

УДК 622.274.4

Барановский Кирилл Васильевич

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
лаборатория подземной геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: karingist@list.ru

Рожков Артём Андреевич

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
лаборатория подземной геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: 69artem@bk.ru

Соломеин Юрий Михайлович

научный сотрудник,
лаборатория подземной геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕХОДА К СИСТЕМАМ РАЗРАБОТКИ С ЗАКЛАДКОЙ ПРИ ОСВОЕНИИ ЖИЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ*

Аннотация:

Традиционные технологии освоения жильных месторождений прошли длительную апробацию и имеют большое количество достоинств. Вместе с тем им присущи и характерные недостатки, такие как низкая степень механизации процессов очистной выемки и, как следствие, невысокая производительность труда, значительные потери при системе с обрушением или подэтажных штреков с последующим обрушением целиков. Также освоение месторождений традиционными способами не позволяет в достаточной мере минимизировать объемы размещения отходов горного производства на поверхности, обеспечить повышение безопасности горных работ, повысить полноту выемки запасов и сохранить целостность земной поверхности. Таким образом, в современных реалиях для полноты и безопасности освоения недр перспективным является переход на восходящий порядок отработки месторождений технологиями с закладкой выработанного пространства пустыми породами и отходами обогащательного производства.

Предложены современные системы разработки, позволяющие осуществить реализацию полного геотехнологического цикла при освоении жильных месторождений. Разработанные технические решения основаны на применении современного самоходного оборудования на всех

DOI: 10.25635/2313-1586.2025.04.006

Baranovsky Kirill V.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Laboratory of underground geotechnology,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
58 Mamina-Sibiryaka Str., 620075 Ekaterinburg;
e-mail: karingist@list.ru

Rozhkov Artem A.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Laboratory of underground geotechnology,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: 69artem@bk.ru

Solomein Yuriy M.

Researcher,
Laboratory of underground geotechnology,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

FEATURES OF THE TRANSITION TO BACKFILLING SYSTEMS IN THE MINING OF VEIN DEPOSITS

Abstract:

Traditional technologies for the mining of vein deposits have undergone long-term testing and have a large number of advantages. At the same time, they also have characteristic disadvantages – such as a low degree of mechanization of the processes of cleaning extraction, and as a result, low labor productivity, significant losses in the system with caving or sublevel drifts with subsequent caving of pillars. Also, the mining of deposits by traditional methods does not allow to sufficiently minimize the volumes of mining waste placement on the surface, ensure increased safety of mining operations, increase the completeness of the extraction of reserves and preserve the integrity of the earth's surface. Thus, in modern realities, for the completeness and safety of subsoil mining, the transition to an ascending order of deposit mining using technologies with backfilling the mined-out space with waste rocks and beneficiation waste is promising.

The paper proposes modern mining systems that allow the implementation of a full geotechnological cycle in the mining of vein deposits. The developed technical solutions are based on the use of modern self-propelled equipment in all processes of cleaning extraction. The use of ascending mining with dry backfilling will ensure high technical and economic indicators and safety of mining operations. The possibility of storing the entire volume of waste rock in the mined-out space of the

* Исследования выполнены в рамках Гос. задания №075-00410-25-00. № гос. рег. 125070908257-0.

Тема 1 (2025-2027). Методология обоснования перспектив технологического развития комплексного освоения минерально-сырьевых ресурсов твердых полезных ископаемых России (FUWE-2025-0001).

процессах очистной выемки. Применение восходящего порядка отработки с сухой закладкой обеспечит высокие технико-экономические показатели и безопасность ведения горных работ. Возможность складирования всего объема пустых пород в выработанном пространстве рудника позволит сохранить окружающий массив для освоения участков забалансовых руд при пересчете кондиций. Оценка экологического потенциала данных геотехнологий по критерию возможности утилизации максимального объема отходов показала, что при мощности рудного тела более 0,6 м обеспечивается полная утилизация текущих отходов и формируются емкости для утилизации существующих или будущих отходов добычи и переработки руд.

Ключевые слова: жильные месторождения, системы разработки с закладкой, пустая порода, сухая закладка, показатели извлечения.

mine will allow preserving the surrounding massif for the mining of off-balance ore sections during recalculation of the conditions. An assessment of the environmental potential of these geotechnologies based on the criterion of the possibility of utilizing the maximum volume of waste showed that with an ore body thickness of more than 0.6 m, complete utilization of current waste is ensured and capacities are formed for the utilization of existing or future waste from mining and ore processing.

Key words: vein deposits, mining systems with backfilling, waste rock, dry backfilling, extraction indicators.

Введение

Значительная часть минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов Российской Федерации представлена жильными месторождениями малой мощности (0,3 – 3,0 м) [1]. Характерные особенности таких месторождений – групповое залегание жильных рудных тел с крутыми углами падения ($60 - 90^\circ$), различными размерами по простиранию (20 – 500 м и более) и высокая крепость руды ($f=10 - 18$) [2, 3]. Большое количество таких месторождений залегает в многолетнемерзлых породах [4]. Основными технологиями отработки таких месторождений являются системы с магазинированием, подэтажных штреков и подэтажного обрушения с торцовым выпуском руды по грузо-доставочным машинам (ПДМ). При данных системах применяется нисходящий порядок выемки запасов [5 – 8].

