

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОВТОРНОГО ОСВОЕНИЯ ЗАПАСОВ ВЕРХНИХ ГОРИЗОНТОВ КОЧКАРСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Калмыков В.Н.¹, Струков К.И.², Константинов Г.П.³, Кульсаитов Р.В.¹

¹ Магнитогорский государственный технический университет им Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

² АО «Южуралзолото Групп Компаний», Пласт, Россия

³ Горно-геологический университет «Св. Иван Рилски», София, Болгария

Аннотация

Постановка задачи (актуальность работы): понижение уровня горных работ на жильных месторождениях сопровождается снижением содержания полезных компонентов, усложнением геомеханической обстановки, выражающейся в интенсивности проявлений горного давления в динамической форме и, следовательно, удорожанием добычи и транспортирования. Анализ сырьевой базы золотодобывающих горных предприятий показал, что в процессе освоения месторождений большие запасы руд оставались в недрах в виде забалансовых, так как отработка их была нецелесообразной по условиям рентабельности на данный момент. В связи с вышеизложенным рассматривались варианты вовлечения в отработку забалансовых запасов, ранее законсервированных в целиках различного назначения, оставленных в недрах участков с низким содержанием или сложными горно-геологическими условиями. **Цель работы:** разработка эффективной и безопасной технологии повторного освоения забалансовых запасов жильных золоторудных месторождений в условиях повышенного горного давления и обоснование рациональных технологических параметров. **Используемые методы:** комплексный метод исследования, включающий в себя натурные замеры напряжений в горном массиве, математическое моделирование геомеханических процессов на стадии очистной выемки, инженерно-конструкторскую проработку технических решений, статистическую обработку данных, технико-экономический анализ результатов. **Новизна:** к элементам новизны относятся выявление зависимости содержания полезного компонента в минерализованных породах от расстояния до кварцевой жилы; получение математических зависимостей мощности отработки при повторном освоении минерализованных пород от основных параметров. **Результат:** предложенные варианты отработки минерализованных пород Кочкарского месторождения позволяют существенно увеличить сырьевую базу, а переход на высокопроизводительные системы разработки повысит безопасность ведения работ за счет снижения доли ручного труда, производства работ в условиях пониженной нагруженности окружающего массива. Повторное использование имеющихся выработок позволит снизить объем подготовительно-нарезных работ на 30–45%, повысить скорость проходки в 3–5 раз. **Практическая значимость:** состоит в разработке и внедрении вариантов систем разработки при повторном освоении запасов, определении их оптимальных параметров, обеспечивающих эффективность и безопасность ведения работ.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, содержание полезного компонента, система разработки, повторная разработка, технико-экономические показатели.

Введение

В настоящее время на шахте «Центральная» АО «Южуралзолото» глубина ведения работ достигла отметки 750 м. Ухудшение геомеханической ситуации с глубиной, увеличивающиеся затраты на добычу и транспортирование рудной массы на поверхность, необходимость увеличения объемов добычи и качества рудной массы привели к необходимости изыскания мер, позволяющих решить возникшие проблемы. На осно-

ве анализа горнотехнической ситуации, состояния сырьевой базы Кочкарского месторождения принято решение о проработке вопроса ввода в эксплуатацию запасов вышележащих горизонтов, отработка которых ранее считалась неэффективной, поскольку современные цены на золото позволяют рассматривать данные запасы как благоприятные для повторной разработки.

Эффективность работ при повторном освоении запасов обеспечивается:

– созданием благоприятной геомеханической обстановки в связи с переходом на верхние горизонты;

- снижением затрат на добычу за счет использования существующих выработок;
- снижением стоимости транспортирования руды до поверхности вследствие уменьшения глубины ведения работ;
- расширением сырьевой базы и увеличением объемов добычи при вовлечении в эксплуатацию минерализованных плагиогранитов и табашек.

В связи с вышеизложенным актуальной задачей является проектирование рациональных систем повторной разработки, адаптированных к горно-геологическим и горнотехническим условиям верхних горизонтов.

