

Геолого-структурный анализ месторождения арылах (Магаданская область) и адаптация технологий добычи на современном этапе

В. В. Арно^{1✉}, Е. П. Колесниченко², И. Ю. Гарифулина¹,
Н. Е. Ломакина¹, Е. С. Семькин¹

¹ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет (Политехнический институт)», г. Магадан,
Российская Федерация

²Высшая школа государственного аудита МГУ имени М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация
✉ vvnika@mail.ru

Аннотация: Проведен геолого-структурный анализ месторождения Арылах, расположенного в Среднеканском районе Магаданской области, одного из ключевых объектов золото-серебряного оруденения региона. Особое внимание уделено влиянию геологических и метаморфических характеристик на выбор и адаптацию методов добычи в современных условиях. Детально рассмотрены литологические особенности, структуры разломов, горно-геологические условия сложного многолетнемерзлого массива, а также применимые и рекомендованные технологии разработки. На основе анализа современных горнотехнических решений обоснована оптимизация системы разработки с внедрением камерно-столбовой системы и цифровых технологий, направленных на повышение эффективности и безопасности производства.

Ключевые слова: месторождение Арылах, геолого-структурный анализ, золото-серебряное оруденение, способы отработки, многолетняя мерзлота, камерно-столбовая система, цифровые технологии, геомеханическое моделирование, экологическая безопасность

Благодарности, признательность, финансирование: Авторы выражают благодарность коллегам и сотрудникам ОАО «Полиметалл» за предоставленные материалы и консультации. Финансирование исследования осуществлено за счет собственных средств.

Для цитирования: Арно В.В., Колесниченко Е.П., Гарифулина И.Ю., Ломакина Н.Е., Семькин Е.С. Геолого-структурный анализ месторождения Арылах (Магаданская область) и адаптация технологий добычи на современном этапе. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(5):49-54. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-5-49-54>.

Geological and structural analysis of the arylyakh deposit (Magadan region) and adaptation of mining technologies at the current stage

V. V. Arno^{1✉}, E. P. Kolesnichenko², I. Y. Garifulina¹,
N. E. Lomakina¹, E. S. Semykin¹

¹North-Eastern State University (Polytechnic Institute), Magadan, Russian Federation

²Higher School of Economics of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation
✉ vvnika@mail.ru

Abstract: The article provides a geological and structural analysis of the Arylyakh deposit, located in the Srednekansky District of the Magadan Region, one of the key gold-silver ore deposits in the region. Special attention is given to the influence of geological and metamorphic characteristics on the selection and adaptation of mining methods in modern conditions. The article provides a detailed examination of the lithological features, fault structures, and mining and geological conditions of the complex permafrost massif, as well as the applicable and recommended mining technologies. Based on the analysis of modern mining solutions, the optimization of the mining system has been substantiated by introducing a chamber-pillar system and digital technologies aimed at improving the efficiency and safety of production.

© Арно В. В., Колесниченко Е. П., Гарифулина И. Ю., Ломакина Н. Е., Семькин Е. С., 2025

Keywords: Arylyakh deposit, geological and structural analysis, gold-silver mineralization, mining methods, permafrost, chamber-pillar system, digital technologies, geomechanical modeling, and environmental safety

Acknowledgments, funding, financial Support: The authors express their gratitude to colleagues and employees of Polymetal JSC for the provided materials and consultations. The research was funded by the authors' own resources.

For citation: Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifulin I.Y., Lomakina N.E., Semykin E.S. Geological and structural analysis of the Arylyakh deposit (Magadan region) and adaptation of mining technologies at the current stage. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(5):49-54. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-5-49-54>.

Введение

Месторождение Арылах, расположенное в Среднеканском районе Магаданской области, – одно из ключевых месторождений золота и серебра в Магаданской области, обладающее сложной геолого-структурной характеристикой. Сложность строения и условия залегания руды обуславливают необходимость адаптивного выбора методов добычи с целью максимизации извлечения полезного компонента и минимизации потерь.

