

## Повышение эффективности проходки скважин при подземной отработке месторождений

В.В. Арно<sup>1</sup> ✉, Е.П. Колесниченко<sup>2</sup>, И.Ю. Гарифулина<sup>1</sup>, П.Е. Шаров<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Российская Федерация

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

✉ [vvnika@mail.ru](mailto:vvnika@mail.ru)

**Резюме:** В статье рассматривается проблема стабилизации стенок скважин при бурении в нестабильных глинистых и аргиллитовых породах, характеризующихся неоднородностью грунтов, высокими давлениями и температурой глубоких горизонтов. Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки эффективных технологий и материалов, способных повысить устойчивость скважин и снизить потери бурового раствора, что критично для безопасности и эффективности горных работ. В работе представлен анализ применения мультифункционального агента X-TEND 400 на рудниках «Двойной» и «Купол». В качестве материалов исследования использовались данные полевых испытаний, буровые растворы с добавлением агента в концентрациях 1–3 кг/м<sup>3</sup>, а также результаты измерений стабильности стенок, адгезии и потерь раствора. Методы включали комплексную оценку физических свойств пород, анализ технологических параметров бурения и количественную характеристику эффективности агента. Результаты показали значительное улучшение стабильности стенок и снижение потерь бурового раствора при использовании X-TEND 400, что подтвердило его технологическую и экономическую целесообразность. Выводы исследования рекомендуют применение X-TEND 400 для оптимизации буровых процессов в сложных геологических условиях.

**Ключевые слова:** бурение скважин, геомеханическая нестабильность, мультифункциональный агент, укрепление ствола, производительность бурения, безопасность буровых работ

**Благодарности:** Выражаем искреннюю благодарность горному инженеру Максиму Ивановичу Каюда, проходчику рудника «Купол» АО «Чукотская горно-геологическая компания», за ценный вклад в формирование идей исследования, а также за помощь в сборе и предоставлении материалов по мультифункциональному агенту X-TEND 400, который он непосредственно применял в своей практической деятельности. Его профессиональный опыт и участие в работе повысили качество и практическую значимость данного исследования.

**Для цитирования:** Арно В.В., Колесниченко Е.П., Гарифулина И.Ю., Шаров П.Е. Повышение эффективности проходки скважин при подземной отработке месторождений. *Горная промышленность*. 2026;(1):68–72. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-1-68-72>

## Increasing the efficiency of borehole drilling in underground mining

V.V. Arno<sup>1</sup> ✉, E.P. Kolesnichenko<sup>2</sup>, I.Yu. Garifulina<sup>1</sup>, P.E. Sharov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> North-Eastern State University, Magadan, Russian Federation

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

✉ [vvnika@mail.ru](mailto:vvnika@mail.ru)

**Abstract:** The article discusses the problem of stabilizing borehole walls when drilling in unstable clayey and mudstone formations, which are characterized by soil heterogeneity, high pressures, and high temperatures at deep levels. The relevance of this research is explained by the need to develop efficient technologies and materials that can improve borehole stability and reduce drilling fluid losses, which is crucial for the safety and efficiency of mining operations. The article analyzes the use of the X-TEND 400 multifunctional agent at the Dvoynoy and Kupol mines. The study uses field test data, drilling fluids with the agent concentrations of 1–3 kg/m<sup>3</sup>, and measurements of wall stability, adhesion, and loss of the drilling fluid. The methods included a comprehensive assessment of rock physical properties, analysis of drilling process parameters, and quantitative assessment of the agent's efficiency. The results showed a significant improvement in the wall stability and a decrease in the drilling fluid loss when using X-TEND 400, which confirmed its technological and economic feasibility. The study's findings recommend the use of X-TEND 400 to optimize the drilling process in challenging geological conditions.

**Keywords:** borehole drilling, geomechanical instability, multifunctional agent, borehole reinforcement, drilling performance, safety of drilling operations

**Acknowledgments:** The authors express our sincere gratitude to mining engineer Maxim Ivanovich Kayuda, a drift miner at the Kupol mine of the Chukotka Mining and Geological Company JSC Chukotka Mining and Geological Company, for his valuable contribution to shaping the research ideas, as well as for his assistance in collecting and providing materials on the X-TEND 400

multifunctional agent, which he personally used in his practical work. His professional experience and involvement in the work have increased the quality and practical significance of this research.

