

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА «ЛЕВОБЕРЕЖНЫЙ» ДЛЯ ЗАХОРОНЕНИЯ ДРЕНАЖНЫХ РАССОЛОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТРУБКИ «УДАЧНАЯ»

Д.М. Татаринов¹*, С.Н. Старостин², И.А. Чичигинов¹, Н.А. Слепцов¹

¹ Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,
г. Якутск, Российская Федерация

² КП РС(Я) «Дороги Арктики», г. Якутск, Российская Федерация

* dm.tatarinov@s-vfu.ru

Аннотация

Статья посвящена исследованию особенностей конструкции гидрогеологических скважин на участке «Левобережный», предназначенных для захоронения дренажных рассолов месторождения трубки «Удачная» в условиях многолетнемерзлых пород Западной Якутии. Актуальность работы обусловлена необходимостью минимизации негативного воздействия алмазодобывающего производства на хрупкую экосистему криолитозоны. Основное внимание уделено проблеме утилизации хлоридных кальциевых рассолов, которые оказывают разрушительное влияние на устойчивость горных пород и горно-шахтное оборудование. В статье представлены результаты бурения 8 скважин глубиной 300 м, выполненных с использованием передвижной буровой установки УКБ-5С. Описаны методы бурения, включая вращательное и ударно-вращательное бурение с применением сжатого воздуха в качестве очистного агента, что позволило достичь выхода керна не менее 80 %. Детально рассмотрена конструкция скважин, включая крепление обсадными трубами и цементирование затрубного пространства для обеспечения устойчивости стволов в условиях воздействия рассолов. Особое внимание уделено технологическим решениям, таким как использование перфорированных колонн с щелевыми фильтрами для предотвращения обвалов и растепления пород. Проведенные гидрогеологические исследования, включая методы кустовых наливов, подтвердили высокую поглощательную способность трещиноватых многолетнемерзлых пород, что делает участок «Левобережный» пригодным для захоронения дренажных вод. Результаты работ показали, что разработанная конструкция скважин и примененные технологии бурения обеспечивают устойчивость и долговечность скважин в сложных геологических условиях. Полученные данные могут быть использованы для дальнейших опытно-промышленных работ и прогнозных расчетов, направленных на безопасное и эффективное захоронение дренажных рассолов.

Ключевые слова: многолетнемерзлые породы, дренажные рассолы, гидрогеологические скважины, бурение, захоронение отходов, трубка «Удачная», участок «Левобережный».

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки

Для цитирования: Татаринов Д.М., Старостин С.Н., Чичигинов И.А., Слепцов Н.А.

Особенности конструкции гидрогеологических скважин на примере участка «Левобережный» для захоронения дренажных рассолов месторождения трубки «Удачная». *Вестник СВФУ*. 2025;(1): 55-61. DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-55-61

FEATURES OF HYDROGEOLOGIC WELLS DESIGN: THE CASE OF THE LEVOBEREZHZHNY SITE FOR BURIAL OF DRAINAGE BRINES OF THE UDACHNAYA PIPE DEPOSIT

Dmitry M. Tatarinov^{1*}, *Stanislav N. Starostin*², *Igor A. Chichiginarov*¹, *Nikolay A. Sleptsov*⁴

