



ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Обзорная статья

УДК 622.852.2

EDN: BFLYQQ

DOI: 10.21285/2686-9993-2024-47-2-158-169

**Внутрипластовая закачка буровых отходов
в тектонически экранированные ловушки****К.В. Ушаков^a, Н.В. Зиновьев^b, В.В. Ткачев^c, Г.Р. Романов^d**^aООО «Таас-Юрх Нефтегазодобыча», Иркутск, Россия^bООО «Иркутская нефтяная компания», Иркутск, Россия^{c,d}Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Резюме. Цикл бурения любой скважины сопровождается производством огромного количества отходов, содержащих в своем составе химические вещества и реагенты, которые являются основным потенциальным и масштабным загрязнителем окружающей среды. Положительная тенденция роста объемов разведочного и эксплуатационного бурения на суше, связанная с необходимостью поддержания объемов добычи нефти в нашей стране, напрямую указывает на увеличение объемов буровых отходов, преимущественное количество которых накапливается в шламовых амбарах. Проблема утилизации, переработки постоянно растущих объемов буровых отходов в совокупности с необходимостью соблюдения строгих требований природоохранных мероприятий требует применения инновационных и комплексных подходов. Для решения такого рода задач была разработана концепция утилизации буровых отходов в тектонически экранированных ловушках, которая предлагает эффективный и безопасный способ утилизации буровых отходов, реализуя принцип «нулевого сброса» отходов в окружающую среду, что с ужесточением норм экологического контроля приобретает все большую актуальность не только в условиях шельфового бурения, но и на суше. Цель данного исследования заключалась в представлении результатов анализа преимуществ закачки буровых отходов в тектонически экранированные ловушки по сравнению с другими возможными методами подземной утилизации. Авторами рассмотрены особенности подготовительного этапа проведения указанного метода. Описан опыт применения технологии. Представлен комплекс оборудования российской компании для подготовки и закачки отходов бурения в пласт. На примере геологического разреза приведен пример скважины, с высокой долей вероятности пробуренной в тектонически изолированную ловушку и перспективной для перевода под осуществление закачки отходов бурения.

Ключевые слова: закачка в пласт, тектонически экранированные ловушки, утилизация буровых отходов, безопасный способ утилизации буровых отходов, нулевой сброс

Для цитирования: Ушаков К.В., Зиновьев Н.В., Ткачев В.В., Романов Г.Р. Внутрипластовая закачка буровых отходов в тектонически экранированные ловушки // Науки о Земле и недропользование. 2024. Т. 47. № 2. С. 158–169. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2024-47-2-158-169>. EDN: BFLYQQ.

TECHNOLOGY AND EQUIPMENT OF GEOLOGICAL EXPLORATION

Review article

In-situ injection of drilling waste into tectonically screened traps**Kirill V. Ushakov^a, Nikita V. Zinoviev^b, Vladislav V. Tkachev^c, Grigory R. Romanov^d**^aTaas-Yuryakh Neftgazodobycha LLC, Irkutsk, Russia^bIrkutsk Oil Company LLC, Irkutsk, Russia^{c,d}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The drilling cycle of any well is accompanied by the production of a huge amount of waste containing chemicals and reagents, which are main potential causes of large-scale environmental pollution. The positive trend in the growth of the on-shore exploration and production drilling associated with the need to maintain oil production in our country clearly shows an increase in the volume of drilling waste, which is predominantly accumulated in slurry ponds. The problem of constantly growing volumes of drilling waste disposal and recycling together with the need to comply with strict requirements of environmental protection measures requires the use of innovative and integrated approaches. To solve the problems of this kind, the concept of drilling waste disposal in tectonically screened traps has been developed. It offers an efficient and safe



way of drilling waste disposal via the implementation of the principle of waste “zero discharge” into the environment, which increases its relevance since the environmental control standards are becoming stricter for both onshore and offshore drilling. The purpose of this study is to present the analysis results of the benefits of drilling waste injection into tectonically screened traps as compared with other possible underground disposal methods. The article deals with the features of the preparatory stage of this method and the application experience of the technology described. A set of equipment of the Russian company for the preparation and injection of drilling waste into the reservoir is presented. Using the case of a geological section, an example of a well is given, which with high probability has been drilled into a tectonically screened trap and is promising for drilling waste injection.

Keywords: injection into the reservoir, tectonically screened traps, drilling waste disposal, a safe method of drilling waste disposal, zero discharge

For citation: Ushakov K.V., Zinoviev N.V., Tkachev V.V., Romanov G.R. In-situ injection of drilling waste into tectonically screened traps. *Earth sciences and subsoil use*. 2024;47(2):158-169. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2024-47-2-158-169>. EDN: BFLYQQ.

Введение

Накопление отходов бурения, образующихся в процессе разведки и добычи углеводородов, оказывает негативное воздействие на здоровье человека и окружающую среду. Основной объем отходов составляет буровой шлам, выносимый из скважины. В России ежегодно образуется от 10 до 25 млн т буровых отходов, из которых утилизируется не более 10 % [1]. Важной проблемой при обращении с данным видом отходов является выбор оптимальной схемы их утилизации или обезвреживания.

Буровые отходы имеют различный состав и могут представлять выбуренную породу, отработанный буровой раствор, буровые сточные воды и их отстой, буровой шлам и др. В связи с тем, что буровой шлам состоит на 60–80 % из породы, на 8–10 % из органического вещества, на 6 % из водорастворимой соли, а также из нефти и утяжелителей [2], в основном отрицательный эффект будет оказывать воздействие на окружающую среду химических реагентов, минеральных солей и нефтепродуктов.

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации пытается снизить воздействие нефтяной отрасли на окружающую среду за счет ужесточения законодательных норм, в том числе в сфере обращения с отходами бурения. В связи с этим существует необходимость в применении оптимального решения для безопасной и долгосрочной утилизации таких материалов. Возвращение добытых ресурсов в почву снижает

воздействие на почвенный покров и затраты на хранение, транспортировку и утилизацию отходов, образующихся при бурении и освоении скважин [3]. Технология обратной закачки буровых отходов на суше может использоваться в различных климатических условиях, что дает ей преимущество перед другими видами утилизации отходов.

