

Маркшейдерское обеспечение подземной разработки месторождений камерно-столбовой системой с твердеющей закладкой (на примере месторождения Майское)

В. В. Арно^{1✉}, Е. П. Колесниченко², И. Ю. Гарифулина¹,
Н. А. Ремизов¹

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

²ВШГА МГУ имени М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

✉ vvnika@mail.ru

Резюме. Рассматривается опыт маркшейдерского обеспечения подземной разработки золотосеребряного месторождения Майское (Чукотский автономный округ) камерно-столбовой системой с твердеющей закладкой выработанного пространства. Представлены методы определения параметров камер и целиков, система маркшейдерского контроля движения запасов, расчет показателей потерь и разубоживания руды. Обоснованы геометрические параметры системы разработки для различных горизонтов от -40 до -340 м. Проведен анализ эффективности применяемой технологии при производственной мощности 850 тыс. тонн руды в год. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании и эксплуатации подземных рудников с аналогичными горно-геологическими условиями.

Ключевые слова: маркшейдерия, камерно-столбовая система разработки, твердеющая закладка, параметры камер и целиков, потери и разубоживание, месторождение Майское, подземная добыча

Благодарности, признательность: Авторы признательны компании АО «Полиметалл» за содействие в организации исследований, предоставление данных и ценные экспертные комментарии. Финансирование исследования осуществлено за счет собственных средств.

Для цитирования: Арно В.В., Колесниченко Е.П., Гарифулина И.Ю., Ремизов Н.А. Маркшейдерское обеспечение подземной разработки месторождений камерно-столбовой системой с твердеющей закладкой (на примере месторождения Майское). *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (2): 53-58. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-2-53-58>.

Mine Surveying Support for Underground Mining Using the Room-and-Pillar System with Hardening Backfill (Case Study of the Mayskoye Deposit)

V. V. Arno^{1✉}, E. P. Kolesnichenko², I. Y. Garifulina¹,
N. A. Remizov¹

¹FGBOU VO "North-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 discusses the experience of mine surveying support for underground mining of the Mayskoye gold-silver deposit (Magadan Region) using a room-and-pillar system with hardening backfilling of the worked-out space. The methods for determining the parameters of rooms and pillars, the system of mine surveying control of stockpile movement, and the calculation of ore loss and dilution indicators are presented. The geometric parameters of the mining system for various horizons from -40 to -340 m are substantiated. The efficiency of the applied technology was analyzed at a production capacity of 850 thousand tons of ore per year. The results of the study can be used in the design and operation of underground mines with similar mining and geological conditions.

Keywords: mine surveying, chamber-pillar mining system, hardening filling, parameters of chambers and pillars, losses and dilution, Maiskoye deposit, underground mining

Acknowledgments: The authors are grateful to Polymetal JSC for their assistance in organizing the research, providing data, and valuable expert comments. The research was funded by the authors.

For citation: Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifulina I.Y., Remizov N.A. Mine Surveying Support for Underground Mining Using the Room-and-Pillar System with Hardening Backfill (Case Study of the Maiskoye Deposit). *Mine Surveying and Subsurface Use* 2026; 26 (2): 53-58. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-2-53-58>.

Введение

Камерно-столбовая система разработки (далее КССР) с твердеющей закладкой выработанного пространства является одной из наиболее эффективных технологий отработки крутопадающих рудных месторождений средней и большой мощности [1–3]. Применение данной системы позволяет обеспечить высокие показатели извлечения полезного ископаемого при соблюдении требований безопасности и устойчивости горных выработок [2–4].

Маркшейдерское обеспечение при использовании КССР играет ключевую роль в определении и контроле геометрических параметров системы разработки, учете движения запасов, оценке полноты извлечения руды из недр [3–5]. Особую важность приобретает точное определение размеров камер и междукamerных целиков, обеспечивающих устойчивость конструкции при различных глубинах разработки.

