ГЕОТЕХНОЛОГИЯ: ПОДЗЕМНАЯ, ОТКРЫТАЯ, СТРОИТЕЛЬНАЯ

УДК 622.343.5:622.273.2 DOI: 10.21440/0536-1028-2021-4-5-14

Обоснование технологических схем отработки месторождения с учетом техногенного преобразования

Мажитов А. М.[1]*, Пыталев И. А.[1], Боровиков Е. В.[1], Першин Г. Д.[1]
[1] Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Россия
e-mail: artur.mazhitov@yandex.ru

Реферат

Введение. *Горные работы нарушают естественное природное состояние массива горных пород. При этом запасы месторождения имеют разные степень и характер техногенного изменения, что напрямую оказывает влияние на себестоимость отработки и товарную ценность руды.*

Научная и практическая актуальность исследований *заключается в обеспечении повышения полноты и экономической эффективности освоения месторождения за счет применения систем разработки разных классов с учетом техногенного изменения запасов в динамике ведения горных работ.*

Цель работы. *Обоснование технологических схем ведения горных работ, учитывающих возможность и целесообразность отработки техногено-измененных запасов, в частности при переходе с одного класса систем разработки на другой.*

Методология. *В работе на основе анализа горно-геологических условий медноколчеданных месторождений произведено экономико-математическое моделирование освоения рудного месторождения системами разработки разных классов с учетом техногенного изменения подземных запасов в процессе ведения горных работ.*

Результаты. *По итогам моделирования установлено, что повышение экономической эффективности отработки месторождения обеспечивается обоснованием типа, последовательности и границ применения разных геотехнологий, относящихся к разным классам систем разработки в пределах всего месторождения и обособленного рудного тела.*

Выводы. *Результаты работы могут быть использованы при проектировании месторождений в части выбора и обоснования применяемых систем разработки.*

Ключевые слова: *комбинированные системы разработки; выбор и обоснование систем разработки; экономико-математическое моделирование.*

Введение. Освоение рудных месторождений полезных ископаемых подземным способом сопровождается формированием запасов, имеющих разную степень техногенного изменения. Степень и характер изменения и нарушенности зависят от применяемой в постоянно меняющихся горно-геологических и горнотехнических условиях геотехнологии, а также от микро- и макроэкономической обстановки. Трудность проектирования подземных горных работ с учетом происходящего во время их проведения техногенного изменения запасов составляет суть проблемы, которой посвящена работа.

Отсутствие методической базы проектирования подземной разработки с учетом техногенного изменения запасов при ведении горных работ определяет научную актуальность проблемы. Недостаточная обоснованность параметров геотехноло-

гии и технико-экономических показателей разработки ряда уральских медноколчеданных месторождений с учетом техногенного изменения запасов представляет практическую актуальность проблемы.

В настоящее время освоение месторождений сопровождается первоначальной отработкой наиболее перспективных запасов, имеющих высокую ценность и низкую степень сложности по горно-геологическим условиям. Оставленные запасы характеризуются либо низкой рентабельностью отработки, либо сложными условиями эксплуатации ввиду техногенной нарушенности. Отработка таких запасов сопровождается разработкой геотехнологии, обеспечивающей снижение эксплуатационных затрат.

В практике подземных горных работ существуют проекты, предполагающие изменение не только параметров системы разработки, но и конструкции вплоть до смены класса системы разработки с целью снижения эксплуатационных затрат в границах одного месторождения. Обоснование вопросов отработки запасов, нарушенных горными работами, а также совмещения нескольких классов систем разработки в данных проектах проводилось с учетом горно-геологических и горнотехнических условий одного конкретного месторождения. Универсальные методики для решения рассматриваемой проблемы отсутствуют. Поэтому основной целью работы является разработка универсальной методики проектирования горных работ, учитывающей возможность и целесообразность отработки техногенно измененных запасов, в частности при переходе на другой класс систем разработки.

Проведено экономико-математическое моделирование отработки рудного тела, нарушенного горными работами. При выполнении исследований установлена возможность эффективной отработки низкорентабельных участков месторождения или рудного тела при условии перехода на менее затратные классы систем разработки. Также в работе обоснована ширина барьерного целика, обеспечивающего сохранность выработанного пространства при изменении геотехнологии с учетом техногенного преобразования подработанных запасов.