Технология закачки буровых отходов и нефтешлама в пласт является перспективной и уже испытана в Северном море, Норвегии, на Аляске, в Мексиканском заливе и Венесуэле. В России технология закачки отходов бурения в пласт впервые была использована в 2004 году компанией «Сахалин Энерджи» на морских месторождениях острова Сахалин [4]. В 2016 году на Приразломном месторождении в Баренцевом море компания «Газпром нефть шельф» ввела в промышленную эксплуатацию поглощающую скважину¹. В 2017 году компания «Роснефть» провела опытные испытания по утилизации отходов бурения в пласт на территории Нижневартовского района (Ханты-Мансийский автономный округ – Югра) с производительностью комплекса более 140 тыс. м³ бурового шлама в год².

Тектонически экранированные ловушки представляют собой геологические образования, обладающие способностью удерживать загрязняющие вещества из отходов бурения. Они образуются в результате естественных геологических процессов, то есть сейсмической активности и тектонических движений [5].

Существуют другие методы утилизации буровых отходов с помощью закачки их в пласт.

¹ В ХМАО Роснефть применила инновационный метод утилизации отходов бурения путем их обратной закачки в пласт // [Neftegaz.ru](https://neftegaz.ru/news/drill/207049-v-khmao-rosneft-primenila-innovatsionnyy-metod-utilizatsii-otkhodov-bureniya-putem-ikh-obratnoy-zaka/). Режим доступа: <https://neftegaz.ru/news/drill/207049-v-khmao-rosneft-primenila-innovatsionnyy-metod-utilizatsii-otkhodov-bureniya-putem-ikh-obratnoy-zaka/> (дата обращения: 04.01.2024).

² «Роснефть» применила в Югре инновационный метод утилизации отходов бурения // [Rosneft.ru](https://www.rosneft.ru/press/news/item/187683/). Режим доступа: <https://www.rosneft.ru/press/news/item/187683/> (дата обращения: 04.01.2024).



Это закачка с гидроразрывом пласта и закачка в специально построенные подземные резервуары в многолетнемерзлых породах. Закачка в пласт с проведением гидроразрыва пласта несет за собой большие риски. Незапланированное расширение трещин может привести к попаданию отходов в водоемы и распространению вредных веществ, что экологически небезопасно [6]. Закачка же в построенные резервуары в многолетнемерзлых породах является в первую очередь дорогой технологией, но и, помимо этого, сопряжена с рисками. На планете, как известно, наблюдается потепление вследствие роста среднегодовой температуры, и зона многолетнемерзлых пород через несколько десятков лет может исчезнуть, что приведет к оттаиванию замороженных отходов и загрязнению почвы и воды на поверхности, а это также экологически недопустимо. В свою очередь, закачка в тектонически экранированные ловушки является безопасным и относительно недорогим методом утилизации, поскольку ловушки полностью гидрогеологически изолированы, то есть не имеют связи с водой и другими горизонтами и исключают возможность загрязнения подземных вод.

На многих сухопутных месторождениях имеются скважины, пробуренные в ожидаемой нефтеносной зоне, но вышло так, что они дали небольшой приток или вообще не дали притока. На такие скважины неприменимы методы интенсификации и увеличения нефтеотдачи. На рис. 1 приведен пример подобной скважины, расположенной на одном из месторождений Иркутской области.

С высокой вероятностью такие скважины располагаются в тектонически изолированной ловушке, что должно быть подтверждено дополнительными исследованиями. Если будет доказано, что скважина является гидрогеологически изолированной, то ее можно использовать для закачки отходов бурения, а не ликвидировать. Это позволит не потерять денежные средства, потраченные на ее строительство.

Подготовительные работы

В целях соблюдения норм экологического законодательства реализация данного типа проекта должна сопровождаться соответствующей документацией по обращению с отходами бурения [7]. Для этого компании, принявшей решение осуществлять подобную деятельность, необходимо:

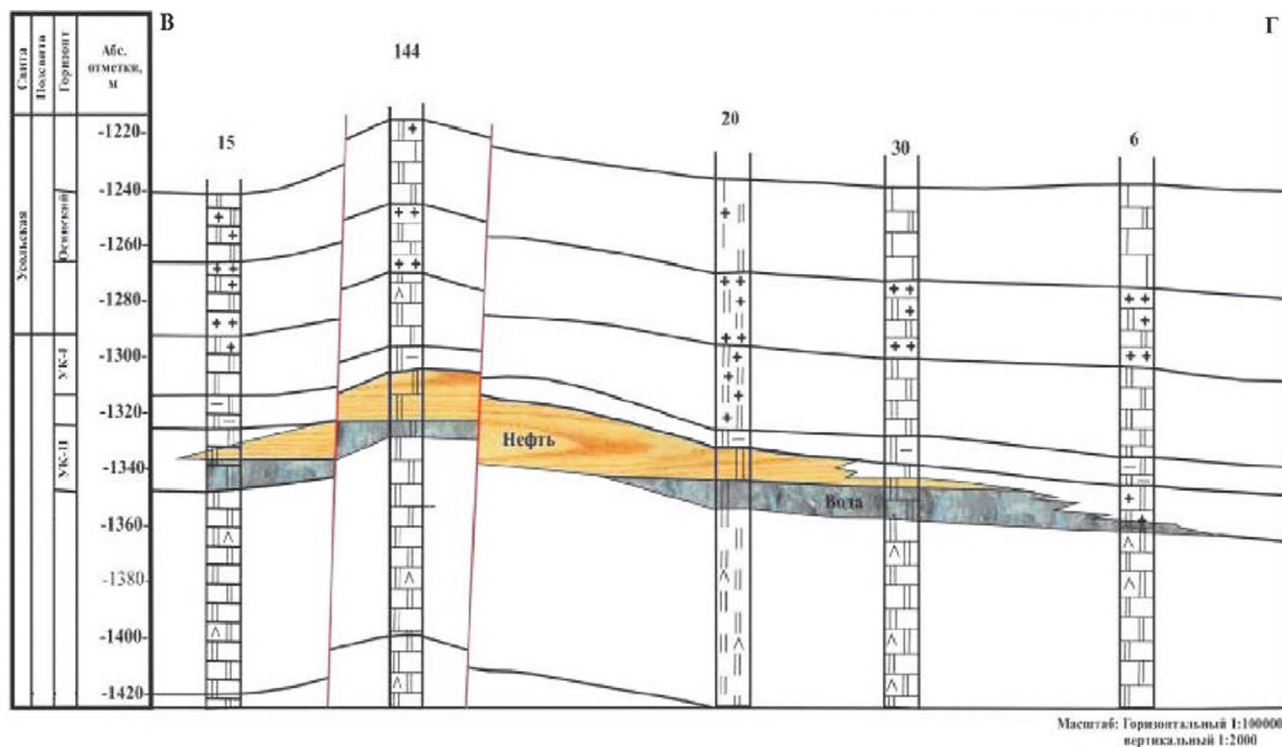


Рис. 1. Профильный геологический разрез по линии скважин 15-144-20-30-6³

Fig. 1. Profile geological section along the line of wells 15-144-20-30-6³

³ Барышев С.А., Мышевский Н.В. Отчет о результатах сейсморазведочных работ МОГТ Даниловской СРП № 2/91-92 масштаба 1:50000 на Даниловской площади. Иркутск, 1992. 23 с.



– определить класс опасности отходов и получить паспорт с указанием состава отходов (вода, выбуренная порода, нефтепродукты, вещества, увеличивающие вязкость пульпы);

– получить лицензию на право пользования недрами и горноотводные акты для строительства и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых, для опытно-промышленного и промышленного размещения буровых отходов на месторождениях в месте, планируемом под реализацию проекта по закачке отходов бурения в пласт;

– зарегистрировать объекты хранения отходов бурения компании в государственном реестре объектов размещения отходов;

– получить лицензию на обращение с отходами.

Перед началом реализации любого проекта проводятся геологические исследования и построение модели закачки, что позволяет эксплуатирующим компаниям исключить риски в дальнейшем процессе. Для определения схемы закачки проводится геомеханиче-

ское моделирование, а также строится гидродинамическая модель распределения порового давления [8]. Исследования начинаются с анализа геологических и геофизических данных (данные каротажа, керны и так далее) для определения первичного, то есть основного, и запасного интервалов размещения отходов. Численно моделирование процесса закачки позволяет оценить размер ловушки и рассчитать максимальное количество отходов, которое можно безопасно закачать в поглощающую скважину.

На рис. 2 изображен пример гидродинамического моделирования, которое проводится для анализа геологических неопределенностей, изменения пластового давления и риска воздействия на расположенные поблизости скважины в процессе бурения.

Технология процесса

После подтверждения пригодности пластов под закачку, проведения технико-экономического обоснования проекта, построения гидрогеологических и геомеханических моделей, получения соответствующих доку-

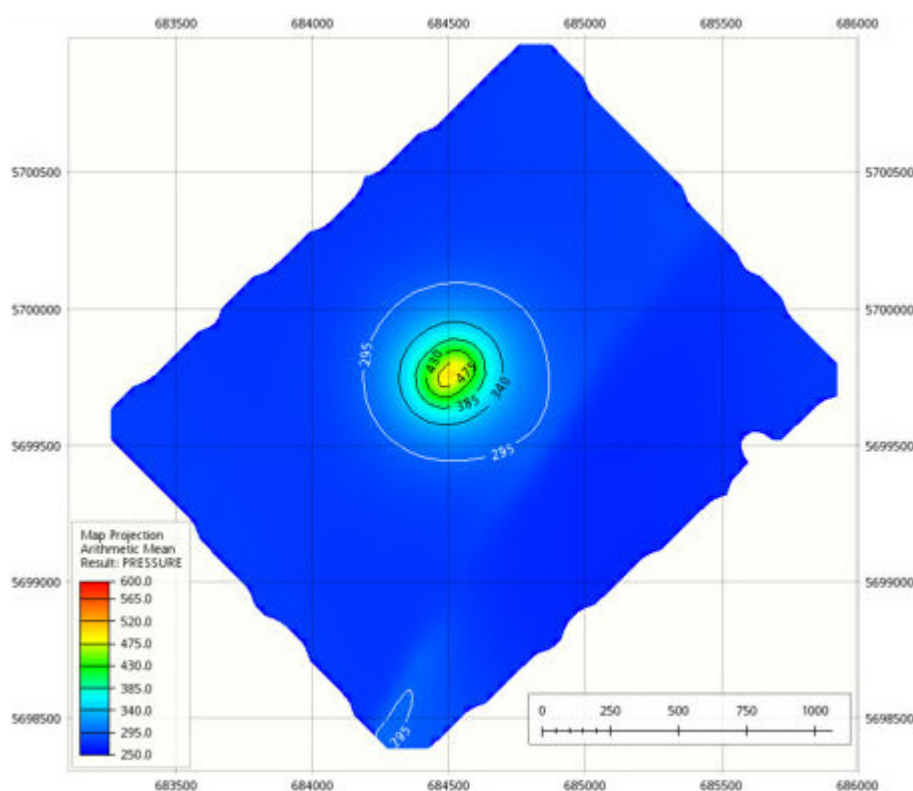


Рис. 2. Пример гидродинамического моделирования закачки⁴
Fig. 2. An example of hydrodynamic injection modeling⁴

⁴ Комплексное решение по закачке буровых отходов в пласты горных пород // Akros-llc.com. Режим доступа: <https://www.akros-llc.com/upload/iblock/da3/da3bb9868ca07c3c1e63b66b0eb71ab4.pdf> (дата обращения 08.01.2024).



ментов по обращению с отходами бурения можно переходить к практической части, которая начинается с того, что в процессе бурения скважины циркулирующий в ней буровой раствор выносит на поверхность куски горных пород и скальные остатки. На этом этапе при помощи вибросита происходит очистка бурового раствора от твердых частиц. Очищенный буровой раствор направляется на повторное использование. Камни и частицы грунта распределяются по размеру с помощью калибровочных сит. Крупнозернистый материал, к которому относятся частицы размером более 300 микрон [9], проверяется на отсутствие на поверхности остатков бурового раствора и в дальнейшем может быть использован в качестве строительного материала для отсыпки дорог и буровых площадок. Остальной материал подается в дробильную установку для измельчения твердых частицы до размера не более 80–100 мкм, после чего они смешиваются с жидкой фазой – остатками бурового раствора или водой, использованной при промывке. Естественная реология позволяет шламовой пульпе поддерживать твердую фазу во взвешенном состоянии [10]. В итоге соответствующий проектным критериям раствор закачивается в пласт нагнетательным насосом высокого давления.

