

# Разработка комбинированной подземной геотехнологии с целенаправленным изменением структуры горного массива

А.М. Мажитов✉, Р.В. Кульсаитов, Р.С. Козицина, С.А. Корнеев

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация  
✉ artur.mazhitov@yandex.ru

**Резюме:** В работе представлена конструкция комбинированной системы разработки, обеспечивающая создание благоприятных горнотехнических условий для отработки запасов руды в условиях неустойчивых вмещающих пород. Технология обеспечивает целенаправленное преобразование структуры горного массива путем использования различных технологических решений, которые способствуют повышению производительности очистной выемки, созданию ограждающего упрочненного слоя для обеспечения возможности применения высокопроизводительной камерной системы разработки. Такой подход позволяет эффективно извлекать запасы, находящиеся в массиве неустойчивых вмещающих пород. В результате применения разработанного варианта комбинированной камерной системы разработки достигается улучшение горнотехнических условий работы и повышение эффективности процессов очистной выемки. Идея, заключающаяся в том, что при вводе каждого последующего участка месторождения, находящегося все в более сложных условиях и имеющего низкие качественные показатели по содержанию полезного компонента, в отработку необходимо осуществлять целенаправленное техногенное преобразование массива горных пород, т.е. создавать благоприятные горно-геологические, горнотехнические и геомеханические условия эксплуатации, является актуальной научно-практической задачей горнодобывающего производства.

**Ключевые слова:** повышение производственной мощности, комбинированная система разработки, техногенное преобразование горного массива

**Для цитирования:** Мажитов А.М., Кульсаитов Р.В., Козицина Р.С., Корнеев С.А. Разработка комбинированной подземной геотехнологии с целенаправленным изменением структуры горного массива. *Горная промышленность*. 2024;(1):105–110. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-1-105-110>

## Development of combined subsurface mining method with targeted change of the rock mass structure

A.M. Mazhitov✉, R.V. Kulsaitov, R.S. Kozitsina, S.A. Korneev

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation  
✉ artur.mazhitov@yandex.ru

**Abstract:** The paper presents the design of a combined mining system that ensures favourable mining conditions for the development of ore reserves in conditions of unstable host rocks. The technology provides targeted transformation of the rock mass structure through the use of various technological solutions, which contribute to increasing the productivity of stoping, creation of an enclosing layer with increased strength to enable application of the high-performance room-and-pillar mining system. This approach allows efficient extraction of reserves located within an unstable host rock mass. Application of the developed option of the combined room-and-pillar system results in improved mining conditions and enhanced efficiency of stoping.

The idea that when each subsequent section of the deposit located in ever more challenging conditions and having ever lower ore grades is introduced into mining, it is necessary to carry out a targeted technogenic transformation of the rock mass, i.e. to create favourable mining, geological, engineering and geomechanical conditions of its operation, is an important scientific and practical task of mining technology.

**Keywords:** increase in production capacity, combined mining method, man-made transformation of the rock mass

**For citation:** Mazhitov A.M., Kulsaitov R.V., Kozitsina R.S., Korneev S.A. Development of combined subsurface mining method with targeted change of the rock mass structure. *Russian Mining Industry*. 2024;(1):105–110. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-1-105-110>

**Введение**

Каждый последующий этап подземной разработки месторождений обусловлен определенной степенью техногенного изменения массива горных пород разрабатываемого участка недр. Это преобразование связано непосредственно с очистной выемкой и несет необратимый и трудно-прогнозируемый характер. Практический опыт показывает, что уровень, или масштаб, преобразования зависит от ряда факторов: интенсивности и порядка отработки месторождения, формы и размеров подземных горных выработок, состояния выработанного пространства, направления очистной выемки и других. При вводе в эксплуатацию каждого последующего участка месторождения производится оценка существующих горно-геологических и сформировавшихся в процессе ведения горных работ горнотехнических условий эксплуатации запасов. На этом этапе принимается решение о целесообразности и оценивается эффективность дальнейшей отработки запасов месторождения. И в связи с постоянным снижением содержания полезного компонента на каждом вновь вводимом участке в совокупности с его техногенным преобразованием все чаще приходится отказываться от отработки значительных объемов запасов, находящихся в сложных горно-геологических, геомеханических и горнотехнических условиях.

Поэтому разработка конструкции комбинированной системы разработки, позволяющей ввести в эксплуатацию такие запасы при требуемом увеличении интенсивности их освоения, является актуальной научно-практической задачей.