Особенности образования и разработки медноколчеданных залежей. Медноколчеданные залежи отличаются изменчивостью горно-геологических и горнотехнических условий разработки, а именно: мощностью рудного тела, содержанием полезных компонентов, степенью пожароопасности, устойчивостью и крепостью руды и пород. Непостоянство перечисленных условий определяет технологию отработки месторождения, порядок и срок ввода запасов в эксплуатацию. Различие содержания полезного компонента по площади месторождения или рудного тела определяет первоочередную отработку наиболее ценных руд системами разработки с высокой полнотой выемки, в частности с полной закладкой выработанного пространства. При этом дальнейшая отработка участков с относительно низким содержанием полезных компонентов в руде делает нецелесообразным применение таких систем разработки ввиду их повышенной ресурсоемкости.

Последующая отработка участков с относительно низким содержанием полезного компонента определяет необходимость их отработки более дешевыми системами разработки с низкими трудозатратами. Таковыми являются системы с обрушением руды и вмещающих пород. Однако неизбежно возникает вопрос о границах применения того или иного способа поддержания очистного пространства, а также возможности отработки руды с высоким содержанием серы (высокое содержание серы ограничивает применение систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород до локального уровня). При этом встают вопросы по поддержанию качества добываемых руд на уровне технологии добычи с твердеющей закладкой, совмещению на одном горизонте разных схем подготовки, управлению геомеханическими процессами в результате взаимовлияния зон рудного и искусственного

массива и обрушенных пород. Решение комплекса данных задач обеспечивает экономическую эффективность отработки запасов при их техногенном преобразовании в процессе эксплуатации месторождения [1–12].

Эффективность применения способа поддержания очистного пространства определяется только распределением содержания полезных и вредных компонентов. Остальные возможные горно-геологические и горнотехнические факторы, определяющие выбор системы разработки, являются в данном исследовании лишь корректирующими.

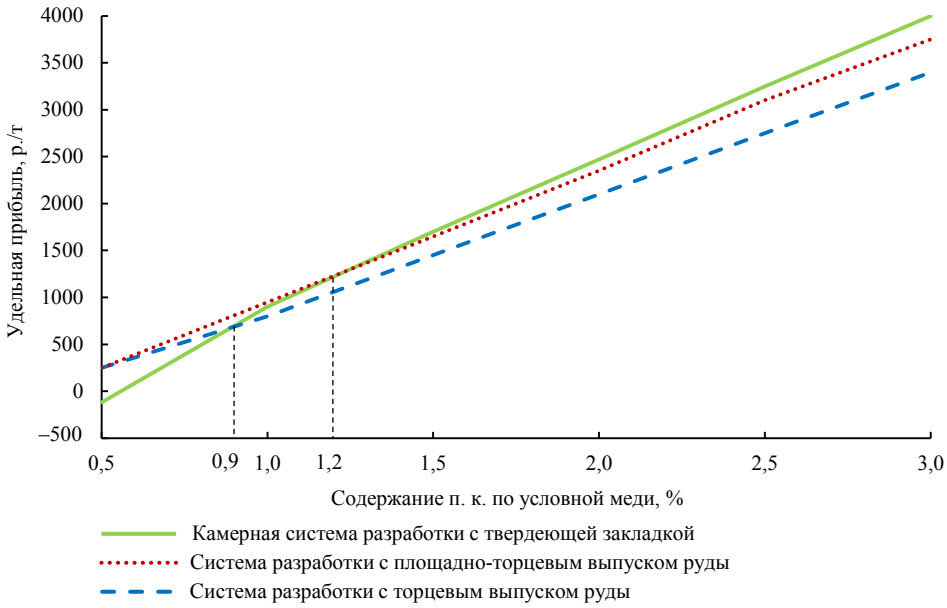

Рис. 1. Зависимость удельной прибыли от содержания полезного компонента в рудном теле
Fig. 1. Dependence of specific profit on content of useful component in ore body

Анализ горно-геологических условий медноколчеданных месторождений. Закономерно распределение массивных сплошных руд в кровле и центральных частях рудных залежей. Прожилково-вкрапленные сконцентрированы на флангах и подошве месторождений. Данный тип руд обладает невысоким содержанием полезных компонентов и имеет на таких участках небольшую мощность, что существенно сокращает область применения классов систем разработки с искусственным поддержанием выработанного пространства [13–16].