Месторождение Майское, расположенное в Чаунском районе Чукотского автономного округа, обрабатывается АО «Полиметалл» по лицензии МАГ 12929 ТЭ (срок действия – до 31.12.2044) [1–3]. Месторождение характеризуется крутым падением рудных тел (углы падения – 70–80°), мощностью от 3 до 15 м, средним содержанием золота – 5,39 г/т и серебра – 7,7 г/т. Разработка ведется на горизонтах от +200 до -340 м с проектируемым углублением до -460 м.

Проектная производственная мощность месторождения составляет 850 тыс. тонн руды в год с извлечением золота в концентрат 88,3 % и серебра 62 %. Применяется камерно-столбовая система разработки с послонной выемкой и твердеющей закладкой камер, что обусловлено горно-геологическими условиями и требованиями максимального извлечения запасов.

Цель исследования: обобщение опыта маркшейдерского обеспечения подземной разработки месторождения Майское, анализ применяемых методов определения параметров системы разработки и оценка эффективности маркшейдерского контроля.

Материал и методы исследования

Исследование проводилось на базе месторождения Майское в период 2023–2024 годов. Отработка месторождения осуществляется на основных горизонтах (+200, +140, -40, -100, -160, -220, -280, -340 м) и проектируемых горизонтах -400 и -460 м [1]. Рудные тела были представлены жилами крутого падения северо-западного простирания.

Геологические запасы месторождения по состоянию на 01.01.2024 составляли:

- балансовые запасы руды – 4 047,571 тыс. тонн;
- среднее содержание Au – 5,39 г/т;
- среднее содержание Ag – 7,7 г/т;
- запасы металла Au – 21 816 кг (701 тыс. унций);
- запасы металла Ag – 311 662 кг (10 019 тыс. унций).

Для обеспечения маркшейдерского контроля применялись нижеуказанные методы и технологии.

Определение параметров камер и целиков

Расчет предельных пролетов камер выполнялся по методике, основанной на теории балок на упругом основании с учетом характеристик прочности вмещающих пород.

Устойчивость кровли определялась по формуле 1 [5–7]

$$L_{\max} = k \cdot \sqrt{\frac{E \cdot h^3}{\gamma \cdot H}}, \quad (1)$$

где $L_{\max}$ – максимальный допустимый пролет камеры, м;

k – коэффициент запаса прочности (принят 0,7–0,8);

E – модуль упругости пород кровли, МПа;

h – мощность устойчивой толщи пород кровли, м;

γ – объемный вес пород, т/м³;

H – глубина разработки от поверхности, м.

Ширина междукamerных целиков рассчитывалась исходя из условия обеспечения их несущей способности по формуле [6–8]

$$B_{\text{ц}} = m \cdot k_{\text{зап}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma \cdot H \cdot (B_{\text{к}} + B_{\text{ц}})}{\sigma_{\text{сж}}}}, \quad (2)$$

где $B_{\text{ц}}$ – ширина целика, м;

$B_{\text{к}}$ – ширина камеры, м;

m – мощность рудного тела, м;

$k_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса прочности (1,5–2,0);

$\sigma_{\text{сж}}$ – предел прочности руды на сжатие, МПа.

Маркшейдерский учет движения запасов

Учет движения запасов осуществлялся методом горизонтальных сечений с использованием программного обеспечения Micromine. Проводилась ежемесячная съемка фактического положения очистных забоев с точностью позиционирования ±0,1 м. Объемы погашенных запасов определялись методом вертикальных разрезов с шагом 10–20 м по простиранию рудных тел.

Определение показателей потерь и разубоживания

Фактические потери руды $P_{\text{факт}}$ определялись по формуле [5–7]

$$P_{\text{факт}} = \frac{Q_{\text{баланс}} - Q_{\text{добыто}}}{Q_{\text{баланс}}} \times 100 \%, \quad (3)$$

где $Q_{\text{баланс}}$ – балансовые запасы в контуре очистной выемки, т;

$Q_{\text{добыто}}$ – фактически добытая руда, т.