**Результаты и обсуждение**

Современное состояние подземных горных работ характеризуется постоянным ухудшением количественно-качественных характеристик обрабатываемых запасов. Известно, что с каждым последующим этапом разработки месторождения в эксплуатацию вводятся запасы с меньшим содержанием полезного компонента. При сохранении принятой проектом производственной мощности велика вероятность сокращения прибыли за счет снижения объема конечной продукции. Поэтому горнодобывающие предприятия вынуждены увеличивать свою производственную мощность зачастую в разы [1–7].

Повышение производственной мощности возможно за счет применения высокопроизводительных систем разработки с камерной выемкой и закладкой выработанного пространства для снижения показателей потерь и разубоживания очистной выемки при отработке запасов с низким содержанием полезного компонента [7–13]. Однако месторождения рудных полезных ископаемых характеризуются непостоянством горно-геологических и горнотехнических условий эксплуатации. Месторождения отличаются широким диапазоном изменения содержания полезного компонента и наличием вредных примесей, изменением угла падения залежей и мощности рудных тел, различными характеристиками по устойчивости и напряженному состоянию массива горных пород, наличием охраняемых объектов в районе ведения горных работ [14]. Очевидно, что все это обуславливает различную величину себестоимости очистных работ по участкам и, соответственно, определяет уровень рентабельности отработки запасов. Как правило, в первоочередную отработку вовлекаются участки месторождения, имеющие наиболее благоприятные условия эксплуатации и запасы с отно-

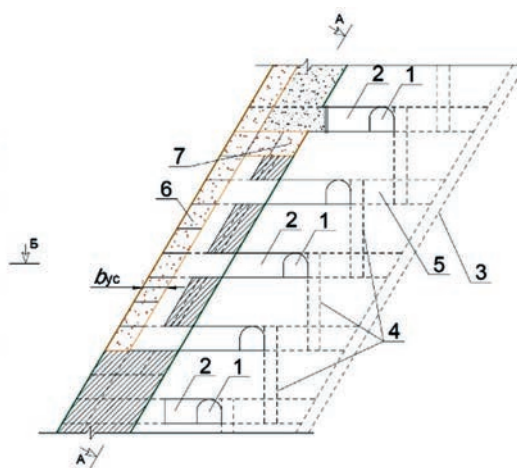
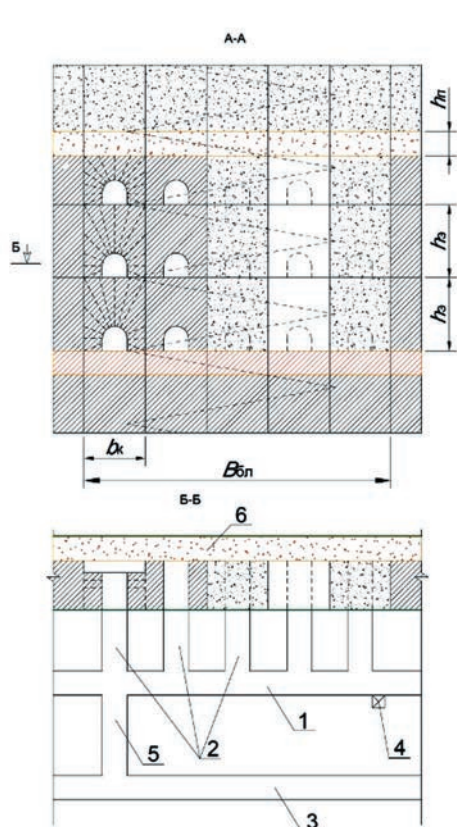
сительно высоким содержанием полезного компонента. При этом в связи с неизбежным техногенным преобразованием массива горных пород в процессе эксплуатации месторождения отработка последующих участков сопровождается все большим ухудшением горно-геологических и горнотехнических условий и, в конечном итоге, может привести к отказу от их отработки, связанному с низкой экономической эффективностью.

Повысить рентабельность отработки вновь вводимых запасов с худшими характеристиками и условиями эксплуатации возможно за счет создания благоприятных условий путем целенаправленного изменения структуры массива пород на данных участках ведения горных работ [15–21]. Поэтому идея, заключающаяся в повышении эффективности разработки рудных месторождений путем применения различных технологических методов, которые позволят своевременно и целенаправленно изменять напряженно-деформированное состояние, геомеханические, структурные и инженерно-технологические характеристики горных пород и другие характеристики, оказывающие влияние на процесс очистной выемки, является актуальной для развития теории и практики горнодобывающего производства.