**For citation:** Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifulina I.Yu., Sharov P.E. Increasing the efficiency of borehole drilling in underground mining. *Russian Mining Industry*. 2026;(1):68–72. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-1-68-72>

## Введение

В процессе бурения скважин, особенно в нестабильных глинистых и аргиллитовых породах, возникают серьезные проблемы, которые могут привести к обрушению ствола скважины [1–3]. Природа этих проблем кроется в неоднородности грунтов, высоких давлениях и температуре, характерных для глубоких горизонтов. Так, резкое увеличение объемов наклонного и горизонтального бурения подчеркивает актуальность разработки эффективных решений, направленных на минимизацию рисков, связанных с геомеханической нестабильностью. Стабильность стенок скважин является одной из актуальных проблем в горнодобывающей отрасли, особенно при бурении в сложных геологических условиях, таких как нестабильные глинистые и аргиллитовые породы [4–6]. Нестабильность пород, неоднородность грунтов, высокие давления и температура глубоких горизонтов часто приводят к обрушениям стволов скважин, поглощению бурового раствора и замедлению буровых работ. Увеличение объемов наклонного и горизонтального бурения подчеркивает необходимость разработки новых технологий, способных обеспечить надежную стабилизацию стенок, снизить риски для персонала и минимизировать экономические потери. Современные методы подготовки и укрепления стволов зачастую не отвечают требованиям, предъявляемым при работе в сложных породах, что делает особенно важным создание высокоэффективных материалов и технологий, таких как мультифункциональный агент X-TEND 400.

Целью данного исследования является оценка эффективности мультифункционального агента X-TEND 400 в стабилизации стенок скважин и снижении потерь бурового раствора при бурении в нестабильных горных породах на примере применения на рудниках «Двойной» и «Купол». Основная задача – определить оптимальные условия применения агента, включая концентрацию и методы введения, а также оценить улучшения в технологических характеристиках бурения и повышение безопасности работ.

## Объект исследования

Исследования проводились на руднике «Купол». При этом предварительные полевые испытания данного агента были проведены на руднике «Двойной» в 2013 г., где он продемонстрировал успешные результаты при остановке воды и стабилизации стенок скважин в нестабильных породах.

## Материалы и методы

Исследование базировалось на полевых и лабораторных испытаниях мультифункционального агента X-TEND 400, гранулированного полимерного материала, способного к значительному разбуханию и блокированию пор в породах.

Испытания проходили на рудниках «Двойной» и «Купол» в условиях нестабильных глинистых и аргиллитовых пород. На руднике «Двойной» проводилось бурение скважин глубиной до 65 м с воздействием на грунтовые воды в водонесном горизонте глубиной 8 м, где X-TEND 400 применялся для создания непроницаемого барьера путем заполнения пор в породах. На руднике «Купол» агент использовался для стабилизации стенок скважин, подверженных постоянным обрушениям на менее устойчивых породах (крепость до 13 по Протодюконову).

Агент добавляли в буровой раствор в диапазоне концентраций 1–3 кг/м<sup>3</sup>, а также непосредственно вводили через трубы, прокачивая на забой в количестве 0,5–2,0 кг при поднятом керноприемнике для ликвидации зон поглощения. Оценка эффективности агента осуществлялась по параметрам стабильности стенок, потерь бурового раствора и восстановлению циркуляции раствора [7–10].

Для анализа использовались методики измерения физико-механических свойств пород, количественная оценка адгезии агента, а также сравнительный анализ эксплуатационных данных до и после применения X-TEND 400, представленных в таблицах и проиллюстрированных графиками.

## Результаты

Результаты внедрения технологии на руднике «Купол» на менее устойчивых породах (крепость до 13 по М.М. Протодюконову) при условии того, что опускание бурового става провоцировало постоянное обрушение устья скважин, следующие.

В ходе тестирования при данных условиях этот полимер показал также высокую степень адгезии, что позволяет ему эффективно забивать поры в породах, создавая непроницаемый барьер, тем самым увеличивая эффективность проходки скважин (табл. 1).