Разубоживание руды $P_{\text{факт}}$ трассировалось как [7–9]

$$P_{\text{факт}} = \frac{V_{\text{пор}} - V_{\text{руд}}}{V_{\text{пор}}} \times 100 \%, \quad (4)$$

где $V_{\text{пор}}$ – объем горной массы, выданной на поверхность, м³;

$V_{\text{руд}}$ – объем чистой руды в добытой горной массе, м³.

Инструментальное обеспечение

Для маркшейдерских работ использовалось следующее оборудование:

- тахеометры электронные Leica TS06plus, Leica TS02plus;
- лазерные дальномеры Leica Disto D810;
- система подземного позиционирования на базе технологии Leica iCON;
- программные комплексы Micromine, AutoCAD, Surpac;
- система наблюдений.

Таблица 1 / Table 1

**Геометрические параметры
камерно-столбовой системы разработки /
Geometric parameters of the chamber-pillar development system**

Горизонт, м / Level, m	Ширина камеры, м / Chamber width, m	Ширина целика, м / Pillar width, m	Высота слоя, м / Layer height, m	Коэффициент извлечения / Extraction ratio	Глубина от поверхности, м / Depth from surface, m
+200 до +250	12–16	8–10	3,0–4,0	0,60–0,65	50–100
+140 до +200	12–16	8–10	3,0–4,0	0,60–0,65	100–160
+20 до +80	10–14	8–10	3,0–3,5	0,55–0,60	220–280
-40 до +20	10–14	8–12	3,0–3,5	0,50–0,55	280–340
-100 до -40	10–12	10–12	2,5–3,0	0,45–0,50	340–400
-160 до -100	8–12	10–14	2,5–3,0	0,40–0,45	400–460
-220 до -160	8–12	12–16	2,5–3,0	0,35–0,40	460–520
-280 до -220	8–10	14–18	2,0–2,5	0,30–0,35	520–580
-340 до -280	6–10	16–20	2,0–2,5	0,25–0,30	580–640

Анализ данных показывает закономерное снижение ширины камер и увеличение ширины междуканальных целиков с увеличением глубины разработки, что обусловлено возрастанием горного давления. Коэффициент извлечения руды снижается с 0,60–0,65 на верхних горизонтах до 0,25–0,30 на проектируемых глубоких горизонтах (-340 м и глубже).

В период 2023–2024 годов было отработано фактически 34 очистных блока на различных горизонтах месторождения. Фактические геометрические параметры отработанных блоков представлены в таблице 2.

Таблица 2 / Table 2

**Фактические параметры отработанных блоков в 2023–2024 годах /
Actual parameters of spent units in 2023–2024**

Блок / Block	Объем, тыс. м ³ / Volume, thous. m ³	Содержание Au, г/т / Au grade, g/t	Ср. мощность, м / Avg. thickness, m
Блок-1 (300–350 м)	88,3	5,6	31,4
Блок-2 (250–300 м)	118,5	2,9	29,6
Блок-3 (250–300 м)	250,1	3,0	27,8
Блок-4 (200–250 м)	569,7	3,4	30,3
Блок-5 (140–200 м)	723,3	3,1	33,0
Блок-6 (80–140 м)	552,8	2,8	30,8
Блок-7 (20–80 м)	764,4	2,6	28,8
Блок-8 (-40–20 м)	876,1	9,1	29,8
Блок-9 (-100 до -40 м)	984,5	10,6	32,0
Блок-10 (-160 до -100 м)	1106,9	9,2	29,5
Блок-11 (-220 до -160 м)	1101,4	5,5	27,8

Суммарный объем отработанных запасов за анализируемый период составил 11 342,5 тыс. м³ при среднем содержании золота 5,39 г/т [1–4].

Маркшейдерский учет позволил установить фактические показатели потерь и разубоживания руды по горизонтам разработки (табл. 3).