Технические и технологические решения

Кочкарское золоторудное месторождение расположено в северной части одноименного рудного поля на восточном склоне Южного Урала и занимает площадь 12 км². Для Кочкарского месторождения характерны кварцевые малосульфидные жилы. Рудные тела представлены золотоносными кварцевыми жилами и жильными зонами крутого падения мощностью от нескольких сантиметров до 0,7 м. Эксплуатационные работы на Кочкарском месторождении ведутся на горизонтах 470, 650 и 700 м, а нарезные работы – на горизонте 750 м. Порядок отработки этажей нисходящий.

Понижение уровня ведения работ, снижение содержания золота с глубиной существенно отразилось на эффективности освоения месторождения. Поэтому принято решение по поиску мер, обеспечивающих снижение себестоимости добычи и повышение объемов добычи руды до 2 млн т/год к 2019 году с существующих 0,5 млн т/год. Для этого был проведен анализ горнотехнической обстановки, состояния сырьевой базы, современных тенденций совершенствования технологии добычи.

Ранее, при отработке кварцевых жил минимальное содержание золота в руде составляло 3,8 г/т. В связи с этим участки месторождения, содержание в которых было ниже минимального, не отрабатывались. В настоящий момент отработка данных участков стала экономически эффективной.

Опробование вмещающих пород – гранитов и табашек показало наличие в них золота. Мощность оруденений колеблется от 3 до 18 м.

Как видно из графика (рис. 1), содержание полезного компонента при удалении от жилы

снижается по экспоненциальной зависимости.

Мощность зон минерализованных пород, при которой среднее содержание полезного компонента в руде будет удовлетворять нормам кондиций, можно найти по следующей зависимости:

$$M = \frac{m_{\text{ж}} \cdot C_{\text{ср.ж}} + C_{\text{ср.прихв}} (m_{\text{отр.ж}} - m_{\text{ж}}) - C_{\text{ср.конд}} \cdot m_{\text{отр.ж}}}{C_{\text{ср.конд}} - C_{\text{ср.прокв}}},$$

где $m_{\text{ж}}$ – мощность золоторудной жилы, м; $C_{\text{ср.ж}}$ – среднее содержание полезного компонента по жиле, г/т; $C_{\text{ср.прихв}}$ – среднее содержание полезного компонента в прихватываемых с отрабатываемой кварцевой жилой породах, г/т; $m_{\text{отр.ж}}$ – мощность отработки жилы с учетом вовлечения вмещающих пород, м; $C_{\text{ср}}$ – минимальное кондиционное содержание полезного компонента в руде, г/т; $C_{\text{ср.прокв}}$ – среднее содержание полезного компонента в минерализованных породах, г/т.

Согласно приведенной выше методике эффективная, с точки зрения экономики, мощность отработки минерализованных пород может достигать 15–18 м. Для каждого конкретного участка данное значение корректируется в зависимости от содержания полезного компонента в руде.

Ранее на Кочкарском месторождении для откатки рудной массы использовались электровазны аккумуляторного исполнения АК-2У, вагонетки емкостью 0,3 м³. При отработке основных запасов кварцевых жил на верхних горизонтах (глубина менее 415 метров) с применением этого оборудования откаточные горные выработки имели сечения 6,5; 8,3 м² (рис. 2, а, б).

При повторном освоении запасов минерализованных пород данные выработки возможно использовать вторично при условии увеличения поперечных размеров исходя из характеристик применяемого оборудования. Так, при повторной отработке запасов системами разработки с использованием высокопроизводительного самоходного оборудования сечения выработок ($S=12,0 \text{ м}^2$), объем проходки на погонный метр выработок при их повторном использовании составит 5,5 и 3,7 м³ (рис. 3). Расширение поперечного сечения горных выработок возможно осуществлять следующими способами:

- отбойка пород одной стенки выработки и свода (рис. 3, а);
- отбойка пород двух стенок выработки и свода (рис. 3, б).