Экономико-математическое моделирование отработки рудного тела с учетом критерия получения максимальной прибыли и минимальной себестоимости использовалось при определении границ применения разных способов поддержания очистного пространства в зависимости от содержания полезного компонента [17, 18].

Результаты моделирования представлены графической зависимостью удельной прибыли от содержания полезного компонента в руде (рис. 1).

Моделирование проводилось для последовательной отработки рудного тела камерной системой разработки с твердеющей закладкой с переходом при снижении содержания полезного компонента на систему разработки с обрушением руды и вмещающих пород (с учетом обязательного профилактического заиливания).

Дополнительно рассмотрена отработка рудного тела с применением технологии, основанной на площадно-торцевом выпуске руды с управляемым обрушением пород [17].

Анализ графика показывает, что применение системы разработки с обрушением и торцевым выпуском руды экономически более целесообразно по сравнению с применением систем разработки с закладкой при содержании полезного компонента до 0,9 %. Технология площадно-торцевого выпуска руды под обрушенными породами позволяет расширить область применения класса систем разработки с обрушением до содержания полезного компонента в руде 1,2 %.

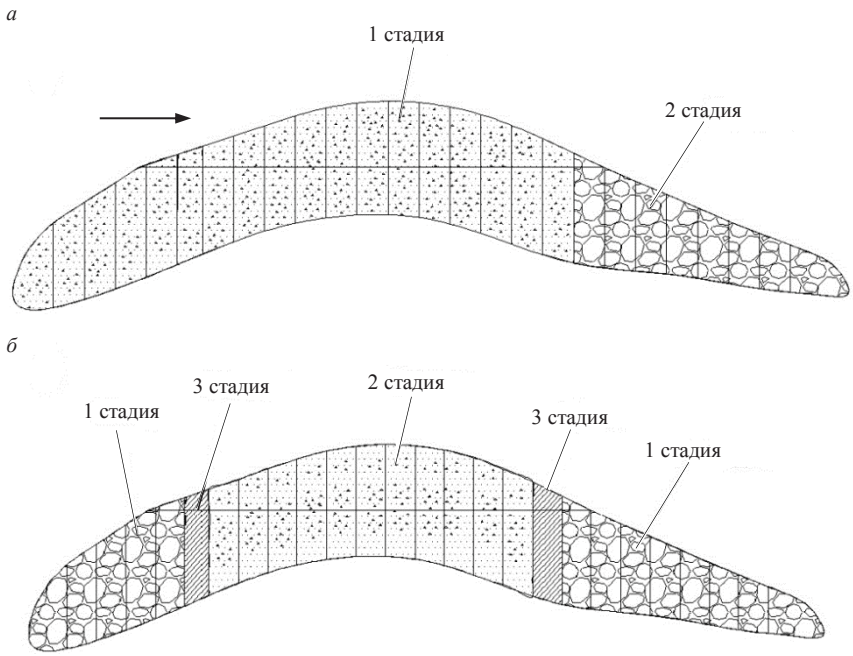

Рис. 2. Технологические схемы совмещения систем разработки разных классов
Fig. 2. Process schemes of different class development systems alignment

Эффективная реализация подземной физико-технической геотехнологии в условиях техногенного преобразования недр обеспечивается заложением на этапе проектирования нескольких систем разработки или перехода от одной системы к другой в процессе эксплуатации [19].

Относительно равномерное распределение полезного компонента в пределах рудного тела не вызывает технической и технологической сложности реализации подземной геотехнологии ввиду применения одного класса систем разработки. Нестабильное распределение полезного компонента способствует поиску порядка отработки «разноценных» запасов и способов поддержания очистного пространства и влечет за собой ряд вопросов по обеспечению безопасности и эффективности горных работ.

Технологические схемы отработки рудного тела, техногенно измененного очистной выемкой, в частности совмещение систем разработки с закладкой выработанного пространства и с обрушением руд и вмещающих пород.

Схема 1 (рис. 2, *а*). Сущность заключается в первоочередной отработке участка рудного тела, имеющего высокое содержание полезного компонента. Отработка рудного тела осуществляется последовательно от одного фланга к другому с переходом на систему разработки с обрушением руды и вмещающих пород.