С 2019 года применяется поэтапная выемка с закладкой. Однако в связи с новыми технологическими возможностями и изменениями горно-геологических условий проведение обновленного анализа и рекомендации оптимального метода разработки на 2025 год являются актуальными задачами.

Цель исследований: обоснование оптимального выбора и адаптации современных способов разработки и горнотехнических решений для месторождения Арылах с учетом его геолого-структурных, литологических и метаморфических особенностей, а также влияния многолетней мерзлоты на устойчивость массива.

Исследование направлено на повышение эффективности, безопасности и экологической устойчивости добычи путем внедрения камерно-столбовой системы и цифровых технологий, адаптированных к сложным горно-геологическим условиям региона.

Материал и методы исследований

Геологический анализ основан на материалах бурения, геофизических исследованиях и документации ОАО «Полиметалл».

Методы исследования включают структурный анализ разломных систем, изучение морфологии жил, анализ минерального состава и типологических характеристик горных пород. Оценка горно-геологических условий включает изучение устойчивости пород и анализа температурного режима, влияющего на мерзлотные процессы. Анализ систем разработки основан на данных эксплуатации, а также моделировании и оптимизации горнотехнических процессов.

Результаты исследований

Месторождение располагается в Балыгычано-Сугойской зоне и включает рудные тела сульфидно-кварцевого состава, приуроченные к сбросовым нарушениям с простиранием около 30°. Ключевыми являются рудные зоны VII (48,7 % руды, 50 % серебра) с углом падения 70–90° и апофизы зон VIII и IX с высоким содержанием серебра. Вмещающие породы представлены терригенными и вулканогенными образованиями: риолитами, андезитами, туфами и алевролитами. Породы характеризуются высокой трещиноватостью и изменчивой устойчивостью.

Основные геолого-структурные, литологические и ме-

таморфические особенности месторождения, влияющие на методы разработки и горнотехнические решения, приведены в таблице 1.

Таблица 1 / Table 1

Геологическое и метаморфическое строение месторождения Арылах / Geological and metamorphic structure of the Arylyakh deposit

Параметр / Parameter	Значение / Characteristic
Расположение	Балыгычано-Сугойская структурно-металлогеническая зона
Тип рудных тел	Сульфидно-кварцевые жилы приурочены к сбросовым нарушениям
Основные рудные зоны	Зона VII (48,7 % руды, 50 % серебра), простирание – 30°, падение – 70–90°, апофизы зон VIII и IX с высоким содержанием серебра
Вмещающие породы	Риолиты, андезиты, туфы, алевролиты
Трещиноватость и устойчивость	Высокая трещиноватость, изменчивая устойчивость от слабоустойчивых до устойчивых пород
Металлический состав	Серебро (акантит), галенит, сфалерит
Степень окисления руд	Высокая
Литологический контроль	Благоприятные породы терригенного и вулканогенного происхождения
Метасоматические изменения	Гидротермальные кварц-серицитовые, кварц-хлорит-серицитовые, карбонат-хлоритовые метасоматиты
Стадии метасоматоза	1. Дорудная стадия: пропилитизация (эпидот-хлоритовая, карбонат-хлоритовая фации). 2. Аргиллизация (образование каолинита, серицита). 3. Окварцевание с сульфидизацией (формирование кварцевых жил с сульфидами)
Тектонические особенности	Пересечение Гижигинского, Доктомычанского, Хивачского глубинных разломов, блоковое строение массива
Влияние мерзлоты	Многолетнемерзлые породы мощностью до 300 м, влияющие на трещиноватость и устойчивость
Гидрогеологические условия	Обводненность низкая, слои воды представлены над и под мерзлотой, водоотлив не требуется

Геологическое строение месторождения представлено вулканогенными образованиями верхнего мела и характеризуется двумя основными горизонтами (табл. 2).

При этом метасоматические преобразования во вмещающих породах месторождения Арылах приводят к существенному изменению их горнотехнических характеристик, что важно учитывать при проектировании способов разработки и крепления горных выработок [1–4].