Традиционные технологии прошли длительную апробацию и имеют большое количество достоинств. Вместе с тем присущи им и характерные недостатки, такие как низкая степень механизации процессов очистной выемки и, как следствие, невысокая производительность труда, значительные потери при системе с обрушением или подэтажных штреков с последующим обрушением целиков [9 – 11]. Также освоение месторождений традиционными способами не позволяет в достаточной мере минимизировать объемы размещения отходов горного производства на поверхности, обеспечить повышение безопасности горных работ, повысить полноту выемки запасов и сохранить целостность земной поверхности [12 – 14].

Для устранения данных недостатков перспективным является переход от традиционных систем разработки к технологиям с закладкой выработанного пространства. При этом для создания условий утилизации отходов добычи и переработки руды в виде сухой закладки без добавления или с минимальным добавлением цементного вяжущего обязательным является использование восходящего порядка выемки запасов блоков или всего месторождения [15 – 17].

Таким образом, в современных реалиях для полноты и безопасности освоения недр перспективным является переход на восходящий порядок отработки месторождений технологиями с закладкой выработанного пространства пустыми породами и отходами обогащенного производства. Основными особенностями такого перехода являются необходимость учета габаритов бурового оборудования в конструктивном исполнении для работы в условиях отрицательных температур рудничной атмосферы и сопутствующее увеличение минимальной выемочной мощности вследствие механизации процесса бурения на подэтажах и в очистном пространстве.

Материалы и методы исследований

Несмотря на то что традиционные технологии являются достаточно надежными и проверены временем, они не в полной мере соответствуют современному уровню развития горной техники и темпам производства.

Основными недостатками системы разработки с магазинированием руды при малой мощности рудных тел являются значительное разубоживание (до 50 – 60 %) и ведение работ в открытом очистном пространстве (рис. 1) [18].

Этот способ весьма трудоемок и небезопасен, ввиду отсутствия возможности использования самоходных буровых установок, нахождения рабочих под обнаженной кровлей и на подвижной рудной массе. При отработке рудных тел мощностью более 3 м опасность нахождения человека в очистном пространстве увеличивается. Деление рудного тела по простиранию на блоки определяет проходку большого количества восстающих выработок, требующих обязательного крепления. В основном система применяется на рудниках с небольшой производственной мощностью [19].

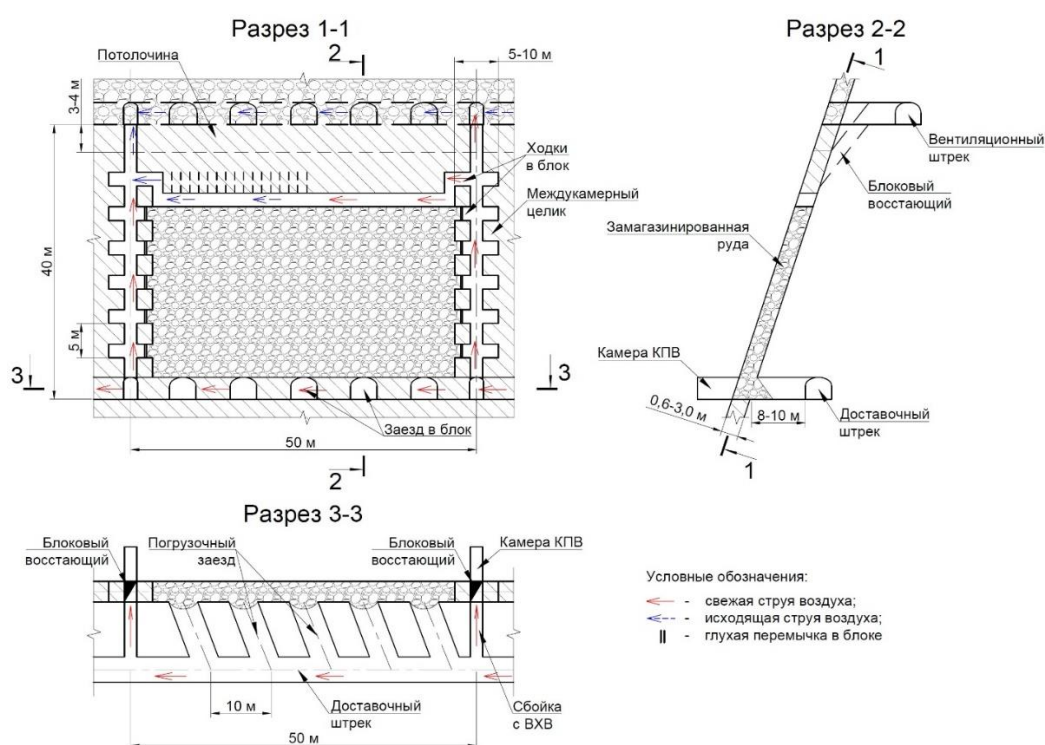


Рис. 1. Система разработки с магазинированием руды

Система с отбойкой руды из подэтажных штреков эффективна при мощности рудного тела от 3 м и более. При меньшей мощности горные работы в блоке сводятся к проходке подготовительно-нарезных выработок с небольшими перерывами на очистные работы, что отрицательно сказывается на эффективности и производительности системы [20]. Возможность применения на бурении самоходного оборудования позволяет обеспечить высокую производительность труда. Достаточно хорошие показатели извлечения при данной системе обусловлены камерной выемкой основных запасов блока (около 70 - 80 %).