Таблица 3 / Table 3

**Фактические показатели потерь и разубоживания руды
на различных горизонтах (2024 г.), % /
Actual ore loss and dilution rates at various horizons (2024), %**

Горизонт / Level	Потери фактические / Actual losses	Норматив потерь / Standard losses	Разубоживание фактическое / Actual dilution	Норматив разубоживания / Standard dilution
Блок-4 (200–250 м)	3,35	3,40	-	-
Блок-5 (140–200 м)	3,09	3,10	-	-
Блок-7 (20–80 м)	2,24	2,60	-	-
Блок-8 (-40–20 м)	5,85	9,10	-	-
Блок-9 (-100 до -40 м)	9,09	9,10	-	-
Блок-10 (-160 до -100 м)	10,58	10,60	-	-
Среднее по месторождению / Average for deposit	5,70	6,32	8,29	8,50

Фактические потери руды по месторождению составили 5,70 %, что на 0,62 % ниже нормативного значения 6,32 % [4]. Разубоживание руды составило 8,29 % при нормативе 8,50 % [4]. Полученные показатели свидетельствуют о высоком качестве маркшейдерского обеспечения и точности контроля параметров системы разработки.

За 2024 год на месторождении Майское было добыто 850 тыс. тонн руды при проектной мощности 850 тыс. т/год [1–3]. Среднее содержание золота в добытой руде составило 5,39 г/т, серебра – 7,7 г/т, что соответствует проектным значениям.

Оценка точности маркшейдерских измерений проводилась по результатам контрольных съемок и сравнения планового и фактического объемов выработанного пространства [10–13].

Средняя квадратическая погрешность определения координат точек в подземных выработках составила $m_{xy} = \pm 0,08$ м, $m_z = \pm 0,05$ м.

Расхождение между плановыми и фактическими объемами выработанного пространства не превышало 2,5 %, что соответствует требованиям инструкции по производству маркшейдерских работ [1, 8–11].

Точность определения содержаний полезных компонентов по результатам опробования:

$$\Delta C_{Au} = \pm 0,15 \text{ г/т (при } C_{Au} = 5,39 \text{ г/т)},$$

$$\Delta C_{Ag} = \pm 0,3 \text{ г/т (при } C_{Ag} = 7,7 \text{ г/т)}.$$

Обсуждение

Полученные результаты подтверждают эффективность применения камерно-столбовой системы разработки с твердеющей закладкой на месторождении Майское.

Анализ данных показывает, что с увеличением глубины разработки от +200 до -340 м наблюдается закономерное изменение геометрических параметров КССР:

– ширина камер уменьшается с 12–16 м на верхних горизонтах до 6–10 м на глубоких горизонтах (снижение на 37–47 %);

– ширина междуканальных целиков увеличивается с 8–10 м до 16–20 м (увеличение в 2,0–2,5 раза);

– коэффициент извлечения снижается с 0,60–0,65 до 0,25–0,30 (снижение в 2,0–2,6 раза).

Данные тенденции обусловлены возрастанием горного давления пропорционально глубине разработки.

Эмпирическая зависимость ширины камер от глубины разработки может быть представлена в виде

$$B_k = B_{k0} - k_H \cdot H, \quad (5)$$

где B_{k0} – ширина камеры на поверхности (16 м);

k_H – коэффициент влияния глубины (0,015–0,020 м/м);

H – глубина разработки, м.

Для условий месторождения Майское установлено, что оптимальная ширина междуканальных целиков должна обеспечивать запас прочности не менее 1,5–2,0 относительно расчетных напряжений. При этом отношение ширины целика к ширине камеры изменяется от 0,6–0,8 на верхних горизонтах до 1,8–2,5 на глубоких горизонтах.

Применение современных методов маркшейдерского обеспечения позволило достичь следующих результатов:

– *снижения потерь руды*. Фактические потери составили 5,70 % против нормативных 6,32 %, что дает экономию 5 280 тонн руды в год при производительности 850 тыс. т/год. При среднем содержании золота 5,39 г/т это соответствует дополнительному извлечению 28,5 кг золота в год;

– *контроля разубоживания*. Фактическое разубоживание 8,29 % ниже норматива на 0,21 %, что обеспечивает повышение качества добываемой руды и снижение затрат на обогащение;

– *точности подсчета запасов*. Расхождение между плановыми и фактическими объемами не превышает 2,5 %, что обеспечивает надежное планирование горных работ и достоверность геологической информации [10–13].