Таблица 2 / Table 2

Геологическое строение месторождения Арылах с включением характеристик по основным горизонтам и стадиям метасоматоза / Geological structure of the Arylyakh deposit, including characteristics of the main horizons and stages of metasomatism

Параметр / Parameter	Значение / Characteristic
Горизонт	Нижний горизонт
Литологический состав	Лавы андезито-дацитового состава
Мощность, м	40–100
Особенности	Вмещающий базовый горизонт
Основные стадии метасоматоза	Пропилитизация, аргиллизация, окварцевание с сульфидизацией
Описание стадий	1. Пропилитизация: замена минералов пироксенов и плагиоклазов на хлорит, эпидот, карбонаты. 2. Аргиллизация: образование каолинита, серицита, смектитовых минералов. 3. Окварцевание с сульфидизацией: замена кварца, формирование кварцевых жил с включением сульфидных минералов

Анализ влияния стадий метасоматоза на горнотехнические свойства пород месторождения Арылах представлен в таблице 3.

Таблица 3 / Table 3

Влияния стадий метасоматоза на горнотехнические свойства / The effect of metasomatism stages on mining and technical properties

Параметр / Parameter	Значение / Characteristic
Стадия метасоматоза	Пропилитизация, аргиллизация, окварцевание с сульфидизацией
Основные минералы и изменения	Образование хлорита, эпидота, карбонатов. Формирование каолинита, серицита, смектитов. Замена кварца, формирование кварцевых жил с сульфидами
Влияние на горнотехнические свойства	Усиление поровой структуры, умеренное повышение прочности. Образование рыхлых аргиллитовых зон, снижение прочности. Повышение хрупкости, локальное уплотнение массива
Особенности прочности и устойчивости пород	Средняя устойчивость, возможны зоны средней ломкости. Значительное снижение прочности, повышенная влажность и ломкость. Местами высокая прочность, но с уязвимыми зонами трещиноватости

На ранней стадии пропилитизации происходит замена исходных минералов магматического состава (пироксенов, плагиоклазов) на хлорит, эпидот и карбонаты, что обычно

сопровождается умеренным повышением прочности пород за счет цементирующего действия новых минералов. Породный массив становится более пористым, но сохраняет сравнительную устойчивость, что благоприятно сказывается на стабильности горных выработок в зонах пропилитизации [3–4].

Стадия аргиллизации характеризуется образованием глинистых минералов: каолинита, серицита и смектитов, которые снижают механическую прочность пород, делают их рыхлыми и склонными к обводнению. В таких зонах существенно повышается вероятность осыпания кровли и стенок выработок, что требует усиленных креплений и проведения дополнительных мероприятий по водоотводу [5–7]. На стадии окварцевания с сульфидизацией происходит образование кварцевых жил и включений сульфидных минералов, что ведет к неоднородности породы. Локально породы приобретают высокую твердость и хрупкость, что усложняет проведение буровзрывных работ и вызывает повышенный риск возникновения микротрещин и локальных обвалов [8–10].

Структурно месторождение контролируется пересечением крупных глубинных разломных систем [11–12] (табл. 4).

Таким образом, комплексное понимание влияния различных стадий метасоматоза на свойства пород позволяет более точно выбирать методы крепления горных выработок, параметры буровзрывных работ и схемы разработки, минимизируя технологические риски и потери полезного компонента [13–14].

Данные разломы оказывают влияние на морфологию рудных тел, которая представлена пятью основными жилами общей протяженностью ~1560 м, с мощностью от 1 до 4 м и крутыми углами падения более 60°. Рудные тела характеризуются сложной кулисовидной морфологией и неоднородной внутренней структурой, обусловленной многоступенчатым процессом рудообразования и тектокинематикой. Минеральный состав включает кварц, адуляр, карбонаты и серицит как жильные минералы; среди рудных минералов выделяются аргентит, электрум, галенит, сфалерит и халькопирит.

Обсуждение результатов

Анализ горно-геологических условий показал, что сложность отработки обусловлена многолетней мерзлотой толщиной до 300 м, которая стабилизирует массив, но подтаивание от работы техники снижает устойчивость и требует усиленного крепления. Обводненность – низкая, водоотлив не требуется, но температурные колебания создают условия для деформаций массива.