Основой для транспортировки твердой фазы является шламовая пульпа. В связи с этим создание пульпы с нужными параметрами определяет успех процесса прокачки отходов в ловушку. Низкое качество может существенно снизить приемистость пласта в процессе закачки, что может снизить приемистость поглощающей скважины, а в некоторых случаях привести к полной ее потере [11]. Лабораторные испытания пульпы проводятся с использованием натуральных образцов выбуренного шлама. Качество пульпы оценивается в процессе анализа ее параметров. Лабораторные исследования (рис. 3) позволяют получить основную информацию об оптимальной концентрации загустителя пульпы для разных типов пород и допустимом времени пребывания пульпы в скважине в статическом состоянии [12].

Полевой анализ пульпы проводится в процессе реализации проекта. Параметры пульпы следует контролировать и поддерживать в рекомендуемых границах. Измерения проводятся, как минимум, для одной пробы из ка-

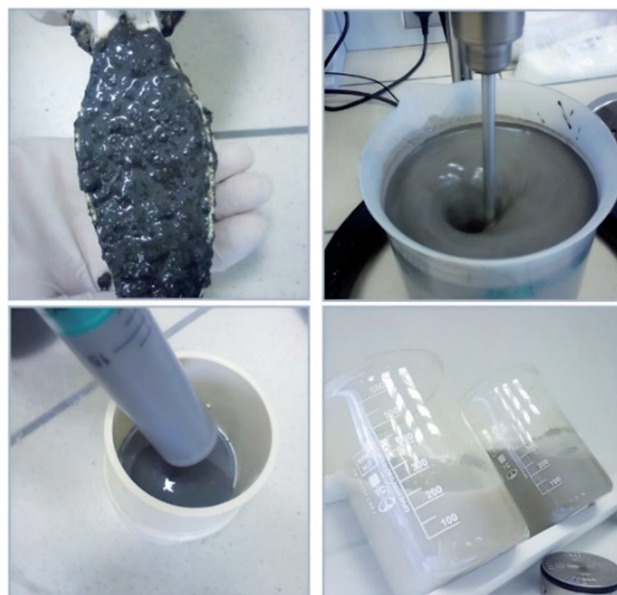


Рис. 3. Исследования шламовой пульпы в лабораторных условиях⁴
Fig. 3. Slurry research in laboratory conditions⁴

ждой порции закаченной пульпы или жидких отходов [13]. В ходе реализации проекта необходимо проводить мониторинг, анализировать качество пульпы при ее закачке в пласт. Для этого используется специальное программное обеспечение, которое в онлайн-формате позволяет контролировать технологический процесс.

Оборудование

В России нефтесервисная компания «АКРОС» применяет комплексный подход к утилизации бурового шлама, который состоит из следующих этапов:

- технико-экономическое обоснование и разработка проекта;
- лабораторные исследования пульпы;
- разработка и изготовление оборудования;
- выполнение и управление проектом;
- контроль и анализ давления.

Методы, используемые компанией, соответствуют специфике российских условий бурения и эксплуатации скважин. Комплекс по обратной закачке буровых отходов в пласт (Cutting Reinjection) включает несколько ключевых блоков (рис. 4):

- система сбора/транспортировки отходов позволяет собирать и доставлять их в систему приготовления пульпы;
- установка для приготовления пульпы является стандартной, с возможностью изменения объема емкостей;



– установка для закачки пульпы должна соответствовать требованиям по давлению на устье, скорости и подачи насосов;

– буферный накопитель должен одновременно хранить необходимое количество буровых отходов в случае единовременного выхода из строя (отказа) оборудования.

Производительность работ Cutting Injection может меняться в зависимости от типа выбуренной породы, а также количества твердой фазы⁵.

Мониторинг процесса

Процесс контроля и анализ характеристик процесса закачки шлама в пласт является частью процесса обеспечения эксплуатационного качества и безопасности проведения работ. В связи с этим процесс мониторинга необходим, чтобы снизить риски образования трещин в пласте во время такого рода операций [14].