Применение систем с обрушением руды и вмещающих пород, помимо низких показателей извлечения, в условиях отрицательных температур рудничной атмосферы и вмещающих пород часто влечет за собой смерзание рудной массы. Данный фактор в значительной степени затрудняет полноту выпуска, приводит к повышенным показателям потерь руды и напрямую влияет на производительность блока и всего рудника [21 – 23]. Опыт применения системы разработки подэтажного обрушения с торцовым выпуском

руды с помощью ПДМ показывает нестабильность величин показателей извлечения ввиду хаотичного распределения полезного компонента в рудном теле. Потери руды, оставляемые за пределами фигуры выпуска, в боковых гребнях на стенках траншеи и во фронтальных гребнях в торце забоя могут содержать различное количество полезного компонента [24].

При данных системах практически отсутствует возможность утилизации отходов горного производства в выработанном пространстве и сохранения налегающей толщи в процессе или после отработки выемочной единицы.

Следовательно, для повышения безопасности ведения горных работ и создания условий для размещения отходов, необходимо рассмотреть варианты подземной геотехнологии на основе максимальной механизации и автоматизации технологических процессов и заполнения выработанного пространства пустыми породами в виде сухой закладки.

Результаты исследований и их обсуждение

Для жил с мощностью, близкой к ширине горных выработок, рационально применять подэтажно-камерную систему разработки с сухой закладкой, без оставления целиков и применением скважинной отбойки (рис. 2). При длине рудного тела по простиранию свыше 300 м его делят на панели. Технология заключается в выемке рудных тел блоками с подэтажной отбойкой руды рядами скважин и последующей закладкой выработанного пространства породным материалом. Длину блока принимают равной длине эффективной работы применяемого самоходного оборудования (около 250 м). В пределах этажа рудное тело разбивается на подэтажи высотой 12,5 – 20,0 м. Подготовку блоковых запасов к выемке осуществляют двумя фланговыми спиральными съездами (закладочным и транспортным) и заездами на подэтажи. Для обеспечения очистных и закладочных работ накопительными емкостями в каждом заезде проходят перегрузочные камеры. Выработки могут использоваться для отработки соседних блоков. При отработке рудных тел незначительной длины по простиранию возможны варианты подготовки блока одним съездом и вентиляционно-ходовым восстающим.

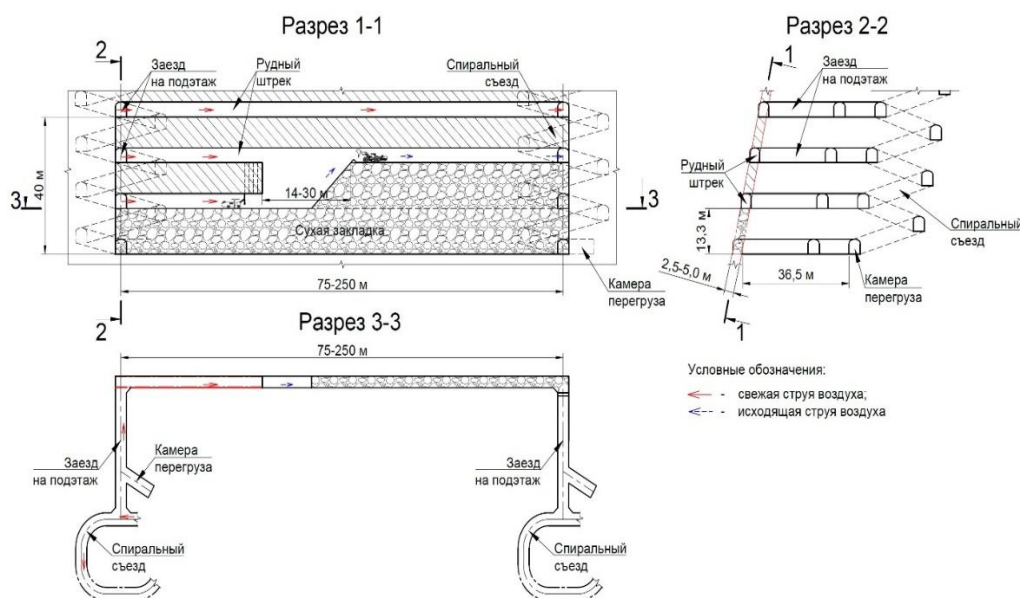


Рис. 2. Подэтажно-камерная система разработки с сухой закладкой

Отбойка запасов руды в камере производится секциями. После проветривания в буро-доставочном штреке при помощи ПДМ с дистанционным управлением (ДУ) производят уборку отбитой руды и ее доставку в перегрузочную камеру, где она грузится

непосредственно в шахтный автосамосвал либо временно складироваться до его приезда. Закладка выработанного пространства производится путем наращивания навала из отходов добычи или переработки при помощи ПДМ из заезда на вышележащий подэтаж. Формирование навала в выработанном пространстве производится сталкиванием закладочного материала и последующим планированием его поверхности. Таким образом, происходит постепенное заполнение выработанного пространства и создание почвы вентиляционно-закладочного штрека. После полной закладки камеры данный штрек будет служить буро-доставочной выработкой для отработки запасов следующего подэтажа.

Для предотвращения опрокидывания ПДМ в камеру, по аналогии с технологией формирования породных отвалов на поверхности, сталкивание закладочного материала в выработанное пространство производится вторым ковшом с оставлением на краю откоса предохранительного вала шириной и высотой не менее 1,5 и 0,5 м, соответственно.