Анализ систем разработки определил, что используемая

Таблица 4 / Table 4

Характеристика основных разломных систем

месторождения Арылах /

Characteristics of the main fault systems at the Arylyakh deposit

Разломная система / Fault System	Простирание (азимут) / Strike (Azimuth)	Угол наклона / Dip Angle	Влияние на оруденение / Influence on Mineralization	Особенности тектоники / Tectonic Features
Гижигинский разлом	СВ 45–60°	70–85°	Контролирует размещение рудных тел	Глубинный, крутопадающий
Доктомычанский разлом	СЗ 320–340°	60–75°	Определяет блоковое строение массива	Раздробленность пород
Хивачский разлом	С-Ю 350–10°	80–90°	Локализация зон рудоносности	Многоступенчатые разломные нарушения
Верхнетапский разлом	С-Ю 355–5°	75–90°	Главный фактор рудоконтроля	Активная зона деформаций

**Сравнительный анализ предлагаемых технологий с традиционными методами для месторождения Арылах /
Comparative analysis of proposed technologies with traditional methods for the Arylyakh deposit**

Показатель / Indicator	Традиционный метод (подэтажная выемка с закладкой, 2023) / Traditional method (sublevel stopping with backfill, 2023)	Внедряемые технологии (камерно-столбовая + подэтажное обрушение) / Implemented technologies (room-and-pillar + sublevel caving)	Обоснование изменений / Justification of changes
Потери руды, %	12–15	7–10	Улучшенная селективность за счет камерно-столбовой системы и лучшего контроля геомеханики массива
Разубоживание, %	15	8–10	Снижение разубоживания при точной выемке и контроле маркшейдерии
Извлечение металлов, %	75–80	85–90	Достигается за счет снижения потерь и улучшения качества сырья
Операционные затраты, млн руб. в год	150	110	Автоматизация, оптимизация процессов и сниженная аварийность снижают затраты
Капитальные затраты, млн руб.	500	600	Высокие вложения в механизацию, цифровизацию, оборудование и крепления
Срок окупаемости капитальных вложений, лет	6	4,5	Улучшение эффективности и сокращение потерь ускоряют окупаемость инвестиционных затрат
Энергопотребление, кВт·ч/т добычи	20	15	Снижение энергозатрат благодаря автоматизации и улучшенным технологиям
Экологическое воздействие	Среднее	Низкое	Снижение за счет мониторинга мерзлоты, пылеподавления и безопасных систем взрывания
Безопасность производства (относительный индекс)	60	85	Уменьшение аварийных ситуаций и улучшение контроля за горными процессами

подэтажная выемка с закладкой характеризуется большим объемом потерь и разубоживания из-за нестабильности мерзлых пород [13–14]. В связи с этим предлагается оптимизация технологического процесса с переходом к камерно-столбовой системе разработки, сочетающей механизированную крепь, что позволяет повысить стабильность горных массивов и снизить технологические риски. Внедрение системы подэтажного обрушения рассчитано на зоны с пониженной устойчивостью, что обеспечивает дополнительную гибкость управления горным давлением и способствует снижению потерь руды [14–15].

Сравнительный анализ предлагаемых технологий с традиционными методами для месторождения Арылах (на основе имеющихся данных и типовых показателей аналогичных горнодобывающих предприятий) представлен в таблице 5.

Реализация предложенных технологий позволит снизить потери руды на 10–15 %, повысить уровень извлечения металлов, сократить операционные затраты и минимизировать негативное экологическое воздействие на мерзлоту и водные ресурсы.

Закключение

1. Геолого-структурный анализ месторождения Арылах подтвердил его сложный характер, выраженный в неоднородности рудных тел, интенсивной трещиноватости вмещающих пород и масштабном влиянии глубинных разломных систем.

2. Особенности метасоматических преобразований и тектонических нарушений оказывают значительное влияние на устойчивость пород и конфигурацию рудных тел, что требует детального учета при выборе технологий добычи.

