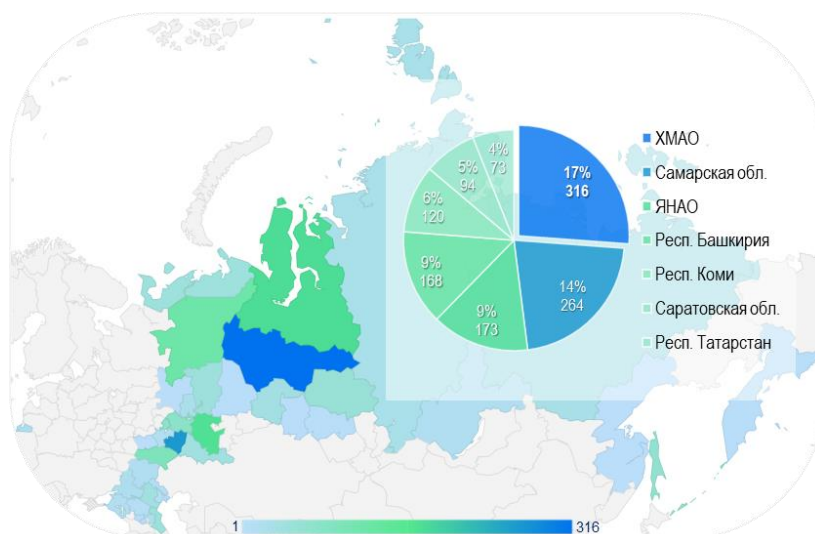


Рисунок 3. Распределение месторождений нефти и газа по регионам России (составлено авторами на основе данных Независимого нефтегазового Портала⁵)

Отходы бурения состоят из отработанного бурового раствора, углеводородов, буферной жидкости и горной породы — бурового шлама [7]. Буровой раствор, в свою очередь, многокомпонентная жидкость, подбор состава для которой зависит от множества условий, в частности, от термобарических условий залегания углеводородов, свойств пласта и насыщающих его флюидов [8]. Токсичность использованного бурового шлама складывается из концентрации полимеров, солей тяжелых металлов и других добавок [9]. Соответственно, процессы накопления и захоронения могут отрицательно влиять на биосферу, водные ресурсы, почву, флору, а также тормозить устойчивое развитие перспективных регионов России [10]. Таким образом, компаниям, ведущим свою хозяйственную деятельность в основных нефтегазодобывающих регионах, необходимо рационально подходить к вопросам об управлении отходами бурения.

Достижение полной утилизации отходов бурения (отсутствие захоронения) является дорогостоящим, наукоемким и времязатратным вариантом обращения с отходами и в условиях нефтегазодобывающих районов со слабой транспортной инфраструктурой (например, ХМАО или ЯНАО) текущие затраты на логистику и переработку могут достигать до \$230 за тонну образуемых отходов [11]. Поэтому, использование простых и менее затратных способов

⁵ Независимый нефтегазовый Портал. Месторождения нефти и газа. — URL: <https://oilgasinform.ru/science/fields/>.

утилизации, таких как захоронение в амбарах и полигонах является более выгодным для нефтегазовых и нефтесервисных компаний [12].

Варианты утилизации отходов согласно [13] можно разделить на биологические (разложение отходов на нетоксичные составляющие под действием микроорганизмов, таких как бактерии и грибы) и небιологические: захоронение в шламовых амбарах и полигонах, обратная закачка в скважину (cutting re-injection, CRI), стабилизация, затвердевание и инкапсуляция, термические технологии очистки (сжигание, газификация, десорбция, выпаривание, пиролиз). Перечисленные методы имеют свои преимущества и недостатки. Так, для метода CRI необходимо повторное измельчения бурового шлама и смешение его с буровым раствором до состояния суспензии, а процесс закачки имеет риски утечки отходов из-за высокого давления нагнетания и потери ценных компонентов нефти [14]. Процесс применения биологических методов, несмотря на их низкую стоимость и простоту технологий, может занимать месяцы или даже годы.⁶

Лидером по образованию отходов бурения является компания ПАО «НК «Роснефть» с ежегодным объемом более 5 млн т (рис. 4). Обращение с отходами в компаниях можно разделить на две модели: утилизация самой компанией-образователем отходов, либо передача права собственности на отходы сервисным компаниям.