По мере наращивания закладочного массива производится его уплотнение весом ПДМ. После закладки камеры, с целью снижения потерь обогащенной рудной мелочи [25, 26], производят подсыпку почвы породой мелких фракций для заполнения пустот в верхнем слое закладочного материала. Также возможна дополнительная проливка поверхности цементным молочком. Закладочные работы совмещаются по времени с бурением на добычном фланге последующих рядов скважин.

С целью снижения разубоживания от прирезки боковых пород для рудных тел с мощностью менее 3 м и сложной морфологией целесообразно применять варианты системы разработки горизонтальными слоями с селективной выемкой руды и сухой закладкой (рис. 3).

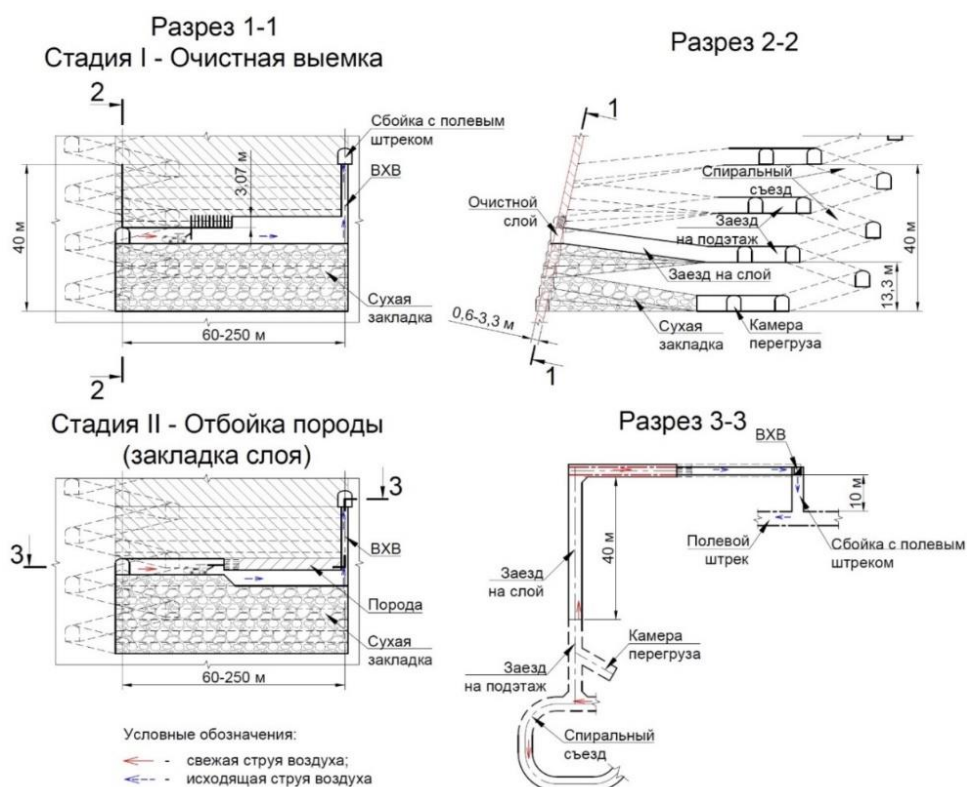


Рис. 3. Система разработки горизонтальными слоями с селективной выемкой руды и сухой закладкой

Отработка запасов блока производится послойно снизу вверх без оставления междублоковых целиков. Схема подготовки отличается от подэтажно-камерной системы разработки наличием заездов на каждый слой. Нарезные работы включают в себя проходку подсечного рудного штрека в основании блока. Очистная выемка производится из

подсечного штрека путем бурения восходящих шпуров, селективной отбойки, погрузки и доставки руды с помощью ПДМ с ДУ. Отбойку ведут секциями, объемы которых определяются из условия максимальной производительности и эффективности работы ПДМ в течение смены. После выемки рудного слоя производится формирование сечения подсечного штрека следующего слоя путем отбойки пустых пород на образованную щель. Вся отбитая порода остается на почве слоя в качестве закладочного материала.

Удельный расход закладочного материала при системе разработки горизонтальными слоями зависит от мощности рудного тела и размеров поперечного сечения слоевой выработки, которая определяет минимальную выемочную мощность [27 – 30]. Также влияет степень разрыхления и последующей усадки породного закладочного материала. График зависимости удельного расхода закладочного материала от мощности рудного тела при минимальном сечении выработки для малогабаритной техники с остекленным исполнением кабины ($13,6 \text{ м}^2$) и различной плотности руды представлен на рис. 4. Видно, что при мощности рудного тела менее $0,6 \text{ м}$ не требуется дополнительного закладочного материала. Отрицательные значения на графике показывают излишки образующейся при отбойке породы, которую нужно вывезти из блока. Положительные значения показывают дополнительное количество породного закладочного материала, необходимое для полной закладки выработанного пространства.

При небольших отставаниях высоты почвы слоя процессы обурирования пустых пород и дозакладки слоя могут быть совмещены с целью увеличения производительности процесса. При этом фронт отбойки пустых пород идет с опережением фронта дозакладки. ПДМ работает до границы рабочей зоны буровой установки.