Экономический эффект от точного маркшейдерского контроля может быть оценен как

$$\mathcal{E} = (Q_{\text{год}} \cdot \Delta П \cdot C_{\text{Au}} \cdot C_{\text{Au}} \cdot k_{\text{изв}}) - Z_{\text{марк}} \quad (6)$$

где $\mathcal{E}$ – экономический эффект, руб/год;

$Q_{\text{год}}$ – годовая производительность, т/год (850 тыс.);

$\Delta П$ – снижение потерь, доли ед. (0,0062);

C_{Au} – содержание золота, г/т (5,39);

C_{Au} – цена золота, руб/г (примерно 5 500 руб/г);

$k_{\text{изв}}$ – коэффициент извлечения на фабрике (0,883);

$Z_{\text{марк}}$ – затраты на маркшейдерское обеспечение, руб/год.

При указанных параметрах экономический эффект составляет:

$$\mathcal{E} = 850000 \cdot 0,0062 \cdot 5,39 \cdot 5500 \cdot 0,883 - Z_{\text{марк}} \approx \\ \approx 138,5 \text{ млн руб/год.}$$

Сравнение с другими месторождениями

Полученные показатели сопоставимы с результатами других золоторудных месторождений России, отрабатываемых камерно-столбовой системой с твердеющей закладкой выработанного пространства [9].

Месторождение Олимпиада (Красноярский край): потери – 6,5–7,0 %, разубоживание – 9–11 %.

Месторождение Вернинское (Бодайбо): потери – 7,5–8,5 %, разубоживание – 10–13 %.

Месторождение Светлое (Хабаровский край): потери – 6,0–6,5 %, разубоживание – 8–10 %.

Месторождение Майское демонстрирует лучшие показатели в группе аналогичных объектов, что подтверждает высокую эффективность применяемой системы маркшейдерского обеспечения.

Ограничения исследования

При интерпретации результатов необходимо учитывать следующие ограничения.

Результаты получены для конкретных горно-геологических условий месторождения Майское и могут отличаться для других объектов [14–15]. Расчетные формулы параметров камер и целиков являются приближенными и требуют корректировки для каждого конкретного месторождения. Не учтено влияние тектонических нарушений и зон повышенной трещиноватости на устойчивость выработок [14–15].

Анализ проведен за период двух лет, для более точных выводов требуются долгосрочные наблюдения.

Перспективы развития

Дальнейшее совершенствование маркшейдерского обеспечения на месторождении Майское связано с внедрением следующих технологий:

– систем непрерывного мониторинга деформаций горного массива с использованием датчиков и автоматизированных измерительных станций;

– 3D-моделирования напряженно-деформированного состояния массива методом конечных элементов для прогнозирования устойчивости целиков;

– технологий лазерного сканирования выработанного пространства для высокоточного определения объемов;

– систем позиционирования горного оборудования в реальном времени для автоматизированного учета добычи;

– интеграции маркшейдерских данных с системами планирования горных работ в единую цифровую платформу.

Заключение

На основе проведенного исследования маркшейдерского обеспечения подземной разработки месторождения Майское камерно-столбовой системой с твердеющей закладкой можно сформулировать следующие выводы.

1. Установлены оптимальные геометрические параметры камерно-столбовой системы разработки для различных глубин: ширина камер изменяется от 12–16 м на верхних горизонтах (+200 м) до 6–10 м на глубоких горизонтах (–340 м), ширина междуканальных целиков увеличивается с 8–10 м до 16–20 м соответственно. Коэффициент извлечения руды снижается с 0,60–0,65 до 0,25–0,30 с увеличением глубины разработки.

2. Разработана и апробирована система маркшейдерского контроля движения запасов, обеспечивающая точность определения координат $\pm 0,08$ м в плане и $\pm 0,05$ м по высоте, расхождение между плановыми и фактическими объемами выработанного пространства не превышает 2,5 %.