Мониторинг давления в процессе закачки и остановки, наряду со свойствами пульпы,

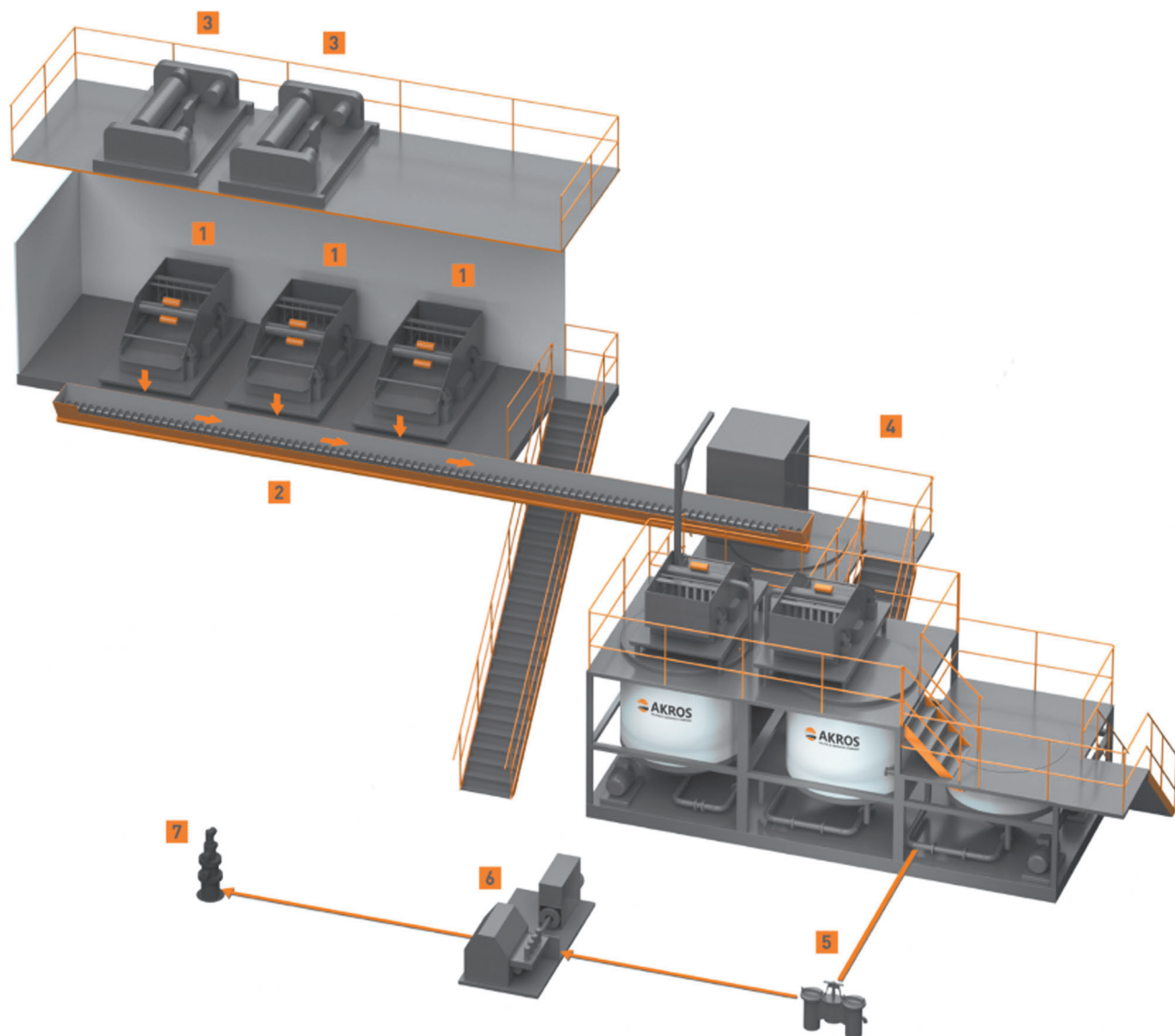


Рис. 4. Система оборудования компании «Акрос» для закачки буровых отходов в пласт⁵:
1 – вибросито; 2 – шнековый конвейер; 3 – центрифуга; 4 – установка для приготовления пульпы;
5 – сетчатый фильтр; 6 – насос высокого давления; 7 – инъекционная скважина

Fig. 4. Equipment system of the AKROS company for drilling waste injection into the reservoir⁵:
1 – vibrating screen; 2 – screw conveyor; 3 – centrifuge; 4 – pulp preparation plant;
5 – strainer; 6 – high pressure pump; 7 – injection well

⁵ Комплексное решение по обратной закачке буровых отходов в пласт ICRIS® // Akros-llc.com. Режим доступа: <https://www.akros-llc.com/products/ekologicheskie-reshenia/po-zakachke-burovykh-otkhodov-v-plast/> (дата обращения: 08.01.2024).



является основой, определяющей долгосрочность и надежность данного технологического процесса, а обнаружение опасностей на начальных этапах позволяет правильно спланировать возможные меры по снижению данного риска, которые сведут к минимуму временные потери и затраты. Мониторинг включает в себя непрерывную регистрацию и анализ основных параметров закачки: расход закачиваемой жидкости, температура закачиваемой жидкости, забойное давление, затрубное давление, устьевое давление.

В последнее время мониторинг процесса закачки значительно усилился в связи с ужесточением требований по охране окружающей среды, что повысило безопасность применения технологии обратной закачки буровых отходов в пласт [15]. Комплекс по закачке шлама в пласт включает в себя надежный метод измерения и регистрации скорости закачки, давления, реологических свойств

пульпы и объема в динамике по времени. На рис. 5 видна каждая закачанная пачка жидкости, обозначенная различными цветами, что позволяет инженеру-технологу наблюдать и сравнивать поведение давления с параметрами как на поверхности, так и в забойных условиях. В качестве дополнительной меры рекомендуется оборудовать скважину забойным манометром.

Анализ рабочих характеристик выполняется для проверки результатов построения модели геологической среды, а результаты пересматриваются в случае появления отклонений, которые могут указывать на проблемы с закачкой. Надлежащее выполнение процедуры мониторинга и анализа облегчат управление критически важными составляющими проекта, тем самым обеспечивая оптимальные рабочие параметры и сводя к минимуму эксплуатационные и экологические риски.