Добавление X-TEND 400 в буровой раствор осуществлялось в концентрации от 1 до 3 кг/м<sup>3</sup> для обеспечения

**Таблица 1**  
Проблемы, возникающие при бурении скважин в сложных породах

Проблема	Причины и факторы	Последствия
Обрушение ствола скважины	Неоднородность грунтов, высокая влажность, давление, температура	Простой установки, дополнительные затраты и риски для персонала
Поглощение бурового раствора	Зоны крупнопористых пород, трещиноватость	Потеря циркуляции раствора, снижение эффективности бурения
Нестабильность пород	Глинистые и аргиллитовые слои, слабая связность	Повышенная опасность обвалов и деформаций
Недостаточная эффективность крепления	Ограниченная адгезия и прочность традиционных материалов	Повышенные затраты на ремонт и дополнительные работы

**Table 1**  
Challenges arising when drilling boreholes in complex rock formations

Таблица 2  
Основные параметры и характеристики мультифункционального агента X-TEND 400

Параметр	Значение/диапазон	Описание
Концентрация применения в буровом растворе	1–3 кг/м <sup>3</sup>	Оптимальный баланс эффективности и экономичности
Метод введения	Через трубы при поднятом керноприемнике	Обеспечивает равномерное распространение в породе
Поглощение воды	До 400 крат	Обеспечивает блокировку пор и стабилизацию стенок
Адгезия	Высокая	Стабилизация структур пород, предотвращение обрушений
Эффект	Улучшение циркуляции бурового раствора, снижение потерь	Повышение производительности и безопасности бурения

Table 2  
Key parameters and characteristics of the X-TEND 400 multifunctional agent

оптимального баланса между эффективностью и экономичностью применения (табл. 2).

Особенно важно, что при ликвидации зон поглощения полимер вводился через трубы при поднятом керноприемнике в количестве от 0,5 до 2,0 кг и прокачивался на забой. Это значимо способствовало качественному протеканию процесса бурения в трудных условиях, позволяя избежать множества проблем, связанных с нестабильностью проходки [11–13]. Итоги тестирования X-TEND 400 на рудниках «Двойной» и «Купол» представлены в табл. 3.

Анализ итогов тестирования и графика изменения стабильности стенок скважин и адгезии агента X-TEND 400 по концентрации показывает следующие ключевые моменты:

**1. Влияние концентрации на стабильность стенок скважин.** С увеличением концентрации агента с 0 до 3 кг/м<sup>3</sup> наблюдается значительный рост стабильности стенок. На начальном этапе (0–1 кг/м<sup>3</sup>) рост менее резкий, что свидетельствует о необходимости достижения минимальной эффективной концентрации для заметного эффекта. При концентрации около 2 кг/м<sup>3</sup> стабильность достигает порядка 90%, после чего эффект начинает стабилизироваться, что указывает на оптимальный диапазон применения. Это подтверждает, что X-TEND 400 создает прочный барьер, существенно укрепляющий породы, снижая риск обрушения скважин.

**2. Адгезия агента как ключевой фактор эффективности.** График адгезии (рис. 1) также показывает увеличение с возрастанием концентрации, причем наиболее интенсивный рост наблюдается в диапазоне 0,5–2 кг/м<sup>3</sup>.

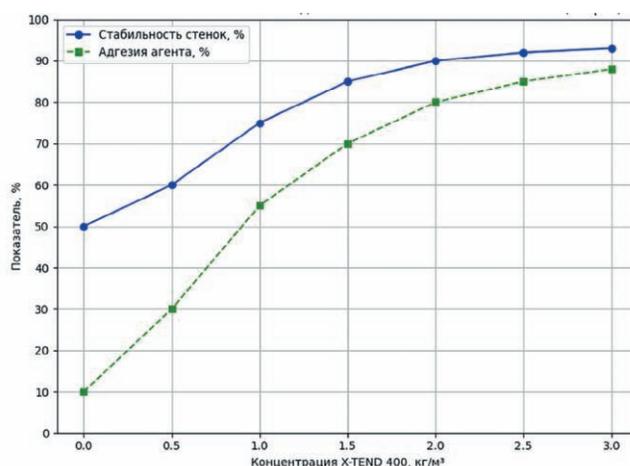


Рис. 1  
Изменение стабильности стенок скважин и адгезии агента в зависимости от концентрации X-TEND 400

Fig. 1  
Changes in the borehole wall stability and agent adhesion depending on the X-TEND 400 concentration