Отработка таких запасов производится в следующем порядке: на первой стадии – отработка основных запасов системами разработки с закладкой; на второй стадии после окончания работ по выемке основных запасов без оставления барьерного целика – доработка оставшейся части запасов системами разработки с обрушением руд и налегающих пород.

Схема 2 (рис. 2, *б*). В отличие от схемы 1, в первую очередь осуществляется отработка бедных руд системой разработки с обрушением руды и вмещающих пород с постепенным переходом к отработке ценных участков рудного тела системой разработки с твердеющей закладкой. Такой переход сопровождается оставлением и формированием временного предохранительного целика в переходной зоне.

Первоочередная отработка бедных участков рудного тела производится при снижении производительности закладочных работ, а также отставании темпов строительства закладочного комплекса. В такой ситуации предлагается осуществлять выемку запасов месторождения в следующей последовательности. На первой стадии ведется отработка запасов флангов залежи системами разработки с обрушением. Далее оставляется барьерный целик и начинается выемка основных запасов месторождения системами разработки с закладкой. Отработка барьерных целиков между участками ведения горных работ производится на последней стадии отработки.

Очевидно, что при первоочередной отработке богатых участков системой разработки с закладкой выработанного пространства переход на систему разработки с обрушением руды и вмещающих пород не потребует дополнительных мероприятий по управлению горным давлением. Развитие горных работ системой с обрушением руды и вмещающих пород производится непосредственно от закладочного массива и осуществляется без оставления целика между участками горных работ с разными способами поддержания очистного пространства.

С целью изоляции участков ведения горных работ и поддержания выработанного пространства при переходе от обрушенного участка производится формирование целика в переходной зоне. Безопасность переходных мероприятий обеспечивается правильным обоснованием его размера. При этом решаются вопросы по технологии погашения запасов целика и переходной зоны. Рассмотрены три варианта отработки переходной зоны между техногенно нарушенными участками.

Вариант 1 – первоначальная отработка переходной зоны и формирование искусственного целика с последующей отработкой основных запасов рудного тела.

Вариант 2 – первоначальная отработка основных запасов рудного тела с оставлением предохранительного рудного целика между участками горных работ и последующая его отработка.

Вариант 3 – первоначальная отработка основных запасов рудного тела с оставлением предохранительного рудного целика между участками горных работ без последующей его отработки.

Геотехнологическое моделирование вариантов развития горных работ показало, что с позиций обеспечения устойчивости горного массива наилучший результат достигается при первоначальной отработке целика в переходной зоне и замене рудного массива твердеющей закладкой и дальнейшей отработке системой с обрушением руд и вмещающих пород. Ширина предохранительного целика определяется по условию устойчивости и с учетом технологии последующей отработки [20].

По результатам математического моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) в условиях $T = 2\gamma H$ (T – тектоническая составляющая поля напряжений, МПа; γ – удельный вес пород, т/м^3), действующей по направле-