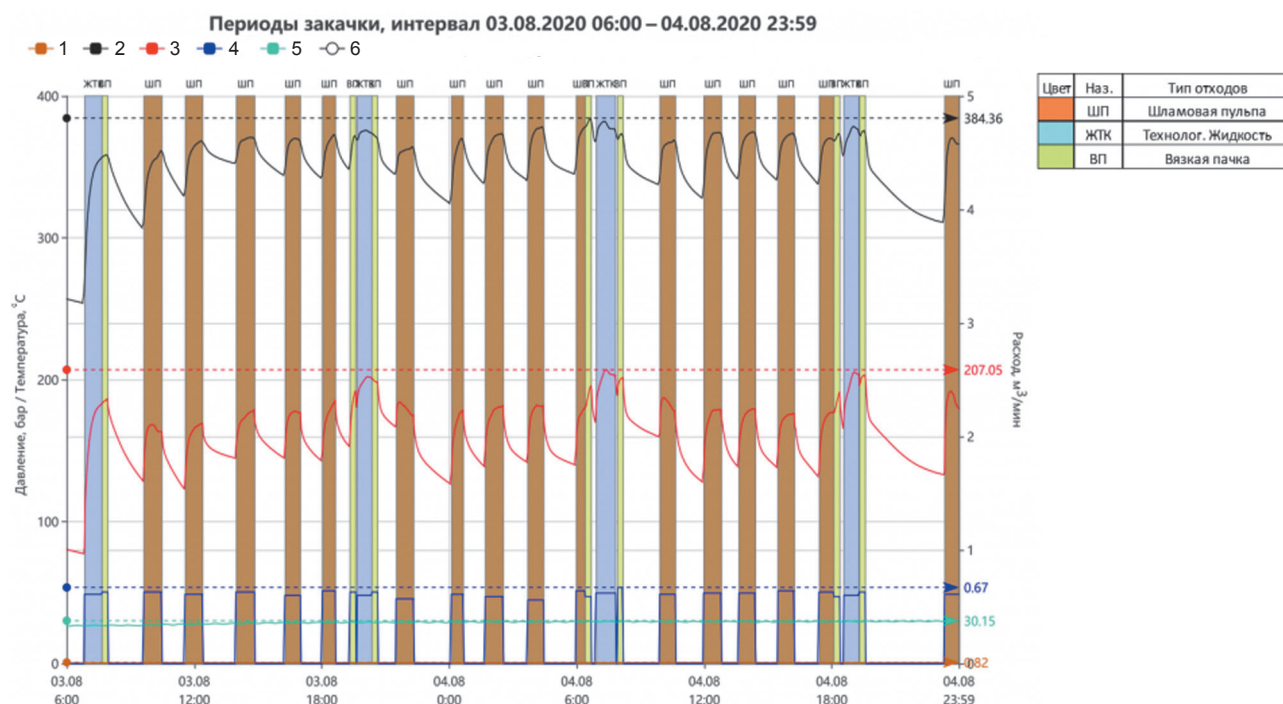


Рис. 5. Пример графического изображения периода закачки шламовой пульпы из программы компании «АКРОС» WorkFlow⁶:

1 – давление в затрубье А; 2 – давление на забое, расчет; 3 – давление на устье; 4 – мгновенный расход; 5 – температура поддержания пластового давления; 6 – интервалы закачки

Fig. 5. A graphical example of the period of slurry injection from the WorkFlow software of the AKROS company⁶:

1 – annulus (A) pressure; 2 – bottomhole pressure, calculation; 3 – head pressure; 4 – instantaneous flow rate; 5 – reservoir pressure maintenance temperature; 6 – injection intervals

⁶ Технология обратной закачки отходов бурения в поглощающую скважину как наиболее экологически эффективный способ утилизации отходов // Akros-llc.com. Режим доступа: <https://www.akros-llc.com/innovation/projects/tehnologiiya-obratnoy-zakachki-otkhodov-bureniya-v-pogloshchayushchuyu-skvazhinu-kak-naibolee-ekolo/> (дата обращения: 04.01.2024).



Непрерывный анализ давления и расхода жидкости во время закачки предоставляет бесценную информацию о подземных процессах во время закачки отходов. Поведение давления в процессе мониторинга позволяет инженеру оценить риски закачки и вовремя принять необходимые меры по их снижению [16]. Процесс закачки требует хорошей визуализации параметров, поэтому для этих целей используются специализированные программные продукты, позволяющие автоматически строить графики закачки непосредственно с устьевых и подземных датчиков.

Использование технологии утилизации буровых отходов со всех скважин на наземном проекте позволяет исключить непроизводительное время по причине накопления бурового шлама на рабочей площади [17]. Контроль размещения отходов бурения через скважину исключает всевозможные риски и размещает максимально возможное количество отходов в объекте закачки. При осуществлении данной процедуры проект будет отвечать требованиям нулевого сброса отходов на поверхности и может быть реализован в экологически чувствительных районах, где уделяют особое внимание вопросам, связанным с загрязнением окружающей среды [18].

Результаты исследования и их обсуждение

Данная проблема рассматривает потенциал использования «тектонически экранированных ловушек» в качестве метода утилизации буровых отходов в России. Указанный метод подчеркивает как преимущества, так и проблемы, связанные с этой технологией.

Экологическое преимущество связано с тем, что закачивание буровых отходов в эти ловушки предлагает способ уменьшения хранения отходов на поверхности и минимизации воздействия на окружающую среду, а также связанных с этим затрат. Снижение налоговой нагрузки может потенциально снизить налоговую нагрузку на нефтегазовые компании за счет минимизации хранения отходов и связанных с этим обязательств по окружающей среде. Обработка экологических норм может помочь компаниям соблюдать все более строгие экологические нормы в нефтегазовой отрасли. Проблемы данного метода связаны с разрешением и лицензированием: получение необходимых разрешений и координация лицензий на утилизацию отходов в этих ловуш-

ках в настоящее время являются сложными и трудоемкими процессами.

Тщательные геологические и гидрогеологические исследования имеют важное значение для обеспечения безопасности ресурсов подземных вод и предотвращения загрязнения от утилизации отходов. Обсуждаемая нами проблема предполагает, что разработка этой технологии имеет значительный потенциал для широкого распространения, особенно учитывая растущее внимание к экологически чистым и устойчивым методам производства нефти и газа. Этот сдвиг в отрасли в сочетании с более строгими экологическими правилами и потенциальными налоговыми льготами может создать благоприятную среду для широко распространенной реализации данного метода.

Перекачивание буровых отходов в тектонически экранированные ловушки предлагает многообещающее решение для управления отходами в российской нефтегазовой отрасли. Учитывая проблемы с разрешением и геологической оценкой, этот подход имеет значительные экологические и экономические выгоды.

Заключение

Технология закачки буровых отходов в тектонически экранированные ловушки является инновационной и перспективной для России. На текущий момент широкое ее распространение сдерживается сложностью получения разрешений, согласований лицензий на осуществление деятельности по размещению бурового шлама в тектонически экранированные ловушки, а также необходимостью тщательных геологических и гидрогеологических обоснований для установления защищенности подземных вод от поступления загрязняющих веществ из закаченных в пласт отходов.

В связи с направлением вектора развития нефтегазовой отрасли на экологичное и безотходное производство, ужесточением норм и правил в сфере добычи полезных ископаемых, увеличением налоговых ставок за размещение отходов, а также введением дополнительных коэффициентов при расчете налоговых платежей за негативное воздействие на окружающую среду можно предположить, что развитие методов закачки отходов в пласт, в частности тектонически экранированных ловушек, имеет большой потенциал для повсеместного распространения. Это позволит не-



фтегазовым компаниям сократить объемы отходов бурения, складированных на поверхности земли, снизить налоговую нагрузку, а также

снять будущие экологические обязательства перед контролирующими органами в части размещения буровых отходов на поверхности.