Таблица 3  
Итоги тестирования X-TEND 400 на рудниках «Двойной» и «Купол»

Рудник	Условия применения	Результаты
«Двойной»	Глинистые породы, глубина 65 м	Создание гидроизоляционного барьера, стабилизация стенок скважин
«Купол»	Менее устойчивые породы (крепость до 13 по Протоdjяконову)	Уменьшение обрушений устья, улучшение проходки, снижение потерь бурового раствора

Table 3  
Results of X-TEND 400 testing at the Dvoynoy and Kupol mines

Таблица 4  
Итоги тестирования X-TEND 400 на рудниках «Двойной» и «Купол» в процентном соотношении

Показатель	До применения X-TEND 400	После применения X-TEND 400	Изменение, %
Уровень обрушений, %	25	5	–80%
Потери бурового раствора, м <sup>3</sup>	150	30	–80%
Скорость восстановления циркуляции, л/мин	10	40	+300%

Table 4  
Results of X-TEND 400 testing at the Dvoynoy and Kupol mines in % ratio

Высокая адгезия обеспечивает проникновение и закрепление агента на поверхностях пород, что напрямую влияет на формирование водоупорного барьера и предотвращение поглощения бурового раствора. При концентрациях выше 2,5 кг/м<sup>3</sup> рост адгезии замедляется, что может говорить о насыщении пор и снижении отдачи от увеличения дозы.

**3. Оптимизация расхода и эффективности.** По данным графика и таблиц эффективным интервалом дозирования является 1–3 кг/м<sup>3</sup>, когда достигается максимально возможный положительный эффект на стабильность и адгезию при разумных экономических затратах. Резкое повышение эффективности наблюдается именно в этом диапазоне, что соответствует результатам тестирования на рудниках «Двойной» и «Купол».

**4. Практическое значение.** Усиление устойчивости стенок и повышение адгезии ведут к снижению обрушений, минимизации потерь бурового раствора и ускорению процесса бурения. Следовательно, использование X-TEND 400 в рекомендуемых концентрациях экономически оправданно и технологически адекватно, заметно улучшая показатели безопасности и производительности буровых работ.

## Заключение

Проведенное исследование и результаты тестирования мультифункционального агента X-TEND 400 показали его высокую эффективность в стабилизации стенок скважин и снижении потерь бурового раствора при бурении в сложных геологических условиях, включая нестабильные глинистые и аргиллитовые породы. Агент отличается высокой адгезией и способностью создавать прочный непроницаемый барьер, что способствует предотвращению обрушений и обеспечивает стабильную проходку. Оптимальный диапазон концентраций 1–3 кг/м<sup>3</sup> позволяет достичь баланса между эффективностью и экономичностью применения. Практическое использование X-TEND 400 на рудниках «Двойной» и «Купол» подтвердило его надежность и технологическую адекватность, что делает этот материал рекомендуемым для широкого применения в горнодобывающей промышленности с целью повышения производительности, безопасности и снижения экономических потерь.

## Вклад авторов

В.В. Арно, И.Ю. Гарифулина – идея исследований, формулировка конфликта текущей парадигмы и новых фактов, написание научной работы; В.В. Арно, Е.П. Колесниченко, П.Е. Шаров – оценка результатов и коррекция написанной работы; Е.П. Колесниченко – выборка и сбор материала для исследований.

## Author's Contribution

Veronika V. Arno, Eva P. Kolesnichenko – research idea, defining the conflict between the current paradigm and new facts, writing the research paper; Veronika V. Arno, Eva P. Kolesnichenko, Pavel E. Sharov – evaluating the results and editing the paper; Eva P. Kolesnichenko – selecting and collecting material for the research