Вышеизложенное привело к решению задачи по разработке конструкции камерной системы разработки для отработки запасов, находящихся в условиях неустойчивых вмещающих пород с целью повышения производственной мощности разрабатываемого месторождения. При этом очевидно снижение себестоимости очистных работ, что позволяет обрабатывать запасы с низкими качественными характеристиками. Благодаря применению разнообразных технологических методов, которые направлены на изменение напряженно-деформированного состояния, геомеханических, структурных и инженерно-технологических характеристик массива горных пород, осуществление добычи полезных ископаемых на участке месторождения становится более эффективным и достигается максимальная полнота отработки рудных запасов.

Суть системы разработки с поэтажно-камерной выемкой заключается в отработке рудного тела блоками или камерами под защитой укрепленного слоя (рис. 1). Отработка основных запасов камер начинается после создания защитного слоя б со стороны висячего бока и кровли камеры (междуэтажном пространстве) 7. Камеры могут обрабатываться как в направлении простирания рудного тела, так и вкрест. Этаж вертикально делится на подэтажи, а горизонтально – на блоки. Высота этажа (подэтажа) определяется устойчивостью предварительно созданного массива твердеющей закладки при формировании защитного слоя и морфологией рудного тела. Длина блока варьируется в зависимости от используемых средств механизации на доставке рудной массы. Камеры обрабатывают в сплошном порядке либо по камерно-целиковой схеме. Подготовка блока осуществляется с помощью участкового наклонного съезда 3. Для каждого подэтажа используется полевой доставочный штрек 1, пройденный из заезда 5. Нарезные работы выполняются с использованием буро-доставочных ортов 2 и формированием отрезного восстающего 8, который расширяется в отрезную щель на контакте с защитным слоем.

Отбойка руды осуществляется с помощью вееров скважин, которые бурятся из доставочных штреков на разных этажах (подэтажах). В зависимости от прочности защитного слоя отработка запасов этажей может проводиться как



**Рис. 1**  
Вариант подэтажно-камерной системы разработки с формированием защитного слоя и расположением камер вкрест простирания: 1 – доставочный штрек; 2 – буро-доставочный орт; 3 – участковый наклонный съезд; 4 – вентиляционно-ходовой восстающий; 5 – заезд на подэтаж; 6 – защитный слой; 7 – междуэтажный целик; 8 – отрезной восстающий; 9 – закладочная скважина; 10 – вентиляционный штрек

**Fig. 1**  
An option of sub-level room-and-pillar mining system with the formation of a protective layer and the room location across the strike: 1 – haulage entry; 2 – drill-and-haulage crosscut; 3 – section access ramp; 4 – ventilation and manway raise; 5 – access to the sub-level; 6 – protective layer; 7 – floor pillar; 8 – cut-out raise; 9 – backfill borehole; 10 – ventilation drift

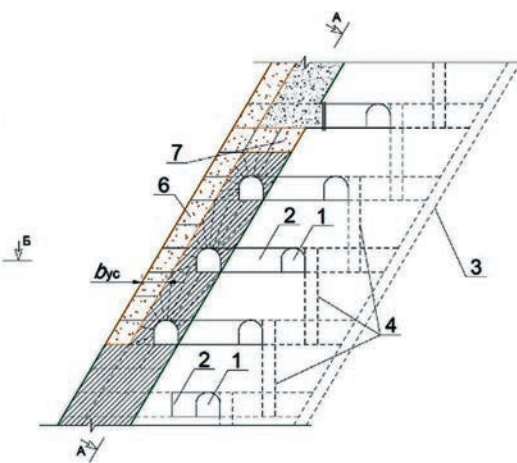
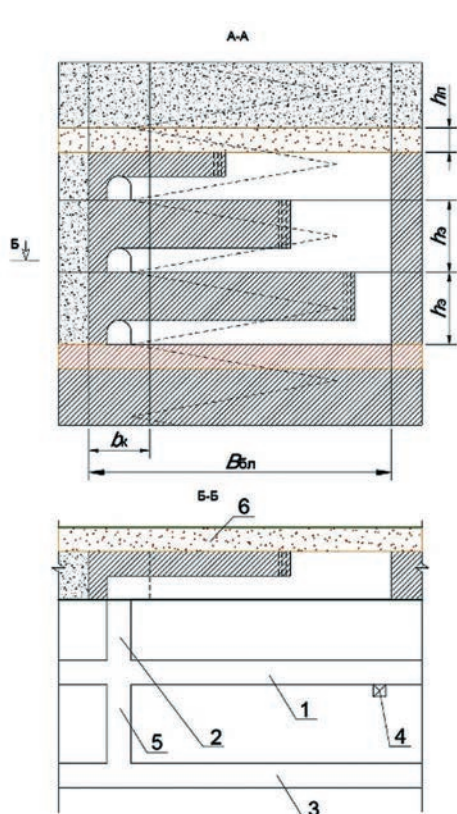
последовательно сверху вниз, так и одновременно на всю высоту этажа.