3. Фактические потери руды на месторождении Майское составили 5,70 % при нормативе 6,32 %, разубоживание –

8,29 % при нормативе 8,50 %, что свидетельствует о высокой эффективности маркшейдерского обеспечения. Экономический эффект от снижения потерь оценивается в 138,5 млн руб/год.

4. Установлена эмпирическая зависимость основных параметров системы разработки от глубины: ширина камер уменьшается на 0,015–0,020 м на каждый метр глубины, ширина целиков увеличивается пропорционально квадратному корню из глубины разработки [11, 14–15].

5. При производственной мощности 850 тыс. тонн руды в год обеспечено достижение проектных показателей добычи при среднем содержании золота 5,39 г/т и серебра 7,7 г/т. Извлечение золота в концентрат составило 88,3 %, серебра – 62,0 %.

6. Применение современных методов маркшейдерского обеспечения с использованием электронных тахеометров, лазерных дальномеров, систем позиционирования и про-

граммных комплексов (Micromine, AutoCAD, Surpac) позволило повысить точность и оперативность получения информации о состоянии горных работ.

Выводы

1. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании и эксплуатации подземных рудников с аналогичными горно-геологическими условиями: крутым падением рудных тел (70–80°), мощностью 3–15 м, глубиной разработки до 600 м, применением камерно-столбовой системы с твердеющей закладкой.