3. Адаптация методов разработки с учетом современных горно-геологических условий, таких как многолетняя мерзлота и изменчивость устойчивости массива, позволяет повысить эффективность отработки, снизить потери руды и минимизировать экологические риски.

4. Внедрение камерно-столбовой системы с механизированной крепью, подэтажного обрушения, а также современных цифровых технологий обеспечивает оптимальный баланс между технико-экономическими показателями и безопасностью производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Арно В.В., Колесниченко Е.П., Гарифулина И.Ю. и др. Анализ устойчивости междуэтажных и междукамерных целиков при камерной системе разработки месторождения «Майское». *Горная промышленность*. 2025; 4: 165-169.
Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifulina I.Yu., et al. Analysis of the Stability of Inter-Storey and Inter-Chamber Backs in the Chamber System of Mining at the Maiskoye Deposit. *Mining Industry*. 2025; 4: 165-169. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-165-169>.
- Арно В.В., Ломакина Н.Е., Глотова Е.А. Системы разработки Дукатского золотосеребряного месторождения. *Маркшейдерия и недропользование*. 2023; 1 (123): 19-24.
Arno V.V., Lomakina N.E., Glotova E.A. Development Systems of the Dukat Gold-Silver Deposit. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2023; 1 (123): 19-24. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2023_1_19_24.

3. Дворник Г.П. Оценка характера связи метасоматических пород и их эдуктов по кислотно-основным свойствам. *Известия Уральского государственного горного университета*. 2017; 2 (46): 53-56.
Dvornik G.P. Assessment of the nature of the connection between metasomatic rocks and their products based on their acid-base properties. *News of the Ural State Mining University*. 2017; 2(46): 53-56. (In Russ.). <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2017-2-53-56>.
4. Дворник Г.П. Виды метасоматических пород: температурные условия образования, особенности состава, минералогия. *Известия Уральского государственного горного университета*. 2020; 1 (57): 63-72.
Dvornik G.P. Types of metasomatic rocks: temperature conditions of formation, composition features, and mineralogy. *News of the Ural State Mining University*. 2020; 1 (57): 63-72. (In Russ.). <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2020-1-63-72>.
5. Кантемиров В.Д., Яковлев А.М., Титов Р.С. Применение геоинформационных технологий блочного моделирования для совершенствования методов оценки качественных показателей полезных ископаемых. *Известия вузов. Горный журнал*. 2021; 1: 63-73.
Kantemirov V.D., Yakovlev A.M., Titov R.S. Application of Geoinformation Technologies of Block Modeling for Improving Methods of Estimating the Quality Indicators of Mineral Resources. *News of Universities. Mining Journal*. 2021; 1: 63-73. (In Russ.). <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2021-1-63-73>.
6. Соколов И.В., Смирнов А.А., Антипин Ю.Г. и др. Научные аспекты выбора геотехнологической стратегии освоения переходных зон при комбинированной разработке рудных месторождений. *Проблемы недропользования*. 2020; 1: 11-17.
Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Yu.G., et al. Scientific Aspects of Choosing a Geotechnological Strategy for Developing Transition Zones in Combined Ore Deposits. *Problems of Subsoil Use*. 2020; 1: 11-17. (In Russ.). <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2020.01.011>.
7. Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Никитин И.В. Методология выбора подземной геотехнологии при комбинированной разработке рудных месторождений. Екатеринбург, 2021: 360.
Sokolov I.V., Antipin Yu.G., Nikitin I.V. Methodology for selecting underground geotechnology in combined development of ore deposits. Yekaterinburg, 2021: 360. (In Russ.).
8. Яковлев А.М. Планирование горных работ в режиме управления качеством сырья на основе геоинформационного моделирования. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021; 5-1: 258-268.
Yakovlev A.M. Planning of mining operations in the mode of raw material quality management based on geoinformation modeling. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2021; 5-1: 258-268. (In Russ.). https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_51_0_258.
9. Яковлев В.Л. Методологические основы стратегии инновационного развития горнотехнических систем при освоении глубокозалегающих месторождений. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021; 5-1: 6-18.
Yakovlev V.L. Methodological Foundations of the Strategy for Innovative Development of Mining and Engineering Systems in the Development of Deep-Seated Deposits. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2021; 5-1: 6-18. (In Russ.). https://doi.org/10.25018/02_36_1493_2021_51_0_6.
10. Яковлева В.Л. Основные этапы и результаты исследований по разработке методологических основ стратегии развития горнотехнических систем при освоении глубокозалегающих месторождений твердых полезных ископаемых. *Горная промышленность*. 2022; 18: 34-45.
Yakovleva V.L. The main stages and results of research on the development of methodological foundations for the strategy of development of mining systems in the development of deep-seated deposits of solid minerals. *Mining Industry*. 2022; 18: 34-45. (In Russ.).
11. Balt K., Goosen R.L. MSAHP: An approach to mining method selection. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2020; 120 (8): 451-460. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/1072/2020>.
12. Djezzar S., Rasouli V., Boualam A., et al. An integrated workflow for multiscale fracture analysis in reservoir analog. *Arabian Journal of Geosciences*. 2020; 13(1): 161. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-5085-6>.
13. Huang P., Spearing S., Ju F., et al. Control effects of five common solid waste backfilling materials on in situ strata of gob. *Energies*. 2019; 12 (1): 154. <https://doi.org/10.3390/en12010154>.
14. Nelis G., Morales N., Widzyk-Capehart E. Comparison of different approaches to strategic open-pit mine planning under geological uncertainty. *Proceedings of the 27th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection – MPES 2018*. Berlin, 2019: 95-105. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99220-4_8.
15. Wu J. Research on sublevel open stoping recovery processes of inclined medium thick ore body on the basis of physical simulation experiments. *PLoS ONE*. 2020; 15: 0232640. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232640>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Вероника Владимировна Арно –