Закладка выработанного пространства осуществляется через скважины 9, пробуренные с вышележащего (вентиляционного) доставочного штрека 10.

В целях уменьшения объема полевых подготовительно-нарезных работ блоки и камеры могут обрабатываться по простиранию рудного тела (рис. 2). Направление отработки зависит от принятой нормативной прочности закла-

дочного массива укрепленного слоя. Длина блока должна быть определена таким образом, чтобы обнажение защитного слоя в вертикальной стенке камеры оставалось устойчивым.

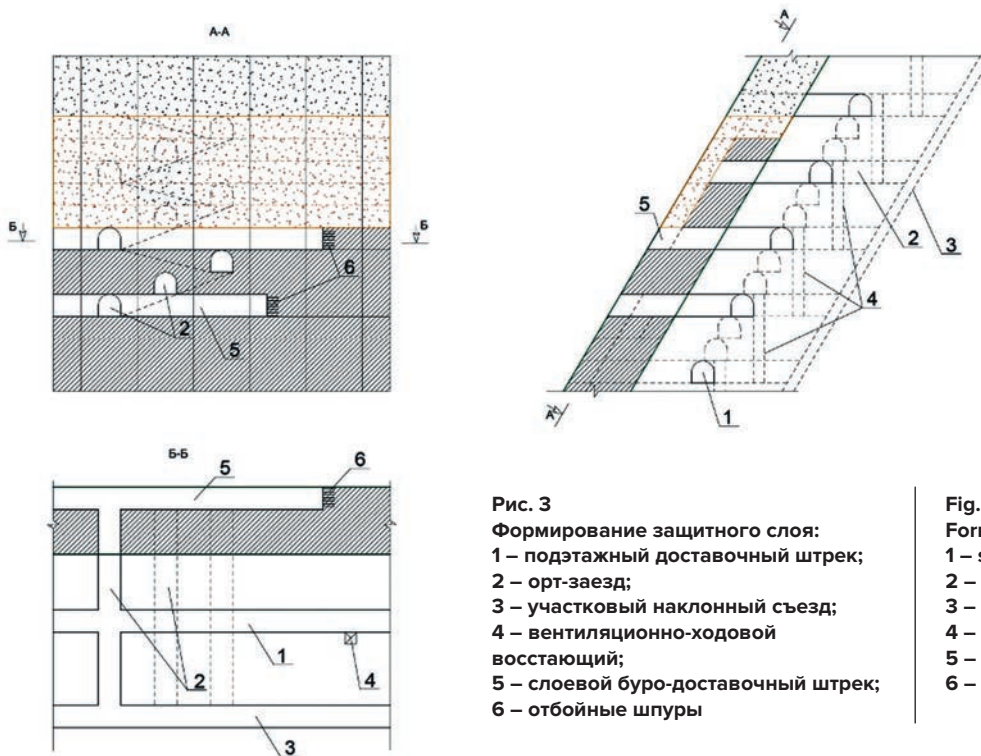
В варианте расположения камер по простиранию подготовка блока аналогична подготовке при расположении камер вкрест простирания. Нарезные работы заключаются в проведении по лежащему боку рудного тела подэтажных буро-доставочных штреков 11, из которых производится



**Рис. 2**  
Вариант подэтажно-камерной системы разработки с формированием защитного слоя и расположением камер по простиранию: 1 – доставочный штрек; 2 – доставочный орт; 3 – участковый наклонный съезд; 4 – вентиляционно-ходовой восстающий; 5 – заезд на подэтаж; 6 – защитный слой; 7 – междуэтажный целик; 8 – отрезной восстающий; 9 – междукамерный целик; 10 – закладочная скважина; 11 – буро-доставочный штрек