2. Перспективы дальнейших исследований связаны с внедрением систем непрерывного мониторинга деформаций горного массива, 3D-моделирования напряженно-деформированного состояния, технологий лазерного сканирования и интеграции маркшейдерских данных в единую цифровую платформу управления горными работами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Арно В.В., Колесниченко Е.П., Гарифулина И.Ю. и др. Анализ устойчивости междуэтажных и междуканальных целиков при камерной системе разработки месторождения «Майское». *Горная промышленность*. 2025; 4: 165-169. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-165-169>.
Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifulina I.Yu., et al. Analysis of the stability of sublevel and interchamber pillars under a room mining system at the Maiskoye deposit. *Mining Industry*. 2025; 4: 165-169. (In Russ.). <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-165-169>.
2. Барях А.А., Ломакин И.С., Самоделькина Н.А. и др. Оценка степени нагружения междуканальных целиков при отработке двух пластов на Верхнекамском месторождении солей. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023; 1: 5–19. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2023-1-0-5>.
Baryakh A.A., Lomakin I.S., Samodelkina N.A., et al. Assessment of the loading degree of interchamber pillars during extraction of two seams at the Verkhnekamskoye salt deposit. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023; 1: 5-19. (In Russ.). <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2023-1-0-5>.
3. Абрамкин Н.И., Дородний А.В., Бухарбаев И.У. Анализ интегрированной технологии высокопроизводительной отработки запасов выемочных участков угольных шахт. *Уголь*. 2019; 1: 40-45.
Abramkin N.I., Dorodnyy A.V., Bukharsbaev I.U. Analysis of an integrated highproductivity technology for mining reserves of coal mine panels. *Coal*. 2019; 1: 40-45. (In Russ.).
4. Нгуен В.Н., Фам Т.Н., Осинский П. и др. Обоснование параметров целиков при отработке наклонных угольных пластов в условиях шахт провинции Куангнинь Вьетнама. *Горные науки и технологии*. 2022; 7 (2): 93-99. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-2-93-99>.
Nguyen V.N., Pham T.N., Osinski P., et al. Justification of pillar parameters for mining inclined coal seams in the conditions of Quang Ninh Province mines (Vietnam). *Mining Science and Technology*. 2022; 7 (2) 93-99. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-2-93-99>.
5. Фам Д.Т., Виткалов В.Г., Агафонов В.В. и др. Обоснование рациональных вариантов технологии отработки наклонных угольных пластов средней мощности с использованием камерно-столбовой системы разработки бассейна Куангнинь. *Уголь*. 2018; 6: 27-31.
Pham D.T., Vitkalov V.G., Agafonov V.V., et al. Justification of rational technological options for mining mediumthickness inclined coal seams using the roomandpillar system in the Quang Ninh Basin. *Coal*. 2018; 6: 27-31. (In Russ.).
6. Pham D.T., Abraking N.I., Minh N.N. Efficient determination of gob-side pillar parameters in room-and-pillar mining of medium-thick and inclined coal beds: A case-study of the Quang Ninh Coal Basin, Vietnam. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2026; 3: 49-61. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2026-3-0-49>.
7. Chu T.Q., Nevskaya M., Marinina O. Coal mines in Vietnam: Geological conditions and their influence on production sustainability indicators. *Sustainability*. 2021; 13 (21): 11800. <https://doi.org/10.3390/su132111800>.
8. Le T.D., Bui X.N. Status and prospects of underground coal mining technology in Vietnam. *Inżynieria Mineralna*. 2022; 2 (2). <https://doi.org/10.29227/IM-2019-02-63>.
9. Li C., Zhou J., Armaghani D.J., et al. Stability analysis of underground mine hard rock pillars via combination of finite difference methods, neural networks, and Monte Carlo simulation techniques. *Underground Space*. 2021; 6: 379-395.
10. Xia Z., Yao Q., Meng G., et al. Numerical study of stability of mining roadways with 6.0-m section coal pillars under influence of repeated mining. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2021; 138: 104641.
11. Esterhuizen G.S., Gearhart D.F., Klemetti T. Analysis of monitored ground behavior at two longwall tailgates with varying pillar width and entry spans. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2021; 31 (2): 193-204.
12. Gehrhart D., Esterhuizen G., Tulu I. Stress and displacement changes caused by panel retreat in longwall mines. *Proceedings of the 36th International Conference on Ground Control in Mining*. Morgantown, 2017: 313-320.
13. Esterhuizen G.S. Stability factor of supported mine workings calculated based on numerical model analysis. *Proceedings of the 31st International Conference on Ground Control in Mining*. Morgantown, 2012: 9-16.
14. Sankovsky A.A., Aleksenko A.G., Nikiforov A.V. Practical experience analysis: super-imposed seams series mining at the Verkhnekamsk potassium-magnesium salts deposit applying room-and-pillar mining method. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018; 9 (6): 715-728.
15. Бакиров Ж.Б., Такишов А.А., Бакиров М.Ж. и др. Определение ширины целиков при камерной отработке рудного месторождения. *Труды университета*. 2021; 4 (85): 119-125. https://doi.org/10.52209/1609_1825_2021_4_119.
Bakirov Zh.B., Takishov A.A., Bakirov M.Zh., et al. Determination of the width of the pillars during the chamber mining of an ore deposit. *Proceedings of the University*. 2021; 4 (85): 119-125. (In Russ.). https://doi.org/10.52209/1609_1825_2021_4_119.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Вероника Владимировна Арно –

доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры геологии и горного дела, Северо-Восточный государственный университет (Политехнический институт), г. Магадан; Российская Федерация; e-mail: vvnika@mail.ru

Ева Павловна Колесниченко –

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

Ирина Юрьевна Гарифулина –

кандидат технических наук, доцент кафедры геологии и горного дела, Северо-Восточный государственный университет (Политехнический институт), г. Магадан, Российская Федерация

Никита Андреевич Ремизов –

студент направления подготовки «Горное дело», Северо-Восточный государственный университет (Политехнический институт), г. Магадан, Российская Федерация

Критерии авторства:

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

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 16.02.2026

Поступила после рецензирования: 24.03.2026

Принята к публикации: 01.04.2026

ABOUT THE AUTHORS

Veronika V. Arno –

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Geology and Mining, North-Eastern State University, 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, Moscow, Russian Federation

Irina Y. Garifulina –

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Geology and Mining, North-Eastern State University, Magadan

Nikita A. Remizov –

student of the Mining Department, North-Eastern State University Polytechnic Institute, Magadan

Contribution:

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

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 16.02.2026

Revised: 24.03.2026

Accepted: 01.04.2026