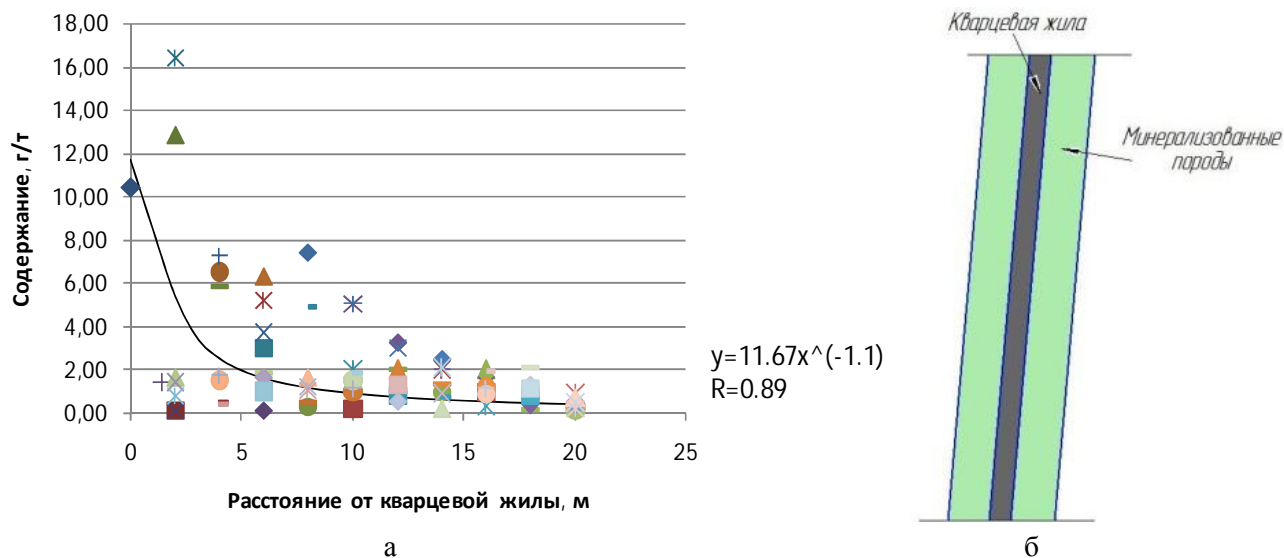


Рис. 1. Распределение полезного компонента: а – график зависимости содержания полезного компонента от расстояния до кварцевой жилы; б – схема размещения зон минерализации относительно рудной жилы

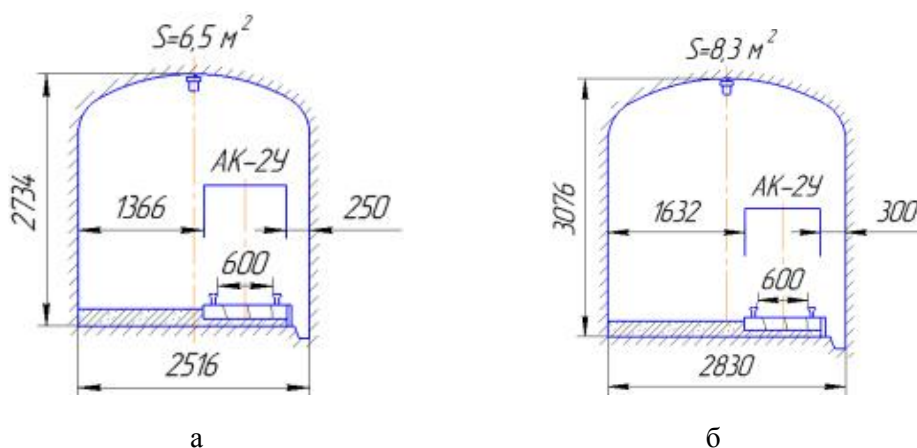


Рис. 2. Применяемое оборудование и поперечные сечения выработок верхних горизонтов: а – площадь $S = 6,5 \text{ м}^2$; б – площадь $S = 8,3 \text{ м}^2$