Список источников

1. Даниева И.Р., Валиахметова Ю.А., Акчурина Л.Р. Исследование процесса реагентного капсулирования буровых отходов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. № 5. С. 148–156. <https://doi.org/10.17122/ntj-oil-2023-5-148-156>.
2. Гвоздецкий Я.А. Физико-географическое районирование Тюменской области. М.: Изд-во МГУ, 1973. 248 с.
3. Румянцова А.В., Березюк М.В., Пластинина Ю.В. Обоснование метода утилизации буровых отходов при добыче нефти на основе современных технологий // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15. № 2. EDN: JFDWVF.
4. Антонов Н.А., Сибгатов Д.И., Шайдуплина И.А. Раздельное накопление как один из подходов к обращению с отходами бурения // Энергия молодежи для нефтегазовой индустрии: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Альметьевск, 26–29 сентября 2016 г.). Альметьевск, 2016. Т. 8. № 1. С. 241–242. EDN: YLQVOD.
5. Жабриков С.Ю. Строительный материал как результат переработки отходов бурения по имм-технологии // Теоретические и прикладные аспекты современной науки: сб. II Междунар. науч.-практ. конф. (г. Белгород, 31 августа 2014 г.). Белгород, 2014. № 2-2. С. 190–199.
6. Васильев А.В., Тупицына О.В. Экологическое воздействие буровых шламов и подходы к их переработке // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 5. С. 308–313. EDN: TQGJLN.
7. Онофриенко С.А., Крымов А.В. Современные способы утилизации буровых отходов // Булатовские чтения. Т. 1. С. 361–363. EDN: WTPMQH.
8. Трифионов Н.С. Обоснование перспективных водоносных горизонтов подземной утилизации подтоварных и сточных вод при разработке месторождений Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазоаккумуляции // Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 319. № 1. С. 221–226. EDN: NWHFHZ.
9. Масловец Е.Б., Данышин А.А. Применение технологии обратной закачки с целью утилизации буровых отходов // Тайм юнит. 2013. Режим доступа: <https://timeunit.ru/publications/primenenie-tehnologii-obratnoy-zakachki-c-celu-utilizacii-burovye-othodov> (дата обращения: 15.11.2023).
10. Коршунова Т.Ю., Логинов О.Н. Нефтьшлямы: состояние проблемы в РФ и методы снижения их негативного воздействия на окружающую среду // Экобиотех. 2019. Т. 2. № 1. С. 75–85. <https://doi.org/10.31163/2618-964X-2019-2-1-75-85>. EDN: VXETPC.
11. Середина Т.В., Семисотова О.С., Штунь Е.Е. Технология обратной закачки шлама в пласт как экологический метод утилизации буровых отходов на шельфе Северного Каспия // Геология, география и глобальная энергия. 2015. № 4. С. 126–133. EDN: VHSJRR.
12. Зотов Д.А., Рябый Н.Н. Технология Cutting Reinjection для утилизации буровых отходов на арктическом шельфе // Молодежь. Наука. Инновации. 2022. Т. 1. С. 437–442. EDN: GUREPA.
13. Горбунова О.И., Каницкая Л.В. Вопросы утилизации буровых отходов нефтегазодобычи в Иркутской области и республики Саха (Якутия) // Успехи современного естествознания. 2018. № 7. С. 102–108. EDN: UYSLQJ.
14. Матвеев М.П., Кошелев А.В., Тихомирова Е.И. Существующие и перспективные вызовы, связанные с задачами утилизации отходов буровых работ в Ямало-Ненецком автономном округе // Экосистемные услуги и менеджмент природных ресурсов: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Тюмень, 28–30 ноября 2019 г.). Тюмень, 2020. С. 323–327. EDN: AVINIX.
15. Рыбальченко Ю.М., Самофалов А.С., Онофриенко С.А. Эффективная система глубокой очистки бурового раствора // Актуальные проблемы недропользования: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Новочеркасск, ноябрь 2017 г.). Новочеркасск, 2018. С. 69–71.
16. Мазыкин С.В., Беленко Е.В., Полищук В.П., Бызов А.Ю., Бержец М.С. Изоляция отходов бурения в глубоко залегающие подземные горизонты // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. 2020. № 2. С. 44–48. EDN: HNDRMP.
17. Сурин С.Д., Савич О.И., Филимонов Ю.Л. Захоронение отходов бурения в подземных резервуарах в многолетнемерзлых породах // Научный журнал Российского газового общества. 2020. № 2. С. 36–47. EDN: CRKMB.
18. Шарипова З.Ф., Биктуганова А.Р. Утилизация буровых отходов в районах Крайнего Севера // Инновационные исследования: опыт, проблемы внедрения результатов и пути решения: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. (г. Киров, 15 ноября 2020 г.). Киров, 2020. С. 50–52. EDN: JCUHPN.

References

1. Danieva I.R., Valiakhmetova Yu.A., Akchurina L.R. Investigation of drilling waste reagent encapsulation process. *Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*. 2023;5:148-156. (In Russ.). <https://doi.org/10.17122/ntj-oil-2023-5-148-156>.
2. Gvozdetsky Ya.A. *Physical and geographical zoning of the Tyumen region*. Moscow: Moscow State University; 1973, 248 p. (In Russ.).
3. Rumyantseva A.V., Berezyuk M.V., Plastinina Yu.V. The method rationale of drilling waste disposal in oil production based on modern technologies. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023;15:2. (In Russ.). EDN: JFDWVF.