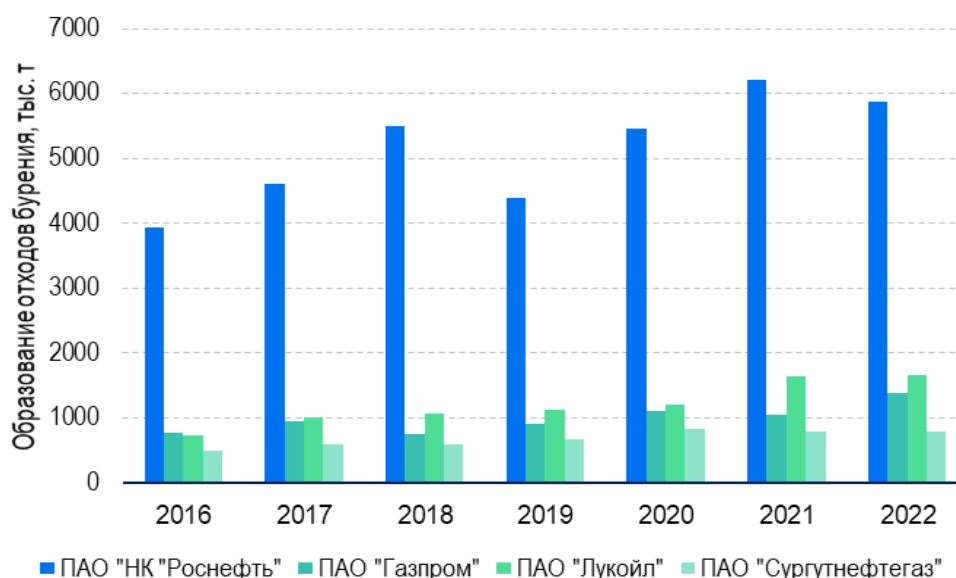


Рисунок 4. Генерация отходов бурения по ведущим нефтегазовым компаниям России (составлено авторами по данным годовых отчетов компаний)

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 [15]. Подрядные организации ПАО «Газпром» используют безамбарное бурение, малотоксичные буровые растворы и подходы к переработке в полезные материалы.⁷ ПАО «НК «Роснефть» использует отдельный сбор отходов по пяти категориям опасности. ПАО «Лукойл» передает отходы организациям,

⁶ Reis, J.C. Remediation of Contaminated Sites. In Environmental Control in Petroleum Engineering; Elsevier. — 1996; С. 216–229. — URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780884152736500093> (дата обращения 03.12.2023).

⁷ Обращение с отходами в Группе Газпром. — URL: <https://sustainability.gazpromreport.ru/2021/3-environmental-protecti/3-4-waste-management/>.

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. 5).