**Fig. 2**  
An option of sub-level room-and-pillar mining system with the formation of a protective layer and the room location along the strike: 1 – haulage entry; 2 – haulage crosscut; 3 – section access ramp; 4 – ventilation and manway raise; 5 – access to the sub-level; 6 – protective layer; 7 – floor pillar; 8 – cut-out raise; 9 – room fender; 10 – backfill borehole; 11 – drill-and-haulage entry





**Рис. 3**  
**Формирование защитного слоя:**  
 1 – подэтажный доставочный штрек;  
 2 – орт-заезд;  
 3 – участковый наклонный съезд;  
 4 – вентиляционно-ходовой восстающий;  
 5 – слоевой буро-доставочный штрек;  
 6 – отбойные шпурь

**Fig. 3**  
**Formation of the protective layer:**  
 1 – sub-level haulage entry;  
 2 – access crosscut;  
 3 – section access ramp;  
 4 – ventilation and manway raise;  
 5 – stoping drill-and-haulage drift;  
 6 – main blastholes

обустройство массива веерами скважин. Отбойка запасов подэтажей производится в отступающем порядке на доставочный орт 2.

Блок включает в себя камеру, которая расположена по простиранию рудного тела, и междукамерный целик. Целик извлекается в последнюю очередь, после выемки основных запасов руды в камерах и полной закладки выработанного пространства. Отработка целика осуществляется вкрест простирания в отступающем порядке на доставочный штрек.

Формирование защитного слоя (рис. 3) производится путем применения слоевой системы разработки. Процесс формирования слоев осуществляется сверху вниз. Очистная выемка заходок производится одновременно на нескольких подэтажах, чтобы обеспечить интенсивность формирования защитного слоя. На каждый слой до границы с висячим боком из наклонного съезда проходится орт-заезд 2. Далее проходится слоевой буро-доставочный штрек на всю длину камеры из орта-заезда 2 по висячему боку. Закладка выработанного пространства осуществ-

ляется из орта-заезда соответствующего слоя. При этом штрек имеет уклон в сторону рудного тела для осуществления самотечной закладки.

**Выводы**

Для обеспечения повышения производительности отработки запасов, находящихся в условиях высокой нарушенности массива и сложной морфологии, разработана подэтажно-камерная система разработки с формированием искусственного массива. Установлено, что для сокращения изрезанности массива подготовительными выработками камеры следует располагать по простиранию рудного тела.

В условиях сложной морфологии рудных тел и локализации ослабленного участка для создания условий эффективного применения камерных систем разработки с твердеющей закладкой производится создание изолирующей горной конструкции путем одновременной очистной выемки запасов в приконтактной зоне и замещения рудного массива закладочным за счет применения слоевой системы разработки.

**Список литературы / References**

1. Орлов В.П. Проблемы оценки воспроизводства минерально-сырьевой базы. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. 2010;(3):2–5.  
 Orlov V.P. The problems of assessing the replacement of the mineral resource base. *Mineral Resources of Russia. Economics and Management*. 2010;(3):2–5. (In Russ.)
2. Шарф И.В., Михальчук А.А., Филимонова И.В. Динамическая эффективность воспроизводственных процессов на ресурсодобывающих территориях. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2019;330(10):102–110. <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/10/2302>  
 Sharf I.V., Mikhanchuk A.A., Filimonova I.V. Dynamic effectiveness of reproduction in resource producing regions. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2019;330(10):102–110. (In Russ.) <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/10/2302>
3. Бавлов В.Н., Михайлов Б.К. Основные результаты изучения и направления дальнейшего развития минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых России. *Руды и металлы*. 2009;(1):6–9.  
 Bavlov V.N., Mikhailov B.K. Major results of studies and future views for the Russian mineral base development. *Ores and Metals*. 2009;(1):6–9. (In Russ.)