¹ M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

² SE RS(Y) "Roads of the Arctic", Yakutsk, Russian Federation

* dm.tatarinov@s-vfu.ru

Abstract

The article is devoted to the study of the design features of hydrogeological wells at the Levoberezhny site, intended for the burial of drainage brines from the Udachnaya pipe deposit in permafrost conditions in Western Yakutia. The relevance of the work is due to the need to minimize the negative impact of diamond mining on the fragile ecosystem of the cryolithozone. The main attention is paid to the problem of utilization of calcium chloride brines, which have a devastating effect on the stability of rocks and mining equipment. The article presents the results of drilling 8 wells with a depth of 300 m, performed using a mobile drilling rig UKB-5S. Drilling methods are described, including rotary and impact-rotary drilling using compressed air as a cleaning agent, which made it possible to achieve a core yield of at least 80 %. The design of wells is considered in detail, including casing fastening and cementing the annular space to ensure the stability of the trunks under the influence of brines. Special attention is paid to technological solutions, such as the use of perforated columns with slit filters to prevent rock collapses and thawing. The hydrogeological studies carried out, including the methods of bush filling, have confirmed the high absorption capacity of fractured permafrost rocks, which makes the Levoberezhny site suitable for the disposal of drainage waters. The results of the work have shown that the developed well design and applied drilling technologies ensure the stability and durability of wells in difficult geological conditions. The data obtained can be used for further pilot production and predictive calculations aimed at safe and efficient disposal of drainage brines.

Keywords: permafrost rocks, drainage brines, hydrogeological wells, drilling, waste disposal, Udachnaya pipe, Levoberezhny site.

Funding. No funding was received for writing this manuscript.

For citation: Tatarinov D.M., Starostin S.N., Chichiginarov I.A., Sleptsov N.A. Features of hydrogeologic wells design: the case of the Levoberezhny site for burial of drainage brines of the Udachnaya pipe deposit. *Vestnik of North-Eastern Federal University. "Earth Sciences"*. 2025;(1):55-61 (in Russian) DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-55-61

Введение

Эффективное использование природных ресурсов и сохранение геологической среды северных регионов являются одними из наиболее актуальных глобальных проблем современности. Уязвимость экосистем, усугубляемая активным промышленным ростом в зонах вечной мерзлоты, нередко становится причиной серьезных экологических нарушений, которые невозможно исправить, особенно в ходе добычи минеральных ресурсов. Алмазодобывающая промышленность Западной Якутии также испытывает на себе влияние этих проблем. В ответ на это компания АК «АЛРОСА» внедрила ряд стратегий, целью которых является минимизация, а в отдельных случаях и полное исключение вредного влияния горнодобывающих работ на экологию. Одной из ключевых проблем являются дренажные и промышленные сточные воды, которые занимают существенную часть в общей массе вредных отходов, возникающих в процессе алмазодобычи.

Отработка глубоких горизонтов крупнейшего месторождения алмазов – трубки «Удачная» – связана с поступлением хлоридных кальциевых рассолов в карьер и в подземные горные выра-

ботки. [1] Они оказывают негативное воздействие на устойчивость горных пород, провоцируя разрушение вследствие снижения их прочностных характеристик, коррозию крепежных элементов и горно-шахтного оборудования, а также усложнение водоотливных операций из-за высокой минерализации флюидов. Данные процессы требуют реализации дополнительных работ, применения стойких материалов и адаптации технологических регламентов для минимизации рисков деформации и нарушения устойчивости подземных выработок.

Возможность использования глубокозалегающих водоносных горизонтов в Западной Якутии для захоронения дренажных рассолов зависят от: региональных гидрогеологических условий, определяющих закрытость подземного резервуара; характера водообмена подземных и поверхностных вод; фильтрационно-емкостных свойств поглощающей водоносной толщи, а также мощности и проницаемости пород перекрывающего мерзлого экрана [2]. Следует отметить, что наиболее благоприятными структурами для утилизации жидких промышленных отходов на севере Якутской алмазоносной провинции являются участки многолетнемерзлых пород, приуроченные к зонам тектонических нарушений. К примеру, за 25-летний период отработки трубки «Удачная» в условиях обводнения уже использовано два полигона захоронения [2].

Данная статья направлена на описание характеристик гидрогеологической скважины, предназначенной для утилизации дренажных вод, на основе проведенных исследований. В работе использовано комплексное моделирование, позволяющее оценить возможность сброса дренажных рассолов в водоносный горизонт.