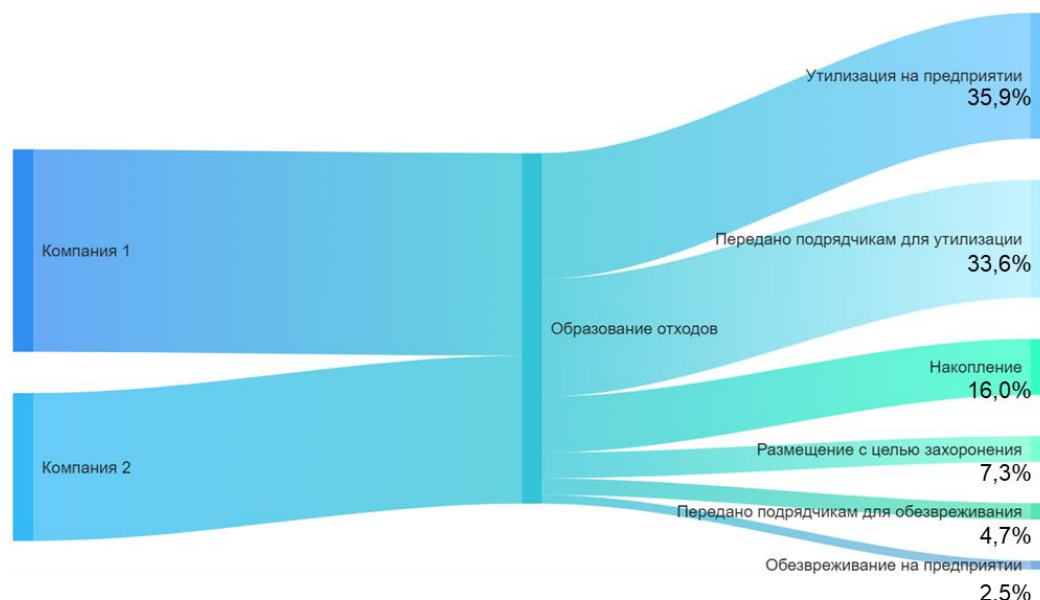


Рисунок 5. Распределение объема отходов по вариантам обращения
(составлено авторами по данным годовых отчетов нефтегазовых компаний)

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

Материалы и методы

В основе методологии исследования лежит анализ трудов отечественных и зарубежных исследователей в области обращения с отходами бурения, а также нормативно-правовых документов: федеральные законы и постановления Российской Федерации.

Буровые отходы, образующиеся в результате деятельности компаний по бурению нефтяных и газовых скважин, как правило относят к 3, 4 либо 5 классам опасности. Для каждого класса определена своя ставка за размещение тонны отходов согласно Постановлению Правительства РФ⁸, а также таксы при нанесении вреда почвам, как объектам охраны окружающей среды⁹ (табл. 1).

⁸ 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>.

⁹ 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/.

Таблица 1

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	1 327,0	54 000,0
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

Составлено авторами

Стимулировать компании только за счет повышения налоговых ставок и увеличение 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 Постановлении¹⁰). Поэтому изменилась формула начисления платы за размещение отходов в пределах лимитов — добавились стимулирующие коэффициенты К_{од}, К_{по} и К_{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. В таком ключе компании охотнее будут следить за переработкой отходов и сами будут заинтересованы в получении конечного продукта.

Результаты

На сегодняшний день, необходимо понимать, что в силу растущей нагрузки на окружающую среду, целесообразнее использовать отходы производства [16]. При бурении скважин освобождается большой объем горной породы и тратится не мало энергоресурсов. Соответственно, стоит рассматривать получающиеся отходы в качестве полезных ресурсов, руководствуясь экономическими и экологическими предпосылками (табл. 2).

Таблица 2

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 промысловых дорог и площадок.	4. Получение полезного продукта (строительного материала) и его реализация.
5. Снижение промышленных отходов.	5. Возможности для получения налоговых льгот.

Составлено авторами

¹⁰ 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 акта Правительства Российской Федерации” — URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/406865936/>.

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 промысловых дорог [17]. Излишки буровых отходов остаются в буровых шламах непосредственно на территориях бурения скважин [18]. 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 [19–21]. Этот способ 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 строительные 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 [22–24].

На данный момент технологии переработки буровых отходов позволяют получить из твердой их части: строительные и полезные материалы, такие как гранулированный наполнитель 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 и материал, используемый в качестве проппанта при гидроразрыве пласта [7; 25]; из жидкой части: очищенный буровой раствор, некоторые виды топлива, а также битум дорожный [26].

С 2018 года компании России переходя на стандарты отчетности в области устойчивого развития «Глобальная инициатива по отчётности» (с англ. Global Reporting Initiative, GRI) [27]. В стандартах GRI 306 публикуются данные об отходах по типу образования, классам опасности и способу обращения с ними. Распределяется общий вес опасных и, отдельно, неопасных отходов с разбивкой по следующим методам утилизации, где это применимо¹¹:

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).

¹¹ GRI Standards. GRI 306: Waste 2020. — URL: <https://www.globalreporting.org/standards/media/2573/gri-306-waste-2020.pdf>.

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 [28].

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. 6).



Рисунок 6. Показатели финансирования охраны окружающей среды (составлено авторами по данным экологических отчетов ПАО «Газпром»)

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

Для оценки конкретной экономической и экологической эффективности использования отходов бурения в качестве сырья для производства строительных материалов рассмотрим вариант, когда отходы перерабатываются в материал для насыпных площадок и дорог. Затратная часть будет включать капитальные затраты на установки по переработке отходов, текущие затраты с транспортировкой на объекте и энергозатраты на переработку. Экономия вытекает из отсутствия платежей за НВОС, снижения стоимости материалов для строительства насыпных территорий. Проект будет рентабельным в случае, если выполняется следующее условие:

$$(\Pi_{\text{к.п.}} - \Pi_{\text{з.п.}}) \cdot Q_{\text{б.о.}} \geq \text{НВОС}, \quad (1)$$

где $\Pi_{\text{к.п.}}$ — цена конечного продукта, тыс. руб./т; $\Pi_{\text{з.п.}}$ — цена закупки материала для отсыпки дорог, тыс. руб./т; $Q_{\text{б.о.}}$ — количество буровых отходов, образуемых за год, тыс. т; НВОС — плата за размещение отходов, млн руб.