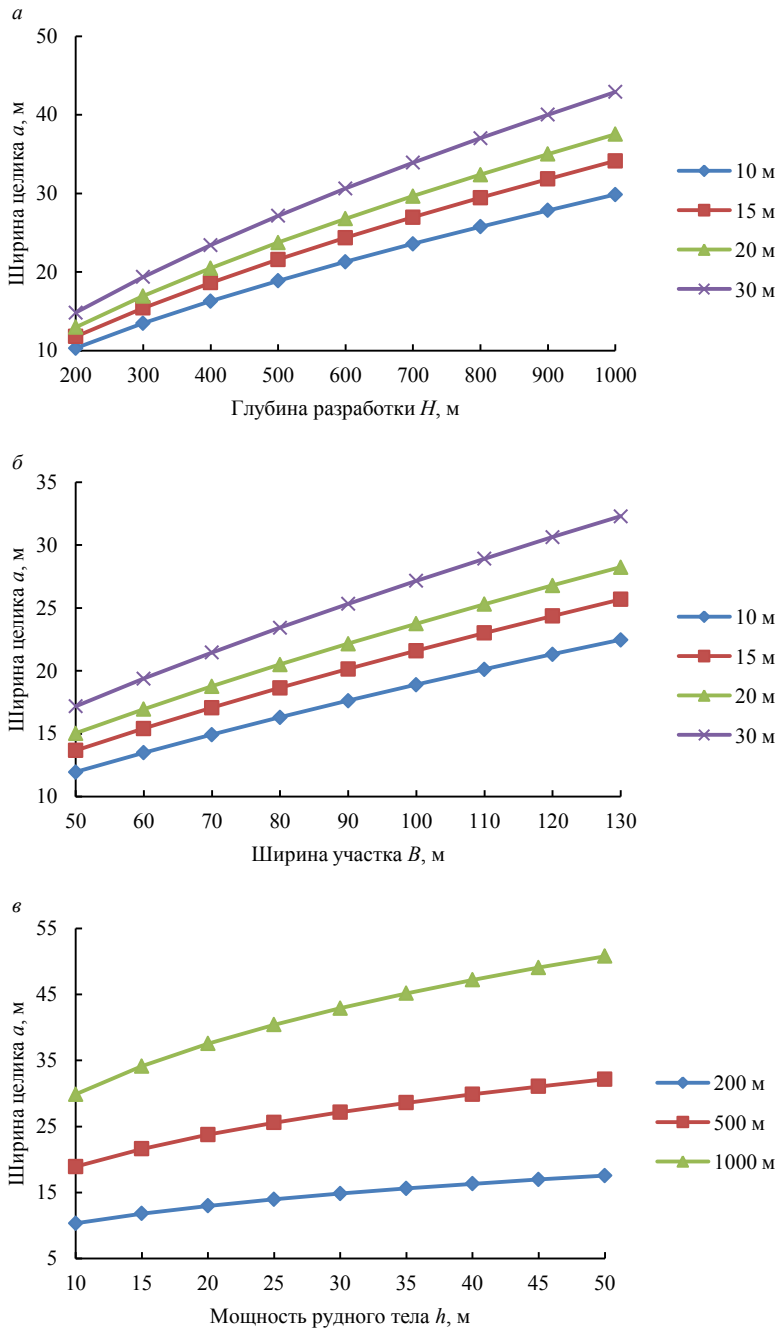

Рис. 3. Графики зависимости ширины целика:
а – от глубины разработки при разной мощности рудного тела; *б* – ширины участка, отрабатываемого системой с обрушением руды при разной мощности рудного тела на глубине 500 м; *в* – мощности рудного тела на разной глубине разработки при ширине подработки 100 м

Fig. 3. Graphs of the pillar width dependence on:
a – the depth of development at different thickness of ore body; *б* – the width of section developed by mining system with ore caving under the different thickness of ore body at a depth of 500 m; *в* – the power of ore body at different depth of mining under the underworking width of 100 m

нию вкрест простирания вектора развития фронта горных работ, построены графики зависимости ширины барьерного целика а от глубины разработки H (рис. 3, *а*), ширины участка по простиранию B (рис. 3, *б*) и мощности рудного тела (высоты целика) h (рис. 3, *в*).

Расчетная схема к определению ширины барьерного целика между участками ведения горных работ приведена на рис. 4.

Множественная аппроксимация данных графиков, представленных на рис. 3, позволяет вывести уравнение для нахождения ширины барьерного целика между техногенно нарушенными участками при ведении горных работ системами разработки разных классов:

$$a = 0{,}007h^{\,0{,}33}\,(BH)^{0{,}66} \text{ при } R^2 = 0{,}9\ ,$$

где R – величина достоверности аппроксимации.

Полученная зависимость справедлива для глубины горных работ H = 200–1000 м, мощности рудного тела h = 10–50 м и протяженности зоны обрушения B = 50–130 м.

Заключение. Исследования по обоснованию технологических схем отработки участков с большим диапазоном изменения ценности руды, проведенные путем экономико-математического и геотехнологического моделирования, показали следующее.

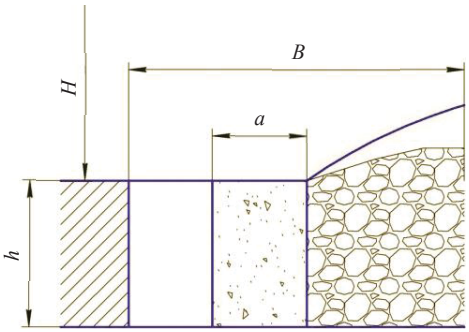

Рис. 4. Расчетная схема к определению ширины барьерного целика
Fig. 4. Design scheme for determining the width of the barrier pillar

Распределение полезных компонентов по площади медноколчеданного рудного тела неравномерно, закономерно распределение богатых участков в кровле и центральных частях залежей. Бедные участки сконцентрированы на флангах и подошве месторождений. Неравномерное распределение полезных компонентов предполагает отработку рудного тела с применением разных способов поддержания очистного пространства.