Геологические и технические условия

Наиболее перспективным участком для организации нового узла закачки рассолов в массив многолетнемерзлых пород является участок «Левобережный» (рис. 1). Основной задачей работ являлось доизучение гидрогеологической структуры и получение исходных данных для постановки опытно-промышленных работ по закачке дренажных вод и выполнению прогнозных расчетов. В рамках проекта на участке «Левобережный» было пробурено 8 скважин, глубиной по 300 м. Назначение скважин – изучение и оценка гидрогеологических структур уч. Левобережный для захоронения дренажных вод и промышленных стоков рудника Удачный. Местоположение скважин на перспективном участке Левобережный выбрано в центральной части отведенной площади – в зоне наибольших высотных отметок поверхности, а также в районе пробуренных и опробованных ранее с положительным результатом скважин для выполнения гидрогеологических исследований методами кустовых наливов.



Рис. 1. Общий вид участка Левобережный

Fig. 1 General view of the Levoberezhny site

Методы и технология бурения

Проходка скважин осуществлялась с использованием передвижной буровой установки УКБ-5С (буровой станок СКБ-5), питаемой от дизельной электростанции ДЭС-60. Бурение выполнялось вращательным и ударно-вращательным (пневмоударным) способами с использованием колонкового бурения диаметром 132 мм (твердосплавная коронка диаметром 112 мм с расширителями) и одинарных колонковых труб диаметром 108 мм. Выход керна составлял не менее 80 %, что позволило детально изучить геолого-литологический разрез, физико-механические свойства пород и гидрогеологические условия.

Геологический разрез участка представлен многолетнемерзлыми породами, характеризующимися высокой трещиноватостью, кавернозностью и льдистостью. Наличие зон трещиноватости и перемежающихся по твердости пород приводило к разрушению керна, что потребовало применения специальных мер: ограничение длины рейса до 0,5 м, снижение подачи очистного агента и частоты вращения, а также бурение «всухую».

Конструкция скважин

Конструкция скважин (рис. 2) была разработана с учетом требований геологического и технического задания, глубины бурения, особенностей геологического разреза, а также параметров оборудования, используемого для гидрогеологических и геофизических исследований.

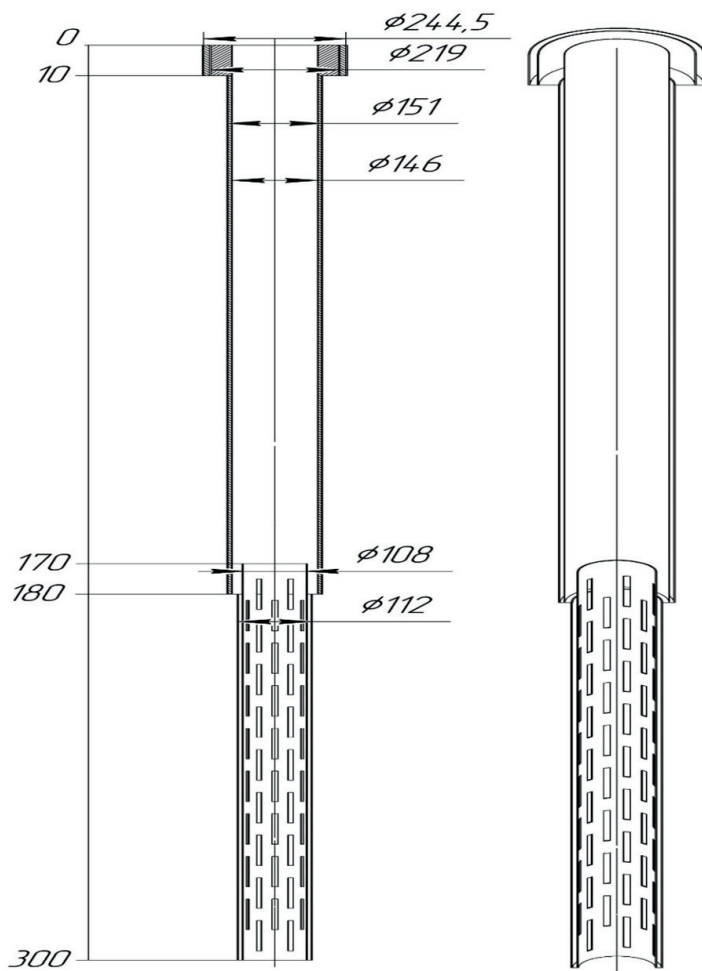


Рис. 2. Конструкция гидрогеологической скважины

Fig. 2 Hydrogeological well design

1. Интервал 0–10 м:

- Проходка выполнялась диаметром 132 мм с отбором керна и последующим расширением до 244,5 мм.
- Интервал укреплялся обсадными трубами диаметром 219 мм.
- Затрубное пространство цементировалось для предотвращения проникновения поверхностных вод и стабилизации неустойчивых пород.

2. Интервал 10–180 м:

- Проходка осуществлялась диаметром 132 мм с расширением до 161 мм.
- Интервал крепился обсадными трубами диаметром 146 мм.
- Цементация затрубного пространства обеспечивала устойчивость стенок скважин в условиях воздействия дренажных рассолов.

3. Интервал 180–300 м:

- Проходка выполнялась диаметром 132 мм с отбором керна.
- Интервал обсаживался перфорированной потайной колонной диаметром 108 мм.
- Фильтр колонны имел щелевую конструкцию с отверстиями размером 1,5×30 см и скважностью 20 %.
- Длина перфорированной части колонны составляла 120 м.

Такая конструкция скважин обеспечила надежную изоляцию интервалов, устойчивость ствола в условиях многолетнемерзлых пород и возможность эффективного проведения гидрогеологических исследований.

Технологические особенности

Проведенные буровые работы на участке «Левобережный» позволили получить значительный объем данных, необходимых для оценки гидрогеологической структуры участка и проектирования системы захоронения дренажных рассолов. Результаты бурения и последующих исследований подтвердили сложность геологического разреза, представленного многолетнемерзлыми породами с высокой степенью трещиноватости и льдистости. Эти особенности оказали существенное влияние на выбор методов бурения, конструкцию скважин и технологические решения.

Использование сжатого воздуха в качестве очистного агента позволило минимизировать коагуляцию трещин и обеспечить высокий выход керна. Для подачи воздуха использовалась компрессорная установка КВ-20/16, а для улучшения выноса шлама и снижения запыленности применялся эжектор. Герметизация устья скважин и отвод запыленного воздуха через специальные трубы обеспечили соблюдение экологических требований и безопасность работ.

Цементирование затрубного пространства обсадных колонн выполнялось с использованием портландцемента ПЦТ-500 с добавлением хлористого кальция для ускорения схватывания при отрицательных температурах. Плотность цементного раствора составила 1,84 г/см³, что обеспечило надежную изоляцию затрубного пространства. Испытания обсадных колонн на герметичность подтвердили их высокую надежность.

Проведенные гидрогеологические и геофизические исследования (рис. 3), включая методы кустовых наливов, позволили оценить фильтрационные свойства пород и их способность к поглощению дренажных рассолов. Установлено, что зоны интенсивной трещиноватости в многолетнемерзлых породах обладают высокой поглотительной способностью, что делает их пригодными для захоронения дренажных вод.

В процессе бурения были выявлены следующие проблемы:

1. Самозаклинивание керна – решено ограничением длины рейса и использованием сжатого воздуха.
2. Растепление пород – предотвращено за счет крепления обсадных колонн и цементирования затрубного пространства.
3. Образование ледяных пробок – минимизировано герметизацией устья и использованием охлажденного сжатого воздуха.



Рис. 3. Выполнение расходомерии с наливом

Fig. 3 Performing flow metering with filling

Заключение

Результаты работ подтвердили, что участок «Левобережный» пригоден для организации узла закачки дренажных рассолов. Конструкция скважин, разработанная с учетом особенностей геологического разреза, обеспечила их устойчивость и долговечность. Полученные данные могут быть использованы для дальнейших опытно-промышленных работ и прогнозных расчетов.