Экологический эффект можно рассчитать как сумму предотвращенного ущерба (согласно Приказу Минприроды России⁹) при размещении отходов бурения:

$$\mathcal{E}_{\text{экол}} = Y_{\text{пр}} - Z_{\text{тек}}, \quad (2)$$

где $\mathcal{E}_{\text{экол}}$ — экологический эффект, млн руб.; $Y_{\text{пр}}$ — предотвращенный ущерб, млн руб.; $Z_{\text{тек}}$ — текущие затраты на утилизацию буровых отходов и переработку в строительный материал (стоимость переработки, внутреннего транспорта, амортизации установок), млн руб.

Обсуждение

Тем не менее, условие 1 далеко не всегда может выполняться в рамках проекта по переработке отходов. Поэтому, для повышения эффективности проектов можно рассчитывать на стимулирование в виде льгот за применение наилучших доступных технологий (НДТ) [29], либо специальных инвестиционных контрактов (СПИК) [30]. Так, например, льготы по специальным инвестиционным контрактам могут отражаться в снижении налога на прибыль, либо налога на имущество. Если технологические показатели проекта сопоставимы с наилучшей доступной технологией, то можно получить льготы в виде начисления ускоренной амортизации на основные средства с максимальным коэффициентом 2, либо единоразовые субсидии.

Вдобавок, хозяйственная деятельность нефтегазовых компаний помимо генерации буровых отходов производит и немалое количество твердых коммунальных отходов, пластика и пластмассы, стекла и металла [31]. Согласно источнику [32], совместный сбор и разделение как отходов бурения, так и твердых коммунальных отходов позволит добиться синергетического эффекта и повысить экономическую и экологическую эффективность внедряемых мероприятий.

Заключение

С увеличением уровня урбанизации и ростом образования отходов из-за непрекращающегося спроса на нефть и газ, окружающая среда стоит перед все более серьезной угрозой. Чтобы снизить воздействие человеческой деятельности на экологию, необходимо перейти к более эффективному использованию ресурсов и управлению отходами производства и потребления.

В данном исследовании определены экономические и экологические стимулы, побуждающие компании использовать инновационные технологии и эффективные схемы по управлению отходами бурения. Проанализированы труды отечественных и зарубежных исследователей, а также федеральные законы, постановления и приказы Российской Федерации в сфере обращения с отходами потребления и производств. По открытым статистическим данным ведущих нефтегазовых компаний России обобщены сведения по управлению отходами бурения. Компании с каждым годом наращивают долю утилизации и использования отходов.

Также, в исследовании предложены варианты оценки экономического и экологического эффекта от внедрения природоохранных мероприятий.