Применение системы разработки с обрушением и торцевым выпуском руды, по сравнению с системами разработки с закладкой, экономически целесообразно при содержании полезного компонента до 0,9 %. Технология площадно-торцевого выпуска руды под обрушенными породами позволяет расширить область применения класса систем разработки с обрушением до содержания 1,2 % полезного компонента в руде.

При техногенном изменении участка рудного тела отработкой с обрушением руды и вмещающих пород необходима изоляция и поддержание выработанного пространства путем формирования целика, установлена зависимость его размеров от разных факторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волков Ю. В., Камаев В. Д. Особенности подземной геотехнологии с восходящим порядком отработки месторождений // ГИАБ. 2000. № 11. С. 90–92.

2. Волков Ю. В., Соколов И. В. Подземная разработка медноколчеданных месторождений Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 232 с.

3. Закладочные работы в шахтах: справочник / под ред. Д. М. Бронникова, М. Н. Цыгалова. М.: Недра, 1989. 400 с.

4. Хайрутдинов М. М., Шаймярданов И. К. Подземная геотехнология с закладкой выработанного пространства: недостатки, возможности совершенствования // ГИАБ. 2009. № 1. С. 240–250.

5. Цыгалов М. Н., Зурков П. Э. Разработка месторождений полезных ископаемых с монолитной закладкой. М.: Недра, 1970. 176 с.

6. Хомяков В. И. Зарубежный опыт закладки на рудниках. М.: Недра, 1984. 224 с.

7. Коновалов А. П., Аршавский В. В., Хуцишвили В. И., Сорокина Л. Н., Анфиногеев С. В. Закладочные работы на подземных рудниках и перспективы их совершенствования // Горный журнал. 2001. № 7. С. 3–7.

8. Hinton M. Pastefiill operations at Echo Bay's Lupin Mine. Edmonton: CIM. 1996.

9. Tokyo S. The deep mixing method: principle, design and construction. Japan, CDIT. 2002. 152 p.

10. Golik V. I., Gabaraev O. Z., Maslennikov S. A., Khasheva Z. M., Shulgaty L. P. The provision of development conversion perspectives into underground one for Russian iron ore deposits development // The Social Sciences (Pakistan). 2016. Vol. 11. No. 18. P. 4348–4351.

11. Голик В. И., Комащенко В. И. Отходы обогащения железистых кварцитов как сырье для доизвлечения металлов и использования в качестве закладочных смесей // Горный журнал. 2017. № 3. С. 43–47. DOI: 10.17580/GZH.2017.03.08

12. Голик В. И., Лукьянов В. Г., Хашева З. М. Обоснование возможности и целесообразности использования хвостов обогащения руд для изготовления твердеющих смесей // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326. № 5. С. 6–14.

13. Мажитов А. М., Асанов Д. А. Интенсификация технологии восходящего порядка отработки крутопадающего рудного тела // Актуальные проблемы горного дела. 2016. № 2. С. 36–42.

14. Мажитов А. М., Асанов Д. А., Вьюгов А. А. К вопросу снижения себестоимости закладочных работ при камерных системах разработки // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2017. Т. 1. С. 18–20.

15. Вьюгов А. А., Мажитов А. М., Асанов Д. А. Снижение ресурсоемкости закладочных работ при освоении крутопадающего рудного тела // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: сб. докладов VI Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: УГГУ, 2017. С. 65–70.

16. Корнеев С. А., Мажитов А. М., Корнеева В. С., Клебан Б. Н. Проектные решения по доработке рудных тел № 3, 5 Камаганского месторождения подземным способом // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2013. Т. 1. № 71. С. 35–38.

17. Мажитов А. М., Мещеряков Э. Ю. Определение параметров и показателей адаптивного варианта системы разработки с площадно-торцевым выпуском для условий отработки пологих залежей // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2013. № 2(42). С. 5–8.

18. Калмыков В. Н., Мещеряков Э. Ю., Волков П. В. Обоснование параметров геотехнологического модуля «Очистные работы» при освоении запасов в приконтурных зонах карьеров // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2011. № 4(36). С. 5–8.