4. Antonov N.A., Sibgatova D.I. Shaidullina I.A. Separate accumulation as one of approaches to the address with drilling waste. In: *Ehnergiya molodezhi dlya neftegazovoi industrii: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. = Youth energy for the oil and gas industry: materials of the International Scientific and Practical Conference*. 26–29 September 2016, Almet'yevsk. Almet'yevsk; 2016, vol. 8, iss. 1, p. 241-242. (In Russ.). EDN: YLQVOD.
5. Zhabrikov S.Yu. Building material as a result of IMM technology-based waste recycling. In: *Teoreticheskie i prikladnye aspekty sovremennoi nauki: sb. II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. = Theoretical and applied aspects of modern science: collection of the 2nd International Scientific and Practical Conference*. 31 August 2014, Belgorod. Belgorod; 2014, iss. 2-2, p. 190-199. (In Russ.).
6. Vasilyev A.V., Tupitsina O.V. Ecological impact of drilling sludges and approaches to it treatment. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2014;16(5):308-313. (In Russ.). EDN: TQGJLN.
7. Onofrienko S.A., Krymov A.V. Modern methods of drilling waste disposal. *Readings of A.I. Bulatov*. 2021;1:361-363. (In Russ.). EDN: WTPMQH.
8. Trifonov N.S. Rationale for promising aquifers for the underground disposal of substandard and waste water during the development of fields in the Yurubcheno-Tokhom oil and gas accumulation zone. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2011;319(1):221-226. (In Russ.). EDN: NWHFHZ.
9. Maslovets E.B., Danshin A.A. Application of re-injection technology for drilling waste disposal. *Time unit*. 2013. Available from: <https://timeunit.ru/publications/primenenie-tehnologii-obratnoy-zakachki-c-celu-utilizacii-buroveh-othodov> (Accessed 15th November 2023). (In Russ.).
10. Korshunova T.Yu., Loginov O.N. Oil sludge: conditions of the problem in the Russian Federation and methods to reduce their negative influence on the environment. *Ecobiotech*. 2019;2(1):75-85. (In Russ.). <https://doi.org/10.31163/2618-964X-2019-2-1-75-85>. EDN: VXETPC.
11. Seredina T.V., Semisotova O.S., Shtun Ye.Ye. Technology of cuttings re-injection into the reservoir as ecological method of disposal drilling wastes on The Northern Caspian shelf. *Geology, Geography and Global Energy*. 2015;4:126-133. (In Russ.). EDN: VHSJRR.
12. Zotov D.A., Ryabiy N.N. Cutting reinjection technology for disposal of drilling waste on the Arctic shelf. *Molodezh'. Nauka. Innovatsii*. 2022;1:437-442. (In Russ.). EDN: GUREPA.
13. Gorbunova O.I., Kanitskaya L.V. The issues of utilization of drilling wastes of oil and gas industry in the Irkutsk Region and the Republic of Sakha (Yakutia). *Advances in Current Natural Sciences*. 2018;7:102-108. (In Russ.). EDN: UYSLQJ.
14. Matveev M.P., Koshelev A.V., Tikhomirova E.I. Existing and potential challenges related to the tasks of drilling waste disposal in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. In: *Ehkosistemnye uslugi i menedzhment prirodnkh resursov: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. = Ecosystem services and natural resource management: materials of the International scientific and practical conference*. 28–30 November 2019, Tyumen. Tyumen; 2020, p. 323-327. (In Russ.). EDN: ABIHIX.
15. Rybalchenko Yu.M., Samofalov A.S., Onofrienko S.A. Effective system of drilling mud deep cleaning. In: *Aktual'nyye problemy nedropol'zovaniya: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. = Current problems of subsoil use: materials of the International scientific and practical conference*. November 2017, Novocherkassk. Novocherkassk; 2018, p. 69-71. (In Russ.).
16. Mazykin S.V., Belenko E.V., Polischuchenko V.P., Byzov A.Yu., Berzhets M.S. Isolation of drilling waste into deep underground horizons. *Bulletin of the Association of Drilling Contractors*. 2020;2:44-48. (In Russ.). EDN: HNDRMP.
17. Surin S.D., Savich O.I., Filimonov Yu.L. Drilling waste disposal in underground reservoirs in permafrost grounds. *Scientific Journal of the Russian Gas Society*. 2020;2:36-47. (In Russ.). EDN: CRKMBS.
18. Sharipova Z.F., Biktuganova A.R. Drilling waste disposal in the Far North. In: *Innovatsionnye issledovaniya: opyt, problemy vnedreniya rezul'tatov i puti reshe-niya: sb. statei Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. = Innovative research, experience, result implementation problems and solutions: collected articles of the International Scientific and Practical Conference*. 15 November 2020, Kirov. Kirov; 2020, p. 50-52. EDN: JCUHPN.

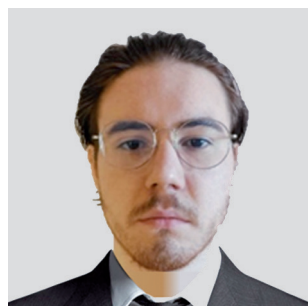
Информация об авторах / Information about the authors



Ушаков Кирилл Владимирович,
специалист отдела разработки месторождений,
ООО «Таас-Юрях Нефтегазодобыча»,
г. Иркутск, Россия,
✉ ushakov14062014@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-5876-9990>
Kirill V. Ushakov,
Specialist of the Field Development Department,
Taas-Yuryakh Neftgazodobycha LLC,
Irkutsk, Russia,
✉ ushakov14062014@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-5876-9990>



Зиновьев Никита Владимирович,
ведущий инженер по надежности,
цех добычи нефти и газа,
ООО «Иркутская нефтяная компания»,
г. Иркутск, Россия,
nikitautrsa@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0008-0305-3534>
Nikita V. Zinoviev,
Leading Reliability Engineer,
Oil and Gas Production Workshop,
Irkutsk Oil Company LLC,
Irkutsk, Russia,
nikitautrsa@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0008-0305-3534>



Ткачев Владислав Валерьевич,
студент,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,
vladislpyp2808@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-6026-901X>
Vladislav V. Tkachev,
Student,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,
vladislpyp2808@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-6026-901X>



Романов Григорий Радионович,
кандидат технических наук,
доцент кафедры нефтегазового дела,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,
rgr@ex.istu.edu
<https://orcid.org/0000-0003-2588-9179>
Grigory R. Romanov,
Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor of the Department of Oil and Gas Engineering,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,
rgr@ex.istu.edu
<https://orcid.org/0000-0003-2588-9179>

Вклад авторов / Contribution of the authors

Н.В. Зиновьев – концептуализация текущей проблемы, управление данными, анализ актуальности проблемы. В.В. Ткачев – разработка алгоритма написания работы.

К.В. Ушаков – ресурсное обеспечение исследования, поиск достоверной информации, написание текста.

Г.Р. Романов – управление проектом, ресурсное обеспечение исследования.

Nikita V. Zinoviev performed conceptualization of the current problem, was responsible for data management and analysis of the problem relevance.

Vladislav V. Tkachev developed the algorithm of the work writing.

Kirill V. Ushakov provided resource support for research, searched for reliable information, wrote the text of the article.

Grigory R. Romanov performed research management and ensured resource support for research.



Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 06.02.2024; одобрена после рецензирования 02.04.2024; принята к публикации 11.04.2024.

The article was submitted 06.02.2024; approved after reviewing 02.04.2024; accepted for publication 11.04.2024.