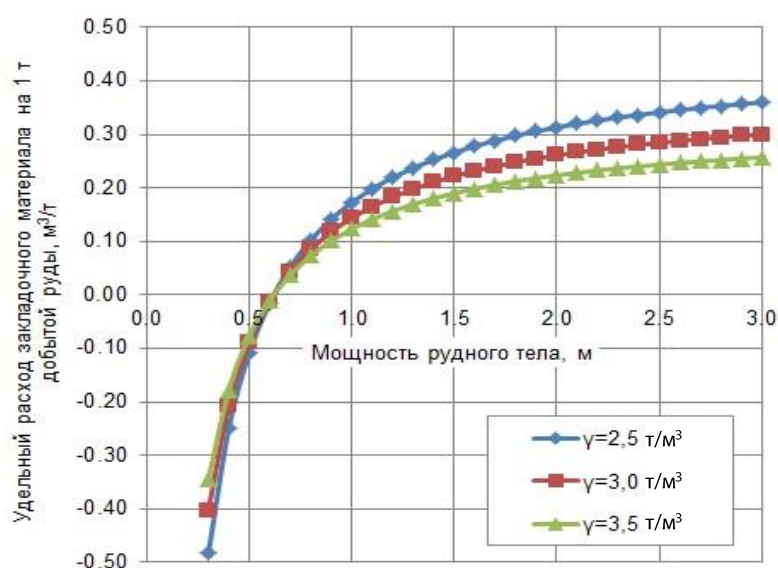


Рис. 4. Зависимость удельного расхода породной закладки от мощности рудного тела при различной плотности руды в массиве

С целью уменьшения потерь руды после формирования почвы слоевого штрека производят подсыпку мелкофракционного материала для заполнения пустот в верхнем слое закладочного материала. Также возможна дополнительная проливка поверхности цементным молочком. Слой является разделителем поверхности закладочного массива и вновь отбиваемой рудой. В качестве материала для подсыпки могут использоваться песок или породы из проходческих забоев.

После полной закладки слоя, выравнивания и уплотнения закладочного материала цикл повторяется. Для заезда на следующий слой после отбойки и уборки первой секции руды подбивают кровлю действующего заезда, после чего проводится оборка и крепление вновь образованной кровли.

Технико-экономические показатели технологий с закладкой и базовыми системами разработки маломощных жильных месторождений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технико-экономические показатели систем разработки

Наименование показателя	Системы разработки			
	Магазинирование	Горизонтальные слои	Подэтажные штреки	Подэтажно-камерная с закладкой
Средняя мощность рудного тела, м	1,2	1,2	3,0	3,0
Высота этажа, м	50	50	50	50
Средняя длина блока, м	50	100	60	120
Балансовые запасы блока, т	7500	15000	22500	45000
Потери, %	7,78	8,27	9,25	5,12
Разубоживание, %	11,57	2,98	9,82	8,22
Эксплуатационные запасы блока, т	7821	14182	22642	46520
Удельный расход ПНР на 1000 т добытой руды, м/м ³	33,7 / 336,6	38,1 / 319,2	11,8 / 104,7	13,3 / 178,1
Производительность труда подземного рабочего по системе разработки, м ³ /чел.-смену	1,5	5,4	8,0	15,6
Производительность, т/сут	152	100	228,8	453
Годовая производительность системы разработки по очистному блоку, тыс. т/год	55,42	36,38	83,52	165,49

Заключение

Освоение жильных месторождений России с помощью классических технологий не позволяет в полной мере ответить современным глобальным вызовам, среди которых минимизация размещения отходов горного производства на земной поверхности и полнота извлечения запасов недр. Решением данной проблемы может служить переход на системы разработки с восходящей выемкой и сухой закладкой, обеспечивающий возможность складирования значительного объема пустых пород в выработанном пространстве с сохранением целостности окружающего массива. Оценка экологического потенциала данных геотехнологий по критерию возможности утилизации максимального объема отходов показала, что при мощности рудного тела более 0,6 м обеспечивается полная утилизация текущих отходов и формируются емкости для утилизации существующих или будущих отходов добычи и переработки руд.

Список литературы

1. Яковлев В.Л., 2020. О методологии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых для разработки стратегии развития минерально-сырьевой базы России. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 7, С. 5-20. DOI 10.21440/0536-1028-2020-7-5-20.
2. Яковлев В.Л., Корнилов С.В., Соколов И.В., 2018. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья. *Екатеринбург: Уральское отделение РАН*, 360 с.
3. Пацкевич П.Г., Айнбиндер И.И., Григорьев Н.В., Красюкова Е.В., 2023. Учет состояния и строения массива при выборе способов поддержания подземных горных выработок в условиях разработки жильных месторождений Крайнего Севера. *Горный журнал*, № 1, С. 124-129. DOI 10.17580/gzh.2023.01.21.
4. Яковлев В.Л., 2022. О необходимости разработки Программы комплексного освоения и развития минерально-сырьевой базы Республики Саха (Якутия). *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*, Т. 27, № 3, С. 363-369. DOI 10.31242/2618-9712-2022-27-3-363-369.
5. Li S., Yu L., Dan Z., Yin T., Chen J., 2024. The Recent Progress China Has Made in Mining Method Transformation, Part I: Shrinkage Method Transformed into Backfilling Method. *Applied Sciences*, 14, 10033. DOI: 10.3390/app142110033
6. Brand L., Haider K., 2023. Sublevel Shrinkage (SLSh) Mining – A State-of-the-art Review Sublevel Shrinkage (SLSh) Mining – Stand der Technik. *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 168(6). DOI: 10.1007/s00501-023-01354-3
7. Соколов И.В., Смирнов А.А., Антипин Ю.Г., Барановский К.В., Никитин И.В., Рожков А.А., Соломеин Ю.М., Дедов О.Ю., 2018. Особенности подземной разработки Ветренского золоторудного месторождения. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 4, С. 12-22. DOI: 10.21440/0536-1028-2018-4-12-22.
8. Авдеев А.Н., Сосновская Е.Л., Павлов А.М., 2022. Обоснование безопасных и эффективных систем разработки маломощных крутопадающих рудных тел на глубинах свыше 1000 м. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, № 2, С. 169-180. DOI 10.46689/2218-5194-2022-2-1-169-180.
9. Павлов А.М., Васильев Д.С., 2017. Повышение эффективности подземной разработки тонких крутопадающих жил. *Горная промышленность*, № 1, С. 86-87.
10. Маилян Л.С., 2020. Отбор технически применяемых систем подземной разработки весьма тонких и тонких крутопадающих рудных тел. *Вестник Национального политехнического университета Армении. Металлургия, материаловедение, недропользование*, № 2, С. 80-91.
11. Пирогов Г.Г., Подопрigора В.Е., 2023. Комплексно-механизированная разработка рудных тел с магазинированием руды. *Горный журнал*, № 7, С. 46-49. DOI 10.17580/gzh.2023.07.07.
12. Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Рожков А.А., Соломеин Ю.М., 2023. Экогеотехнология добычи бедных руд с созданием условий для попутной утилизации отходов горного производства. *Записки Горного института*, Т. 260, С. 289-296. DOI 10.31897/PMI.2023.21.
13. Боровиков Е.В., Мажитов А.М., 2023. Технология формирования закладочного массива с заданными геотехническими характеристиками. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 2, С. 52-61. DOI 10.21440/0536-1028-2023-2-52-61.
14. Мажитов А.М., 2021. Оценка степени техногенного преобразования участка недр при разработке месторождения с обрушением руды и вмещающих пород в восходящем порядке. *Горная промышленность*, № 4, С. 113-118. DOI 10.30686/1609-9192-2021-4-113-118.
15. Зубков А.В., 2001. *Геомеханика и геотехнология*. Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 335 с.