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

## Список литературы / References

1. Бакирова А.Д., Шаляпин Д.В., Бабушкин Э.В., Бакиров Д.Л., Кузнецов В.Г. Проблемы и решения, возникающие при бурении скважин в неустойчивых глинисто-аргиллитовых породах. *Известия высших учебных заведений. Нефть и газ*. 2020;(2):18–25. <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2020-2-18-25>  
Bakirova A.D., Shalyapin D.V., Babushkin E.V., Bakirov D.L., Kuznetsov V.G. Well drilling in weak clay-claystone rocks: challenges and remedies. *Oil and Gas Studies*. 2020;(2):18–25. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2020-2-18-25>
2. Хуббатов А.А., Гайдаров А.М., Норов А.Д., Гайдаров М.М.Р. Ингибирующие буровые растворы и устойчивость глинистых пород. *Нефтяное хозяйство*. 2015;(5):64–67. Режим доступа: [https://oil-industry.net/Journal/archive\\_detail.php?art=228002](https://oil-industry.net/Journal/archive_detail.php?art=228002) (дата обращения: 09.09.2025).  
Khubbatov A.A., Gaydarov A.M., Norov A.D., Gaydarov M.M.R. The inhibiting drilling muds and stability of clay rocks. *Neftyanoe Khozyaystvo*. 2015;(5):64–67. (In Russ.) Available at: [https://oil-industry.net/Journal/archive\\_detail.php?art=228002](https://oil-industry.net/Journal/archive_detail.php?art=228002) (accessed: 09.09.2025).
3. Храменков М.Г., Храменков Э.М., Петруха В.В. Особенности набухания глинистых пород в растворах электролитов. *Нефтяное хозяйство*. 2015;(9):62–63. Режим доступа: [https://oil-industry.net/Journal/archive\\_detail.php?ID=10517&art=227765](https://oil-industry.net/Journal/archive_detail.php?ID=10517&art=227765) (дата обращения: 09.09.2025).  
Khrumchenkov M.G., Khrumchenkov E.M., Petrukha V.V. The peculiarities of clayey rock swelling in electrolyte solutions. *Neftyanoe Khozyaystvo*. 2015;(9):62–63. (In Russ.) Available at: [https://oil-industry.net/Journal/archive\\_detail.php?ID=10517&art=227765](https://oil-industry.net/Journal/archive_detail.php?ID=10517&art=227765) (accessed: 09.09.2025).
4. Конесев В.Г., Арестов А.А., Тептерева Г.А. Опыт проводки скважин в условиях нестабильных аргиллитовых отложений на месторождениях ПАО «Газпром нефть». проблематика и решения. *Нефтегазовое дело*. 2021;19(5):31–42. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2021-5-31-42>  
Konesev V.G., Arestov A.A., Teptereva G.A. Experience in driving wells in conditions of unstable argillite deposits at the fields of Gazprom Neft PJSC problems and solutions. *Neftgazovoe Delo*. 2021;19(5):31–42. (In Russ.) <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2021-5-31-42>