19. Калмыков В. Н., Мещеряков Э. Ю., Угрюмов А. Н., Хакимуллина Л. Ф. Обоснование границ участка выемки руд с обрушением налегающих пород в условиях строящегося рудника ОАО «Верхнеуральская руда» // ГИАБ. 2012. № 1. С. 55–59.

20. Мещеряков Э. Ю., Угрюмов А. Н. Геомеханическое обоснование области применения систем разработки с обрушением руд и пород при освоении месторождения «Чебачье» // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. 2009. № 3. С. 8–11.

Поступила в редакцию 6 апреля 2021 года

Сведения об авторах:

Мажитов Артур Маратович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой горных машин и транспортно-технологических комплексов Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. E-mail: a.mazhitov@magtu.ru; https://orcid.org/0000-0001-8219-4264

Пыталев Иван Алексеевич – доктор технических наук, профессор, директор института горного дела и транспорта Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. E-mail: vehicle@list.ru; https://orcid.org/0000-0002-5415-8079

Боровиков Евгений Васильевич – аспирант кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. E-mail: prmpi@magtu.ru; https://orcid.org/0000-0002-9172-8704

Першин Геннадий Дальтонович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры горных машин и транспортно-технологических комплексов Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. E-mail: pshenichnaya_e@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-3163-018X

DOI: 10.21440/0536-1028-2021-4-5-14

Substantiation of process schemes of field development taking into account technogenic conversion

Artur M. Mazhitov[1], Ivan A. Pytalev[1], Evgenii V. Borovikov[1], Gennadii D. Pershin[1]
[1] Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Abstract

Introduction. *Mining disturbs the natural state of the rock mass. Besides, the field reserves are of a different degree and nature of man-induced changes, which directly affects mining prime cost and ore marketable value.*

The scientific and practical relevance of the research *consists in ensuring increased completeness and economic efficiency of field development by applying the development systems of different classes and taking into account the man-induced changes in reserves in mining dynamics.*

Research aim *is to substantiate the technological schemes of mining, that take into account the possibility and feasibility of developing the reserves which have been affected by the man-induced changes, in particular when switching from one class of development systems to another.*

Research methods. *In this research, based on the analysis of the mining and geological conditions of copper sulfide deposits, economic and mathematical modeling of developing an ore deposit by development systems of different classes was carried out, and the man-induced changes in underground reserves in the process of mining were taken into account.*

Results. *Based on the modeling results, it was found that the increase in the economic efficiency of the deposit development is provided by justifying the type, sequence, and limits of applying different geotechnologies related to different classes of development systems within the entire deposit and a separate ore body.*

Conclusion. *The research results can be used when designing fields in terms of selecting and substantiating the applied development systems.*

Keywords: *combined development systems; selection and substantiation of development systems; economic and mathematical modeling.*

REFERENCES

1. Volkov Iu. V., Kamaev V. D. Features of underground geotechnology with the ascending order of mining. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2000; 11: 90–92. (In Russ.)

2. Volkov Iu. V., Sokolov I. V. *Underground mining of copper-sulphide deposits of the Urals*. Ekaterinburg: UB RAS Publishing; 2006. (In Russ.)

3. Bronnikov D. M., Tsygalov M. N. (eds.) *Backfilling in shafts: reference book*. Moscow: Nedra Publishing; 1989. (In Russ.)

4. Khairutdinov M. M., Shaimiardanov I. K. Underground geotechnology with stowage to mined-out areas: disadvantages and improvement feasibilities. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2009; 1: 240–250. (In Russ.)

5. Tsygalov M. N., Zurkov P. E. *Developing mineral deposits with solid backfill*. Moscow: Nedra Publishing; 1970. (In Russ.)

6. Khomiakov V. I. *Foreign practices of backfilling in mines*. Moscow: Nedra Publishing; 1984. (In Russ.)

7. Konovalov A. P., Arshavskii V. V., Khutsishvili V. I., Sorokina L. N., Anfinogeev S. V. Stowing in underground mines and prospects of their improvement. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2001; 7: 3–7. (In Russ.)