16. Волков Ю.В., Смирнов А.А., Соколов И.В., Камаев В.Д., 2003. Подземная геотехнология разработки с восходящей выемкой. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, №3, С. 34-40.
17. Волков Ю.В., Соколов И.В., 2006. *Подземная разработка медноколчеданных месторождений Урала*. Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 232 с.
18. Неганов В.П., 1995. *Технология разработки золоторудных месторождений*. Москва: Недра, 336 с.
19. Глотов В.В., 2009. Обоснование рациональных размеров шахтных полей при разработке жильных месторождений. *Вестник Читинского государственного университета*, № 2(53), С. 28-34.
20. Антипин Ю.Г., Барановский К.В., Рожков А.А., Ключев М.В., 2020. Обзор комбинированных систем подземной разработки рудных месторождений. *Проблемы недропользования*, № 3(26), С. 5-22. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.03.005.
21. Савич И.Н., 2014. Проблемы применения систем с принудительным обрушением при подземной разработке рудных месторождений. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № S1, С. 366-373.
22. Зубков В.П., Петров Д.Н., 2022. Влияние режима выпуска руды на потери от смерзания при подземной разработке месторождений криолитозоны. *Горная промышленность*, № 2, С. 76-80. DOI 10.30686/1609-9192-2022-2-76-80.
23. Соколов И.В., Рожков А.А., Барановский К.В., Соломеин Ю.М., 2025. Изыскание направлений снижения ущерба от переизмельчения металлических руд при системах разработки с обрушением. *Взрывное дело*, № 146-103, С. 70-88.
24. Рожков А.А., 2021. Систематизация способов снижения потерь рудной мелочи при подземной разработке месторождений. *Проблемы недропользования*, № 3(30), С. 16-28. DOI 10.25635/2313-1586.2021.03.016.
25. Соколов И.В., Рожков А.А., Антипин Ю.Г., 2023. Методический подход к обоснованию технологий снижения ущерба от переизмельчения руды при подземной разработке. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, № 3, С. 352-367. EDN NFGXWZ.
26. Соколов И.В., Рожков А.А., Барановский К.В., 2023. Параметризация технологии снижения ущерба от переизмельчения руды при подземной разработке месторождений. *Горная промышленность*, № 5, С. 78-82. DOI 10.30686/1609-9192-2023-5-78-82.
27. Бронников Д.М., Цыгалов М.Н., 1989. *Закладочные работы в шахтах: Справочник*. Москва: Недра, 398 с.
28. Рыльникова М.В., Джаппуев Р.К., Цупкина М.В., Габараев О.З., 2024. Концепция устойчивого развития горнопромышленного региона Кабардино-Балкарии на основе использования хвостов обогащения Тырныаузской фабрики в закладке выработанного пространства. *Устойчивое развитие горных территорий*, № 1(59), С. 181-196. DOI 10.21177/1998-4502-2024-16-1-181-196.
29. Крупник Л.А., Шапошник Ю.Н., Шапошник С.Н., 2015. Разработка технологии закладочных работ на руднике Теллур ТОО «Акмола Голд». *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 11, С. 10-16.
30. Cai S.J., Lyu W.S., Wu D., Yang P., 2017. Mining method optimization of Baiyi gold mine based on the value engineering principle. *Proceedings of the First International Conference on Underground Mining Technology, Australian Centre for Geomechanics, 2017, Perth*, pp. 511-521.