Таким образом, внедрение рациональных программ утилизации отходов бурения в бизнес-модель нефтегазовых компаний может способствовать снижению воздействия на окружающую среду, экономии затрат и улучшению соблюдения нормативных требований, что в конечном итоге принесет пользу как компании, так и окружающей среде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобылев, С.Н. Устойчивое развитие в интересах будущих поколений: экономические приоритеты / С.Н. Бобылев // Мир новой экономики. — 2017. — № 3. — С. 90–96. — URL: <https://wne.fa.ru/jour/article/view/141/142> (дата обращения 03.12.2023).
2. Валько, Д.В. Циркулярная экономика: основные бизнес-модели и экономические возможности / Д.В. Валько. — DOI 10.31063/2073-6517/2020.17-1.12 // Журнал экономической теории. — 2020. — Т 17, № 1. — С. 156–163. — URL: <https://jet-russia.com/wp-content/uploads/2021/01/12iValko-01-2020.pdf> (дата обращения 03.12.2023).
3. Череповицын, А.Е. Возможности использования технологий замкнутого цикла в нефтегазовом комплексе / А.Е. Череповицын, А.П. Лебедев. — DOI 10.18334/vines.12.2.114923 // Вопросы инновационной экономики. — 2022. — Т 12, № 2. — С. 1185–1198. — URL: <https://1economic.ru/lib/114923> (дата обращения 03.12.2023).
4. Федоров, Г.Б. Разработка виброакустического модуля для тонкой очистки буровых растворов / Г.Б. Федоров, О.Л. Дудченко, Д.С. Куренков. — DOI 10.31897/pmi.2018.6.647 // Записки Горного института. — 2018. — Т 234, № 6. — С. 647–651. — URL: <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/13153> (дата обращения 03.12.2023).
5. Лебедев, А.Н. Экологическое состояние нефте-газодобывающей промышленности Западной Сибири / А.Н. Лебедев, Э.А. Арустамов. — DOI 10.15862/07NZOR218 // Отходы и ресурсы. — 2018. — Т 5, № 2. — URL: <https://resources.today/PDF/07NZOR218.pdf> (дата обращения 03.12.2023).
6. Андрухова, О.В. Экономическое развитие нефтедобычи в России в условиях альтернативной энергетики и декарбонизации / О.В. Андрухова, С.В. Разманова // Социальные и экономические системы. — 2022. — Т 3, № 27. — С. 268–302. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48216573> (дата обращения 03.12.2023).
7. Румянцева, А.В. Обоснование метода утилизации буровых отходов при добыче нефти на основе современных технологий / А.В. Румянцева, М.В. Березюк, Ю.В. Пластинина // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т 15, № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/17ECVN223.pdf> (дата обращения 03.12.2023).
8. Siddique, S. Drilling Oil-Based Mud Waste as a Resource for Raw Materials: A Case Study on Clays Reclamation and Their Application as Fillers in Polyamide 6 Composites / S. Siddique, P.S. Leung, J. Njuguna. — DOI 10.1016/j.upstre.2021.100036 // Upstream Oil and Gas Technology. — 2021. — Т 7. — С. 100036. — URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2666260421000062> (дата обращения 03.12.2023).

9. Матыцын В. Концепция природоохранных мероприятий при бурении скважин / В. Матыцын // Бурение и нефть. — 2006. — № 3. — С. 36–39. — URL: https://burneft.ru/docs/archived_docs/articles_tek/7 (дата обращения 03.12.2023).
10. Dmitrieva, D. Strategic Sustainability of Offshore Arctic Oil and Gas Projects: Definition, Principles, and Conceptual Framework / D. Dmitrieva, A. Cherepovitsyna, G. Stroykov, V. Solovyova. — DOI 10.3390/jmse10010023 // Journal of Marine Science and Engineering. — 2021. — Т. 10, № 1. — С. 23. — URL: <https://www.mdpi.com/2077-1312/10/1/23> (дата обращения 03.12.2023).
11. Marinina, O. Circular Economy Models in Industry: Developing a Conceptual Framework / O. Marinina, N. Kirsanova, M. Nevskaya. — DOI 10.3390/en15249376 // Energies. — 2022. — Т 15, № 24. — С. 9376. — URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/24/9376> (дата обращения 03.12.2023).
12. Ball, A.S. Review of the Current Options for the Treatment and Safe Disposal of Drill Cuttings / A.S. Ball, R.J. Stewart, K.A. Schliephake. — DOI 10.1177/0734242X11419892 // Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy. — 2012. — Т 30, № 5. — С. 457–473. URL: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0734242X11419892> (дата обращения 03.12.2023).
13. Якушева, А.М. Методы обезвреживания нефтешламов. Обезвреживание нефтешламов методом сжигания / А.М. Якушева. — DOI 10.15862/09ECOR222 // Отходы и ресурсы. — 2022. — Т 9, № 2. — URL: <https://resources.today/PDF/09ECOR222.pdf> (дата обращения 03.12.2023).
14. Darajah, M.H. 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. — DOI 10.1088/1755-1315/802/1/012046 // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2021. Т 802, № 1. — URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/802/1/012046> (дата обращения 03.12.2023).
15. Chen, T.L. The Reutilization of Drilling Fluid Wastes as Material for the Manufacture of Bricks / T.L. Chen, S. Lin, G.V. Chilingar, Z.S. Lin. — DOI 10.1080/15567030903077733 // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. — 2010. — Т 32, № 15. — С. 1399–1407. URL: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15567030903077733> (дата обращения 03.12.2023).
16. Weigend Rodríguez, R. The Future of the Circular Economy and the Circular Economy of the Future / R. Weigend Rodríguez, F. Pomponi, K. Webster, B. D’Amico. DOI 10.1108/BEFAM-07-2019-0063 // Built Environment Project and Asset Management. — 2020. — Т 10, № 4. С. 529–546. — URL: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/BEFAM-07-2019-0063/full/html> (дата обращения 03.12.2023).
17. Пичугин, Е.А. Технология утилизации буровых шламов с получением экологически чистого дорожно-строительного материала / Е.А. Пичугин // Молодой ученый. — 2013. С. 124–126. — URL: <https://moluch.ru/archive/56/7725/> (дата обращения 03.12.2023).