8. Hinton M. *Pastefiill operations at Echo Bay's Lupin Mine*. Edmonton: CIM; 1996.

9. Tokyo S. *The deep mixing method: principle, design and construction*. Japan: CDIT; 2002.

10. Golik V. I., Gabaraev O. Z., Maslennikov S. A., Khasheva Z. M., Shulgaty L. P. The provision of development conversion perspectives into underground one for Russian iron ore deposits development. *The Social Sciences (Pakistan)*. 2016; 11(18): 4348–4351.

11. Golik V. I., Komashchenko V. I. Tailings of ferruginous quartzite as raw material for metal afterextraction and application as backfill material. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2017; 3: 43–47. (In Russ.) DOI: 10.17580/GZH.2017.03.08

12. Golik V. I., Lukianov V. G., Khasheva Z. M. Rationale for feasibility of using ore tailings for manufacturing hardening mixtures. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2015; 326(5): 6–14. (In Russ.)

13. Mazhitov A. M., Asanov D. A. Intensifying the technology of the steeply pitching ore body mining. *Aktualnye problemy gornogo dela = Current Problems of Mining*. 2016; 2: 36–42. (In Russ.)

14. Mazhitov A. M., Asanov D. A., Viugov A. A. Regarding the issue of backfilling prime cost under room and pillar mining systems. In: *Current issues of modern science, machinery, and education: Proceedings of the 77th International Sci. Tech. Conf.* 2017; 1: p. 18–20. (In Russ.)

15. Viugov A. A., Mazhitov A. M., Asanov D. A. Reduction of resource intensity backfilling operations at the development steeply dipping ore bodies. In: *Innovative technologies in metalliferous and non-metalliferous deposits mining: Proceedings of the 6th International Sci. Tech. Conf*. Ekaterinburg: UrSMU Publishing; 2017. p. 65–70. (In Russ.)

16. Korneev S. A., Mazhitov A. M., Korneeva V. S., Kleban B. N. Design solutions on cleaning-up ore bodies no. 3 and 5 of the Kamagansky deposit by the underground method. In: *Current issues of modern science, machinery, and education: Proceedings of the 77th International Sci. Tech. Conf*. 2013; 1(71): p. 35–38. (In Russ.)

17. Mazhitov A. M., Meshcheriakov E. Iu. Definition of parameters and indicators adaptive version of the system design with area-butt release for the conditions of working off flat deposit. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova = Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2013; 2(42): 5–8. (In Russ.)

18. Kalmykov V. N., Meshcheriakov E. Iu., Volkov P. V. Substantiation parameter the geotechnological module "Clearing works" at development of stocks in border zones of open-cast mines. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova = Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2011; 4(36): 5–8. (In Russ.)

19. Kalmykov V. N., Meshcheriakov E. Iu., Ugriumov A. N., Khakimullina L. F. Rationale for the borders of ore extraction site with cover caving in the conditions of OAO Verkhneuralskaia ruda mine under construction. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2012; 1: 55–59. (In Russ.)

20. Meshcheriakov E. Iu., Ugriumov A. N. Geomechanical rationale for the scope of the development systems with ore and rock caving when developing the Chebachie deposit. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova = Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2009; 3: 8–11. (In Russ.)

Received 6 April 2021

Information about authors:

Artur M. Mazhitov – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Mining Machines and Transportation Technological Complexes, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: a.mazhitov@magtu.ru; https://orcid.org/0000-0001-8219-4264

Ivan A. Pytalev – DSc (Engineering), Professor, Director of the Institute of Mining and Transportation, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: vehicle@list.ru; https://orcid.org/0000-0002-5415-8079

Evgenii V. Borovikov – PhD student, Department of Mineral Deposits Development, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: prmpi@magtu.ru; https://orcid.org/0000-0002-9172-8704

Gennadii D. Pershin – DSc (Engineering), Professor, professor of the Department of Mining Machines and Transportation Technological Complexes, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: pshenichnaya_e@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-3163-018X

Для цитирования: Мажитов А. М., Пыталев И. А., Боровиков Е. В., Першин Г. Д. Обоснование технологических схем отработки месторождения с учетом техногенного преобразования // Известия вузов. Горный журнал. 2021. № 4. С. 5–14. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-4-5-14

For citation: Mazhitov A. M., Pytalev I. A., Borovikov E. V., Pershin G. D. Substantiation of process schemes of field development taking into account technogenic conversion. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2021; 4: 5–14 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2021-4-5-14