Таким образом, проведенные исследования и примененные технологические решения позволили успешно решить поставленные задачи и создать основу для безопасного и эффективного захоронения дренажных рассолов на участке «Левобережный».

Литература

1. Дроздов А.В., Иост Н.А., Лобанов В.В. Криогидрогеология алмазных месторождений Западной Якутии. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2008:507.
2. Дроздов А.В. Оценка перспективности участка «Левобережный» для захоронения дренажных рассолов трубки «Удачная». *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН*. 2013;(1).
3. Янников А.М. Гидрогеология Далдынского кимберлитового поля: Республика Саха (Якутия). Мирный: АЛРОСА; 2023:305.
4. Агринский А.В. Результаты изучения гидрогеологических условий при разведке одной из кимберлитовых трубок в Западной Якутии. *Тр. ВСЕГИНГЕО*. 1980;(135):48-57.
5. Акишев А.Н. Проектирование сверхглубоких алмазородных карьеров. Проблемы и решения. В кн. *Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием: сборник докладов*. Апатиты- Санкт-Петербург, 2012:160–165.
6. Ильков А.Т. и др. Информационный отчет о выполненных гидрогеологических работах за 2011 год. Мирный, МГРЭ, 2012 г.

References

1. Drozdov AV, Iost NA, Lobanov VV. Cryohydrogeology of diamond deposits in Western Yakutia. Irkutsk: ISTU Publishing House, 2008:507 (in Russian).
1. Drozdov AV. Assessment of the prospects of the “Levoberezhny” site for the burial of drainage brines of the “Udachnaya” pipe. *News of the Siberian Branch of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences*. 2013:1 (in Russian).
2. Yannikov A.M. Hydrogeology of the Daldyn kimberlite field : Sakha Republic (Yakutia). Mirny : ALROSA. 2023:305 (in Russian).

3. Agrinsky AV. Results of studying hydrogeologic conditions during exploration of one of the kimberlite pipes in Western Yakutia. *Tr. VSEGINGEO*. 1980;(135):48-57 (in Russian).

4. Akishev AN. Designing of super-deep diamond ore pits super-deep diamond-ore open pits. Problems and Solutions. *All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation: collection of reports. – Apatity-St. Petersburg*, 2012:160-165 (in Russian).

5. Ilkov AT et al. Informational Report on the performed hydrogeological works for 2011. Mirny, MGRE, 2012 (in Russian).

Об авторах

ТАТАРИНОВ Дмитрий Михайлович, старший преподаватель, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», SPIN: 7884-9640, e-mail: dm.tatarinov@s-vfu.ru

СТАРОСТИН Станислав Николаевич, начальник разработки месторождений, КП РС (Я) «Дороги Арктики», e-mail:

ЧИЧИГИНАРОВ Игорь Александрович, студент, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», email: igorykt02@gmail.com

СЛЕПЦОВ Николай Александрович, студент, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», email: slepsovnicola@gmail.com

About the authors

Dmitry M. TATARINOV, Senior Lecturer, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, SPIN: 7884-9640, e-mail: dm.tatarinov@s-vfu.ru

Stanislav N. STAROSTIN, Head of Field Development, State Enterprise of the Sakha Republic (Yakutia) “Roads of the Arctic”, e-mail:

Igor A. CHICHIGINAROV, student, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, email: igorykt02@gmail.com

Nikolay A. SLEPTSOV, student, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, email: slepsovnicola@gmail.com

Вклад авторов

Татаринов Д.М. – разработка концепции, методология

Старостин С.Н. – ресурсное обеспечение исследования

Чичигинаров И.А. – проведение статистического анализа

Слепцов Н.А. – проведение статистического анализа

Authors' contribution

Tatarinov D.M. – conceptualization, methodology

Starostin S.N. – resources

Chichiginarov I.A. – formal analysis

Sleptsov N.A. – formal analysis

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию / Submitted 21.02.25

Принята к публикации / Accepted 03.03.25