18. Ismail, A.R. Drilling Fluid Waste Management in Drilling for Oil and Gas Wells / A.R. Ismail, A.H. Alias, W.R.W. Sulaiman, M.Z. Jaafar, I. Ismail. — DOI 10.3303/CET1756226 // Chemical Engineering Transactions. — 2017. Т 56. — С. 1351–1356. — URL: <https://www.cetjournal.it/index.php/cet/article/view/CET1756226> (дата обращения 03.12.2023).
19. Smyshlyaeva, K.I. Asphaltene Genesis Influence on the Low-Sulfur Residual Marine Fuel Sedimentation Stability / K.I. Smyshlyaeva, V.A. Rudko, K.A. Kuzmin, V.G. Povarov. — DOI 10.1016/j.fuel.2022.125291 // Fuel. — 2022. Т 328. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016236122021263> (дата обращения 03.12.2023).
20. Khodadadi, M. Reuse of Drill Cuttings in Hot Mix Asphalt Mixture: A Study on the Environmental and Structure Performance / M. Khodadadi, L. Moradi, B. Dabir, F. Moghadas Nejad, A. Khodaii. — DOI 10.1016/j.conbuildmat.2020.119453 // Construction and Building Materials. — 2020. — Т 256. — URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061820314586> (дата обращения 03.12.2023).
21. Власов, А.С. Геоэкологическая оценка технологии использования отходов бурения в составе асфальтобетона / А.С. Власов, К.Г. Пугин, А.А. Сурков. — DOI 10.24887/0028-2448-2020-12-139-142 // Нефтяное хозяйство. — 2020. — № 12. — С. 139–142. — URL: https://oil-industry.net/en/Journal/archive_detail.php?ID=12069&art=236138 (дата обращения 03.12.2023).
22. Теличенко, В.И. Материаловедческие аспекты геоэкологической и экологической безопасности в строительстве / В.И. Теличенко, Д.В. Орешкин // 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 03.12.2023).
23. Орешкин, Д.В. Экологические проблемы комплексного освоения недр при масштабной утилизации техногенных минеральных ресурсов и отходов в производстве строительных материалов / Д.В. Орешкин // Строительные материалы. — 2017. — № 8. — С. 55–63. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29966534> (дата обращения 03.12.2023).
24. Орешкин, Д.В. Утилизация отходов мрамора и бурового шлама в процессе производства строительных материалов / Д.В. Орешкин, И.В. Шадрюнова, Т.В. Чекушина, А.Н. Прошляков. DOI 10.31659/0585-430X-2019-769-4-65-72. — Строительные материалы. — 2019. — Т 769, № 4. — С. 65–72. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37621304> (дата обращения 03.12.2023).
25. Третьяк, А.А. Прогнозное моделирование гидравлического разрыва пласта алюмосиликатными пропантами, изготовленными на основе буровых шламов / А.А. Третьяк, Е.А. Яценко, С.В. Доронин, К.А. Борисов, А.В. Кузнецова, DOI 10.18799/24131830/2023/3/4081 // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2023. — Т 334, № 3. — С. 165–172. — URL: <https://earchive.tpu.ru/handle/11683/74965> (дата обращения 03.12.2023).