4. Чмыхалова С.В. Перспективы развития рудно-сырьевой базы АО «Апатит» и способы ее улучшения. *Научные исследования: от теории к практике*. 2016;(4-1):103–106.  
Chmykhalova S.V. Prospects for the development of the Apatit JSC ore and raw material base and ways to improve it. *Nauchnye Issledovaniya: ot Teorii k Praktike*. 2016;(4-1):103–106. (In Russ.)
5. Шеломенцев А.Г., Дорошенко С.В., Козлова О.А., Беляев В.Н., Тоскунина В.Э., Проворова А.А. и др. *Формирование социально-экономической политики северных регионов России с учётом фактора освоения природных ресурсов*. Екатеринбург: Ин-т экономики УрО РАН; 2011. 140 с.  
Shelomentsev A.G., Doroshenko S.V., Kozlova O.A., Belyaev V.N., Toskunina V.E., Provorova A.A. et al. *Formation of the social and economic policy in the Northern regions of the Russian Federation with account of the natural resources development factor*. Yekaterinburg, Institute of Economics, Urals Branch of the Russian Academy of Sciences, 2011, 140 p. (In Russ.)
6. Бавлов В.Н. О состоянии отечественной минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых и перспективах ее развития. *Руды и металлы*. 2006;(1):5–10.  
Bavlov V.N. State of domestic non-fuel minerals base and prospects of its development. *Ores and Metals*. 2006;(1):5–10. (In Russ.)
7. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Развитие научно-методических основ устойчивости функционирования горнотехнических систем в условиях внедрения нового технологического уклада. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2020;(4):24–39.  
Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. Development of scientific and methodological foundations for the sustainability of mining systems in the context of the introduction of a new technological structure. *Izvestiya Tulsogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2020;(4):24–39. (In Russ.)
8. Айнбиндер И.И., Пацкевич П.Г., Родионов Ю.И., Кисиличин С.А. Совершенствование подземной геотехнологии отработки трубки «Интернациональная» системами разработки с закладкой выработанного пространства и комбайновой отбойкой руды. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2010;(9):203–211.  
Ainbinder I.I., Patskevich P.G., Rodionov Y.I., Kisilichin S.A. Perfection of underground mining geotechnology of “International” tube development by the systems of developed space laying and combined ore breaking. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2010;(9):203–211. (In Russ.)
9. Раимжанов Б.Р., Мухитдинов А.Т., Хасанов А.Р. Исследование напряженно-деформированного состояния массива горных пород месторождения Чармитан, влияющие на выбор технологии отработки запасов нижних горизонтов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2016;(5):282–292.  
Raimzhanov B.R., Muhitdinov A.T., Khasanov A.R. Research of the is intense-deformed condition of a file of rocks of a deposit Charmitan, technologists of working off of stocks of the bottom horizons influencing a choice. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2016;(5):282–292. (In Russ.)
10. Валиев Н.Г., Беркович В.Х., Пропп В.Д., Боровиков Е.В. Практика совершенствования системы разработки горизонтальными слоями с гидрозакладкой при отработке крутопадающего жильного месторождения. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2020;(1):171–182. <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2020-1-1-171-182>  
Valiev N.G., Berkovich V.Kh., Propp V.D., Borovikov E.V. Practice of improving the system of developing horizontal layers with waterproof when exploiting a low-resident residential deposit. *Izvestiya Tulsogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2020;(1):171–182. (In Russ.) <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2020-1-1-171-182>
11. Балек А.Е. Управление напряженно-деформированным состоянием скального массива путем регулируемых подвижек консолидированных геоблоков. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2005;(6):164–170.  
Balek A.E. Management of the stress-and-strain state of a rock mass by regulated movements of the consolidated geoblocks. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2005;(6):164–170. (In Russ.)
12. Зубков А.В., Смирнов О.Ю. Управление напряженным состоянием рудного массива при отработке этажно-камерной системой с закладкой крутопадающих мощных рудных тел. *Безопасность труда в промышленности*. 2011;(1):43–47.  
Zubkov A.V., Smirnov O.Yu. Management of the stress state of an ore mass when mining by the level room-and-pillar method with backfilling of the steeply dipping thick ore bodies. *Occupational Safety in Industry*. 2011;(1):43–47. (In Russ.)
13. Сентябов С.В. Выбор методов управления горным давлением в горных конструкциях камерной системы разработки. *Проблемы недропользования*. 2021;(1):73–80. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2021.01.073>  
Sentyabov S.V. Selection of methods for control of mountain pressure in mining structures of the chamber development system. *Problems of Subsoil Use*. 2021;(1):73–80. (In Russ.) <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2021.01.073>
14. Матвеев А.А. Исследование параметров трещинной структуры горных пород и породных массивов. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2012;(2):64–67.  
Matveev A.A. Investigation of parameters if fracture structure of rocks and rock masses. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal*. 2012;(2):64–67. (In Russ.)
15. Кузьмин М.Б. Перспективы совершенствования системы разработки подэтажного обрушения с торцовым выпуском руды. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2003;(4):177–181.  
Kuzmin M.B. Prospects for enhancement of underground sub-level caving systems with front ore drawing. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2003;(4):177–181. (In Russ.)