References

1. Yakovlev V.L., 2020. O metodologii kompleksnogo osvoeniya zapasov mesto-rozhdenii tverdykh poleznykh iskopaemykh dlya razrabotki strategii razvitiya mineral'no-syr'evoi bazy Rossii. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii* [On the methodology of integrated devel-

opment of reserves of solid mineral deposits for the development of a strategy for the development of the mineral resource base of Russia]. *Gornyi zhurnal*, № 7, P. 5-20. DOI 10.21440/0536-1028-2020-7-5-20.

2. Yakovlev V.L., Kornilkov S.V., Sokolov I.V., 2018. Innovatsionnyi bazis strategii kompleksnogo osvoeniya resursov mineral'nogo syr'ya [Innovative basis of the strategy of integrated development of mineral resources]. Ekaterinburg: Ural'skoe otделение RAN, 360 p.

3. Patskevich P.G., Ainbinder I.I., Grigor'ev N.V., Kras'yukova E.V., 2023. Uchet sostoyaniya i stroeniya massiva pri vybore sposobov podderzhaniya podzemnykh gorn'nykh vyrabotok v usloviyakh razrabotki zhil'nykh mestorozhdenii Krainego Severa [Consideration of the condition and structure of the massif when choosing ways to maintain underground mining operations in the conditions of the development of vein deposits in the Far North]. *Gornyi zhurnal*, № 1, P. 124-129. DOI 10.17580/gzh.2023.01.21.

4. Yakovlev V.L., 2022. O neobkhodimosti razrabotki Programmy kompleksnogo osvoeniya i razvitiya mineral'no-syr'evoi bazy Respubliki Sakha (Yakutiya) [On the need to develop a program for the integrated development of the mineral resource base of the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki*, Vol. 27, № 3, P. 363-369. DOI 10.31242/2618-9712-2022-27-3-363-369.

5. Li S., Yu L., Dan Z., Yin T., Chen J., 2024. The Recent Progress China Has Made in Mining Method Transformation, Part I: Shrinkage Method Transformed into Backfilling Method. *Applied Sciences*, 14, 10033. DOI: 10.3390/app142110033

6. Brand L., Haider K., 2023. Sublevel Shrinkage (SLSh) Mining – A State-of-the-art Review Sublevel Shrinkage (SLSh) Mining – Stand der Technik. *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 168(6). DOI: 10.1007/s00501-023-01354-3

7. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Yu.G., Baranovskii K.V., Nikitin I.V., Rozhkov A.A., Solomein Yu.M., Dedov O.Yu., 2018. Osobennosti podzemnoi razrabotki Vetrenskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii* [Peculiarities of the underground mining of the Vetrenskoye gold deposit]. *Gornyi zhurnal*, № 4, P. 12-22. DOI 10.21440/0536-1028-2018-4-12-22.

8. Avdeev A.N., Sosnovskaya E.L., Pavlov A.M., 2022. Obosnovanie bezopasnykh i effektivnykh sistem razrabotki malomoshchnykh krutopadayushchikh rudnykh tel na glubinakh svyshe 1000 m [Substantiation of safe and effective systems for the development of low-power steep-falling ore bodies at depths above 1000 m]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, № 2, P. 169-180. DOI 10.46689/2218-5194-2022-2-1-169-180.

9. Pavlov A.M., Vasil'ev D.S., 2017. Povyshenie effektivnosti podzemnoi razrabotki tonkikh krutopadayushchikh zhil [Improving the efficiency of underground mining of thin, steeply sinking veins]. *Gornaya promyshlennost'*, № 1, P. 86-87.

10. Mailyan L.S., 2020. Otkhod tekhnicheskii primenyaemykh sistem podzemnoi razrabotki ves'ma tonkikh i tonkikh krutopadayushchikh rudnykh tel. *Vestnik Natsional'nogo politekhnicheskogo universiteta Armenii* [Selection of technically applicable subsurface mining systems for very thin and thin steeply falling ore bodies]. *Metallurgiya, materialovedenie, nedropol'zovanie*, № 2, S. 80-91.

11. Pirogov G.G., Podoprigora V.E., 2023. Kompleksno-mekhanizirovannaya razrabotka rudnykh tel s magazinirovaniem rudy [Complex mechanized mining of ore bodies with ore storage]. *Gornyi zhurnal*, № 7, S. 46-49. DOI 10.17580/gzh.2023.07.07.

12. Sokolov I.V., Antipin Yu.G., Rozhkov A.A., Solomein Yu.M., 2023. Ekogeotekhnologiya dobychi bednykh rud s sozdaniem uslovii dlya poputnoi utilizatsii otkhodov gornogo proizvodstva [The ecogeotechnology of mining poor ores with the creation of conditions for the proper disposal of mining waste]. *Zapiski Gornogo instituta*, Vol. 260, P. 289-296. DOI 10.31897/PMI.2023.21.

13. Borovikov E.V., Mazhitov A.M., 2023. Tekhnologiya formirovaniya zakladochnogo massiva s zadannymi geotekhnicheskimi kharakteristikami. *Izvestiya vysshikh*

uchebnykh zavedenii [Technology of forming a laying array with specified geotechnical characteristics]. Gornyi zhurnal, № 2, P. 52-61. DOI 10.21440/0536-1028-2023-2-52-61.

14. Mazhitov A.M., 2021. Otsenka stepeni tekhnogenogo preobrazovaniya uchastka neдр pri razrabotke mestorozhdeniya s obrusheniem rudy i vmeshchayushchikh porod v voskho-dyashchem poryadke [Assessment of the degree of man-made transformation of a sub-surface area during the development of a deposit with the collapse of ore and host rocks in ascending order]. Gornaya promyshlennost', № 4, P. 113-118. DOI 10.30686/1609-9192-2021-4-113-118.