26. Pereira, L.B. Oil Recovery from Water-Based Drilling Fluid Waste / L.B. Pereira, C.M.S. Sad, M. da Silva, R.R.B. Corona, F.D. dos Santos, G.R. Gonçalves, E.V.R. Castro, P.R. Filgueiras, V. Lacerda. — DOI 10.1016/j.fuel.2018.10.007 // Fuel. — 2019. Т 237. С. — 335–343. — URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016236118317186> (дата обращения 03.12.2023).
27. Orazalin, N. Economic, Environmental, and Social Performance Indicators of Sustainability Reporting: Evidence from the Russian Oil and Gas Industry / N. Orazalin, M. Mahmood. — DOI 10.1016/j.enpol.2018.06.015 // Energy Policy. — 2018. — Т 121. — С. 70–79. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421518304038> (дата обращения 03.12.2023).
28. Nilsen, H.R. The Hierarchy of Resource Use for a Sustainable Circular Economy / H.R. Nilsen. — DOI 10.1108/IJSE-02-2019-0103 // International Journal of Social Economics. — 2020. — Т 47, № 1. — С. 27–40. — URL: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJSE-02-2019-0103/full/html> (дата обращения 03.12.2023).
29. 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. — Т. 12, № 5. — URL: https://www.ripublication.com/irph/ijert19/ijertv12n5_07.pdf (дата обращения 03.12.2023).
30. Белов, В.Б. Специальные инвестиционные контракты и Российско-Германское экономическое сотрудничество. Часть вторая / В.Б. Белов. — DOI 10.15211/soveurope12020146157 // Современная Европа. — 2020. — Т 1, № 94. — С. 146–157. URL: <http://sov-europe.ru/2020/1-2020/14.pdf> (дата обращения 03.12.2023).
31. Конык, О.А. Обеспечение экологической безопасности при обращении с отходами на нефтяных месторождениях / О.А. Конык. — DOI 10.19110/2221-1381-2017-12-39-41 // Вестник института геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. — 2017. — Т 12. — С. 39–41. — URL: <https://geo.komisc.ru/images/stories/vestnik/2017/276/39-41.pdf> (дата обращения 03.12.2023).
32. Morero, B. Integrated Waste Management: Adding Value to Oil and Gas Industry Residues Through Co-Processing / B. Morero, G.L. Paladino, A.F. Montagna, D.C. Cafaro. — DOI 10.1007/s12649-022-01908-5 // Waste Biomass Valorization. — 2023. — Т 14, № 4. — С. 1391–1412. — URL: <https://link.springer.com/10.1007/s12649-022-01908-5> (дата обращения 03.12.2023).

Cherepovitsyn Alexey Evgenievich

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia
E-mail: alekseicherepov@inbox.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0472-026X>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=472193
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=6506719512>

Lebedev Andrey Pavlovich

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia
E-mail: andrey.lebedev.997@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3651-3831>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1151980
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=58126197400>

Economic and environmental efficiency of drill cuttings processing in oil and gas drilling operations

Abstract. The current situation in the world's energy balance is that hydrocarbon energy continues to occupy a major niche. As a result, oil and gas companies continue to increase the volume of oil and gas exploration and production operations, thereby increasing the share of recoverable hydrocarbon reserves. In parallel to these processes, the global energy industry is trying to create a balance in the consumption of «dirty» and generation of «clean» energy. In other words, society is striving for sustainable development, in which environmental and social aspects are particularly important. Consequently, energy producers with high emissions and waste generation have obligations to minimize and prevent them. For example, drilling oil and gas wells generates wastes that are difficult to utilize due to their multi-component composition. To date, the utilization of such wastes, otherwise known as drill cuttings, is carried out by methods aimed at achieving economic efficiency and reducing the burden on the environment. This paper considers methods of utilization of drilling waste generated as a result of operational activities of oil and gas companies, in particular, during drilling. The purpose of the work is to determine the possible economic and environmental effects from the application of drilling waste utilization technologies. The object of the study is drilling wastes of oil and gas companies. The authors analyzed the works of domestic and foreign researchers in the field of drilling waste management. On the basis of literature review the reasons of technological difficulties of waste utilization are described. The advantages and disadvantages of drilling cuttings utilization methods, as well as economic and environmental prerequisites for their effective utilization are revealed.

Keywords: waste management; drilling fluid; drilling cuttings; methods of drilling waste utilization; oil and gas fields; shelf; ecology; economic effect