16. Ермеков Т.М., Яковлев Ю.И., Исаев М.А., Шашкин В.Н., Просеков А.Г. Днище блока для интенсивного выпуска при отработке неустойчивых руд системами с обрушением. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2000;(12):174–178.  
Ermekov T.M., Yakovlev Yu.I., Isaev M.A., Shashkin V.N., Prosekov A.G. Bottom of the block for intensive ore drawing when mining unstable ores with caving systems. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2000;(12):174–178. (In Russ.)
17. Мещеряков Э.Ю., Угрюмов А.Н. Геомеханическое обоснование области применения систем разработки с обрушением руд и пород при освоении месторождения «Чебачье». *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2009;(3):8–11.  
Meshcheryakov E.Yu., Ugryumov A.N. Geomechanical justification of the application area for mining systems with ore and rock caving when developing the Chebachye deposit. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2009;(3):8–11. (In Russ.)
18. Голик В.И., Белодедов А.А., Логачев А.В., Шурьгин Д.Н. Совершенствование параметров выпуска руд при поэтажном обрушении с торцовым выпуском. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2018;(1):150–159.  
Golik V.I., Belodedov A.A., Logachev A.V., Shurygin D.N. Improvement of parameters of production of ores at the subfloor collapse with face release. *Izvestiya Tulsogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2018;(1):150–159. (In Russ.)
19. Мажитов А.М. Оценка влияния подземных горных работ на напряженно-деформированное состояние прикарьерного массива месторождения Камаганское. *Актуальные проблемы горного дела*. 2016;(1):29–35.  
Mazhitov A.M. Assessment of the underground mining impact on the stress-and-strain state of the near-pit rock mass of the Kamaganskoye deposit. *Aktualnye Problemy Gornogo Dela*. 2016;(1):29–35. (In Russ.)
20. Мажитов А.М., Корнеев С.А., Пыталев И.А., Кравчук Т.С. Обоснование устойчиво-безопасных параметров откосов бортов карьера «Камаган» при подземной доработке месторождения. *Горный журнал*. 2018;(2):27–30. <https://doi.org/10.17580/gzh.2018.02.03>  
Mazhitov A.M., Korneev S.A., Pytalev I.A., Kravchuk T.S. Evaluation of stable and safe pit wall slope design for underground extraction of mineral reserves under Kamagan open pit mine bottom. *Gornyi Zhurnal*. 2018;(2):27–30. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2018.02.03>
21. Калмыков В.Н., Волков П.В., Мажитов А.М. Обоснование технологии выемки целиков, оставленных на границе карьера, при комбинированной разработке месторождений. В кн.: Валиев Н.Г., Шорина Э.В., Кокарев К.В. (ред.). *Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: сб. докл. 2-й междунар. науч.-техн. конф., г. Екатеринбург, 3–4 апр. 2013 г.* Екатеринбург: Уральский государственный горный университет; 2013. С. 48–50.  
Kalmykov V.N., Volkov P.V., Mazhitov A.M. Justification of the pillar extraction technology for pillars left at the open pit boundary in combined development of deposits. In: Valiev N.G., Shorina E.V., Kokarev K.V. (ed.). *Innovative geotechnologies in development of ore and nonmetallic deposits: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Research and Technical Conference, Yekaterinburg, April 3-4, 2013*, Yekaterinburg, Urals State Mining University, 2013, pp. 48-50. (In Russ.)

**Информация об авторах**

**Мажитов Артур Маратович** – кандидат технических наук, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация

**Кульсаитов Равиль Вадимович** – кандидат технических наук, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация

**Козицина Регина Сергеевна** – студент кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация

**Корнеев Сергей Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация

**Information about the authors**

**Artur M. Mazhitov** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Mineral Deposits Development, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

**Ravil V. Kulsaitov** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Mineral Deposits Development, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

**Regina S. Kozitsina** – Student at the Department of Geology, Mine Surveying and Mineral Processing, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

**Sergey A. Korneev** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Mineral Deposits Development, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

**Article info**

Received: 16.12.2023

Revised: 31.01.2024

Accepted: 03.02.2024

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 16.12.2023

Поступила после рецензирования: 31.01.2024

Принята к публикации: 03.02.2024