15. Zubkov A.V., 2001. Geomekhanika i geotekhnologiya [Geomechanics and geotechnology]. Ekaterinburg: Ural'skoe otделение RAN, 335 p.

16. Volkov Yu.V., Smirnov A.A., Sokolov I.V., Kamaev V.D., 2003. Podzemnaya geotekhnologiya razrabotki s voskhodyashchei vyemkoi [Underground mining geotechnology with an upward excavation]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal, №3, P. 34-40.

17. Volkov Yu.V., Sokolov I.V., 2006. Podzemnaya razrabotka mednokolchedannykh mestorozhdenii Urала [Underground mining of copper-ore deposits in the Urals]. Ekaterinburg: Ural'skoe otделение RAN, 232 p.

18. Neganov V.P., 1995. Tekhnologiya razrabotki zolotorudnykh mestorozhdenii [Technology for the development of gold deposits]. Moscow: Nedra, 336 p.

19. Glotov V.V., 2009. Obosnovanie ratsional'nykh razmerov shakhtnykh polei pri razrabotke zhil'nykh mestorozhdenii [Justification of the rational size of mine fields in the development of vein deposits]. Vestnik Chitinskogo gosudarstvennogo universiteta, № 2(53), P. 28-34.

20. Antipin Yu.G., Baranovskii K.V., Rozhkov A.A., Klyuev M.V., 2020. Obzor kombinirovannykh sistem podzemnoi razrabotki rudnykh mestorozhdenii [Overview of combined underground mining systems of ore deposits]. Problemy nedropol'zovaniya, № 3(26), P. 5-22. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.03.005.

21. Savich I.N., 2014. Problemy primeneniya sistem s prinuditel'nyim obru-sheniem pri podzemnoi razrabotke rudnykh mestorozhdenii [Problems of using the system with engineering and technical developments]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № S1, P. 366-373.

22. Zubkov V.P., Petrov D.N., 2022. Vliyanie rezhima vypuska rudy na poteri ot smerzaniya pri podzemnoi razrabotke mestorozhdenii kriolitozony [Effect of the ore release regime on freezing losses during underground mining of cryolithozone deposits]. Gornaya promyshlennost', № 2, P. 76-80. DOI 10.30686/1609-9192-2022-2-76-80.

23. Sokolov I.V., Rozhkov A.A., Baranovskii K.V., Solomein Yu.M., 2025. Izyskanie napravlenii snizheniya ushcherba ot pereizmel'cheniya metallicheskiх rud pri sistemakh razrabotki s obrusheniem [Finding ways to reduce damage from the over-grinding of metallic ores in mining systems with collapse]. Vzryvnoe delo. № 146-103, P. 70-88.

24. Rozhkov A.A., 2021. Sistematizatsiya sposobov snizheniya poter' rudnoi melochi pri podzemnoi razrabotke mestorozhdenii [Systematization of ways to reduce the loss of ore fines during underground mining]. Problemy nedropol'zovaniya, № 3(30), P. 16-28. DOI 10.25635/2313-1586.2021.03.016.

25. Sokolov I.V., Rozhkov A.A., Antipin Yu.G., 2023. Metodicheskii podkhod k obosnovaniyu tekhnologii snizheniya ushcherba ot pereizmel'cheniya rudy pri podzemnoi razrabotke. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta [Methodological approach to substantiating technologies for reducing damage from ore over-grinding during underground mining]. Nauki o Zemle, № 3, P. 352-367. EDN NFGXWZ.

26. Sokolov I.V., Rozhkov A.A., Baranovskii K.V., 2023. Parametrizatsiya tekhnologii snizheniya ushcherba ot pereizmel'cheniya rudy pri podzemnoi razrabotke mestorozhdenii [Pa-

rameterization of the technology for reducing damage from over-grinding of ore during subsurface mining]. *Gornaya promyshlennost'*, № 5, P. 78-82. DOI 10.30686/1609-9192-2023-5-78-82.

27. Bronnikov D.M., TSygalov M.N., 1989. *Zakladochnye raboty v shakhtakh: Spravochnik* [Laying works in mines: A reference book]. Moscow: Nedra, 398 p.

28. Ryl'nikova M.V., Dzhappuev R.K., TSupkina M.V., Gabaraev O.Z., 2024. *Kon-septsiya ustoichivogo razvitiya gornopromyshlennogo regiona Kabardino-Balkarii na osnove ispol'zovaniya khvostov obogashcheniya Tyrnyauzskoi fabriki v zakladke vyrabotannogo prostranstva* [The concept of sustainable development of the mining region of Kabardino-Balkaria based on the use of tailings from the Tyrnyauz factory in the developed space]. *Ustoichivoe razvitie gornykh territorii*, № 1(59), S. 181-196. DOI 10.21177/1998-4502-2024-16-1-181-196.

29. Krupnik L.A., SHaposhnik Yu.N., SHaposhnik S.N., 2015. *Razrabotka tekhnologii zakladochnykh rabot na rudnike Tellur TOO «Akmola Gold»* [Development of the technology of laying works at the Tellur mine of Akmola Gold LLP]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 11, P. 10-16.

30. Cai S.J., Lyu W.S., Wu D., Yang P., 2017. Mining method optimization of Bayi gold mine based on the value engineering principle. *Proceedings of the First International Conference on Underground Mining Technology, Australian Centre for Geomechanics, 2017, Perth*, pp. 511-521.