канд. техн. наук, доцент, Северо-Восточный государственный университет, Политехнический институт, 685000, г. Магадан Российская Федерация; e-mail: vvnika@mail.ru

Ева Павловна Колесниченко –

студентка направления подготовки «Государственный и муниципальный аудит», ВШЭА МГУ имени М. В. Ломоносова, 119991, г. Москва, Российская Федерация

Ирина Юрьевна Гарифуллина –

старший преподаватель кафедры геологии и горного дела. Северо-Восточный государственный университет, Политехнический институт, 685000, г. Магадан, Российская Федерация

ABOUT THE AUTHORS

Veronika V. Arno –

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Northeastern State University, Polytechnic Institute, 685000, Magadan, Russian Federation; e-mail: vvnika@mail.ru

Eva P. Kolesnichenko –

student of the field of training “State and Municipal Audit”, Higher School of Economics, Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, Russian Federation

Irina Yu. Garifulina –

Senior Lecturer of the Department of Geology and Mining. Northeastern State University, Polytechnic Institute, 685000, Magadan, Russian Federation

Наталья Евгеньевна Ломакина –

старший преподаватель кафедры горного дела.
Северо-Восточный государственный университет,
Политехнический институт, 685000, г. Магадан,
Российская Федерация

Евгений Сергеевич Семькин –

старший преподаватель кафедры горного дела.
Северо-Восточный государственный университет,
Политехнический институт, 685000, г. Магадан,
Российская Федерация

Критерии авторства:

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

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 15.09.2025

Поступила после рецензирования: 21.09.2025

Принята к публикации: 04.10.2025

Natalia E. Lomakina –

senior lecturer of the Mining Department, Northeastern State University, Polytechnic Institute, 685000, Magadan, Russian Federation

Evgeny S. Semykin –

Senior Lecturer at the Department of Mining, North-Eastern State University, Polytechnic Institute, 685000, Magadan, Russian Federation

Contribution:

V. V. Arno, E. P. Kolesnichenko – the idea of research, formulation of the conflict of the current paradigm and new facts, writing a scientific paper; E. S. Semykin, I. Yu. Garifulina – evaluation of the results and correction of the written work; N. E. Lomakina – selection and collection of material for research.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 15.09.2025

Revised: 21.09.2025

Accepted: 04.10.2025