5. Блинов П.А. Определение устойчивости стенок скважины при проходке интервалов слабосвязных горных пород с учетом зенитного угла. Записки *Горного института*. 2019;236:172–179. <https://doi.org/10.31897/PMI.2019.2.172>  
Blinov P.A. Determining the stability of the borehole walls at drilling intervals of loosely coupled rocks considering zenith angle. *Journal of Mining Institute*. 2019;236:172–179. <https://doi.org/10.31897/PMI.2019.2.172>
6. Кузнецов В.Г., Куванаев Р.М. Обзор современных методов обеспечения устойчивости стенок скважины. *Деловой журнал NEFTEGAZ.RU*. 2017;(2):44–47. Режим доступа: <https://neftegaz.ru/science/development/331545-obzor-sovremennykh-metodov-obespecheniya-ustoychivosti-stenok-skvazhiny/> (дата обращения: 12.09.2025).  
Kuznetsov V.G., Kuvanaev R.M. Overview of modern methods for ensuring wellbore stability. *NEFTEGAZ.RU*. 2017;(2):44–47. (In Russ.) Available at: <https://neftegaz.ru/science/development/331545-obzor-sovremennykh-metodov-obespecheniya-ustoychivosti-stenok-skvazhiny/> (accessed: 12.09.2025).
7. Пушмин П.С. Некоторые причины нарушения устойчивости стенок скважин. *Известия Сибирского отделения РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений*. 2016;(2):61–65.  
Pushmin P.S. Some causes of well wall stability loss. *Izvestiya Sibirskogo Otdeleniya RAEN. Geologiya, Poiski i Razvedka Rudnykh Mestorozhdenii*. 2016;(2):61–65. (In Russ.)
8. Котельников С.А., Ким Д.Л. Результаты первого применения минерализованного бурового раствора с микрокольматантами без карбоната кальция. *Инженерная практика*. 2025;(1-2):45–52.  
Kotelnikov S.A., Kim D.L. Results of the first application of mineralized drilling mud with microcolmatants without calcium carbonate. *Inzhenernaya Praktika*. 2025;(1-2):45–52. (In Russ.)
9. Раупов И.Р., Рогачев М.К., Сытник Ю.А. Разработка полимерных составов для внутрипластовой водоизоляции с применением отходов нефтехимической промышленности. *Инженерная практика*. 2024;(11-12):88–90.  
Raupov I.R., Rogachev M.K., Sytnik Yu.A. Development of polymer compositions for in-situ water isolation using petrochemical industry waste. *Inzhenernaya Praktika*. 2024;(11-12):88–90. (In Russ.)
10. Паршукова Л.А. К вопросу устойчивости ствола скважины при бурении в терригенных породах. *Экспозиция Нефть Газ*. 2024;(4):28–31. <https://doi.org/10.24412/2076-6785-2024-4-28-31>  
Parshukova L.A. On the issue of borehole stability during drilling in terrigenous rocks. *Exposition Oil Gas*. 2024;(4):28–31. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2076-6785-2024-4-28-31>
11. Третьяк А.Я. Технологии улучшения очистки ствола скважины. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2024;335(6):7–13. <https://doi.org/10.18799/24131830/2024/6/4716>  
Tretyak A.Ya. Technologies to improve wellbore cleaning. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2024;335(6):7–13. (In Russ.) <https://doi.org/10.18799/24131830/2024/6/4716>
12. Ламбин А.И. Показатели эффективности удаления шлама при бурении наклонно направленных скважин. *Наука о Земле и недпользование*. 2022;45(3):285–293. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2022-45-3-285-293>  
Lambin A.I. Indicators of cutting removal efficiency when drilling directional wells. *Earth Sciences and Subsoil Use*. 2022;45(3):285–293. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2022-45-3-285-293>
13. Егорова Е.В., Пуля Ю.А. К вопросу оценки ингибирующей способности буровых растворов. *Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета*. 2009;(1):21–25.  
Egorova E.V., Pulya Yu.A. Development of polymer compositions for in-situ water isolation using petrochemical industry waste. *Vestnik Severo-Kavkazskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*. 2009;(1):21–25. (In Russ.)

**Информация об авторах**

**Арно Вероника Владимировна** – кандидат технических наук, доцент Политехнического института, Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Российская Федерация; e-mail: [vvnika@mail.ru](mailto:vvnika@mail.ru)

**Колесниченко Ева Павловна** – студент направления подготовки «Государственный и муниципальный аудит» Высшей школы государственного аудита, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация; e-mail: [kollesnicheva@gmail.com](mailto:kollesnicheva@gmail.com)

**Гарифулина Ирина Юрьевна** – старший преподаватель кафедры геологии и горного дела Политехнического института, Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Российская Федерация; e-mail: [irina-kajtukova@yandex.ru](mailto:irina-kajtukova@yandex.ru)

**Шаров Павел Егорович** – студент направления подготовки «Горное дело» Политехнического института, Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Российская Федерация; e-mail: [Sharov.pavel2005@gmail.com](mailto:Sharov.pavel2005@gmail.com)

**Information about the authors**

**Veronika V. Arno** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Polytechnic Institute, North-Eastern State University, Magadan, Russian Federation; e-mail: [vvnika@mail.ru](mailto:vvnika@mail.ru)

**Eva P. Kolesnichenko** – Student of the field of training “State and Municipal Audit”, Higher School of Public Audit, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation; e-mail: [kolesnicheva@gmail.com](mailto:kolesnicheva@gmail.com)

**Irina Yu. Garifulina** – Senior Lecturer of the Department of Geology and Mining, Polytechnic Institute, North-Eastern State University, Magadan, Russian Federation; e-mail: [irina-kajtukova@yandex.ru](mailto:irina-kajtukova@yandex.ru)

**Pavel E. Sharov** – Student of the field of “Mining”, Polytechnic Institute, North-Eastern State University, Magadan, Russian Federation; e-mail: [Sharov.pavel2005@gmail.com](mailto:Sharov.pavel2005@gmail.com)

**Article info**

Received: 27.10.2025

Revised: 16.12.2025

Accepted: 17.12.2025

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 27.10.2025

Поступила после рецензирования: 16.12.2025

Принята к публикации: 17.12.2025