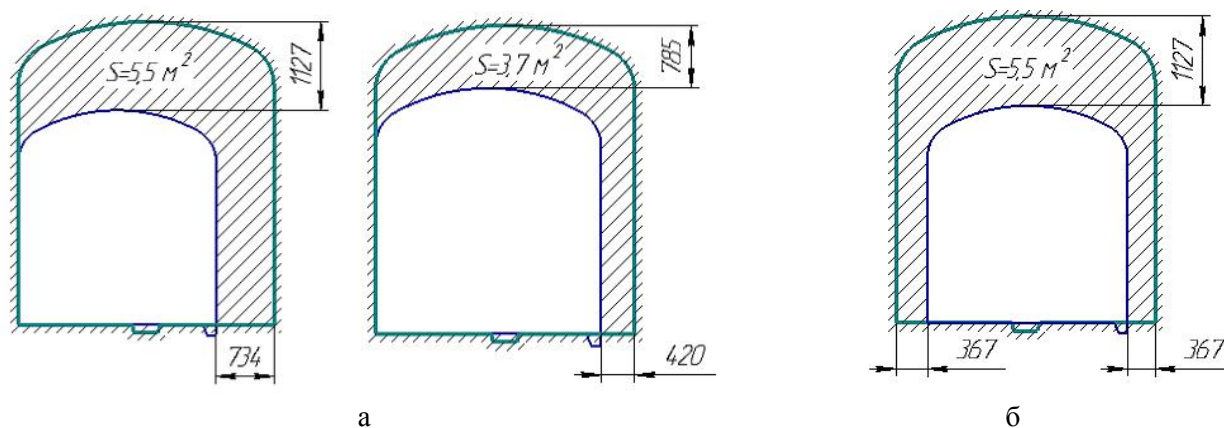


Рис. 3. Поперечное сечение выработок с учетом расширения сечения: а – одной стенки и свода; б – двух стенок и свода

Повторный ввод в эксплуатацию выработок позволит снизить объемы проходки на 20–35%, а также повысить скорость проходки выработок по сравнению с проведением новых в 3–5 раз.

Выработанное пространство блоков, в основном, находится в устойчивом состоянии, однако может быть как открытым, так и заполненным обрушенными породами или отбитой рудой (рис. 4).



а



б



в

Рис. 4. Состояние выработок верхних горизонтов: а – штрек откаточный, гор. 147 м; б – днище блока; в – сопряжение горных выработок на горизонте 296 м

В настоящее время Кочкарское месторождение, отнесенное к опасным по горным ударам с глубины 190 м [1], отрабатывается системами разработки подэтажных штреков [2]. Доля применения данной системы разработки составляет 100%.

В результате продолжительной эксплуатации Кочкарского месторождения системами с открытым очистным пространством образовалось большое количество пустот, разделенных рудными и безрудными целиками. Ухудшение горногеологической ситуации с глубиной, а также переход на камеры большого пролета при отработке прокварцованных вмещающих пород, вовлечение в отработку запасов верхних горизонтов потребовало проведения оценки напряженно-деформированного состояния массива.

Оценка напряженного состояния (НДС) нетронутого массива Кочкарского месторождения, проведенная с использованием известного метода щелевой разгрузки [3–7], показала, что горизонтальные напряжения не равны между собой ($\delta_x \neq \delta_y$) и на глубоких горизонтах (более 600 м) превышают вертикальные в 2–2,6 раза, а на верхних (300 м) в 1,1–1,6 раза (табл. 1). Максимальные сжимающие напряжения δ_x преимущественно направлены субмеридионально, вкрест простирания геологических структур. С увеличением глубины горных работ напряжения в нетронutom массиве увеличиваются (рис. 5).

Таблица 1
Величина напряжений на момент отработки запасов камерной системой разработки рудной жилы (горизонт 300 м)

Место замера	Средние напряжения, МПа	
	Лежащий бок	Висячий бок
В угловых частях кровли потолочины	–14,8	–12,2
В угловых частях кровли камеры	–69,8	–63,9
В камере	–	
В угловых частях почвы камеры	–54,4	–60,0
В лежащем боку камеры	–0,044	–
В висячем боку камеры	–	–0,028

Для оценки степени нагруженности элементов систем разработки в процессе эксплуатации месторождения применялся метод конечных элементов с использованием данных о напряженно-деформированном состоянии массива [8], полученных путем натурных замеров (рис. 6).

Проведенные исследования НДС массива Кочкарского месторождения показали, что значения напряжений на верхних горизонтах (147, 296 м) в 8–12 раз ниже значений на глубоких горизонтах (600 м). Напряжения в несущих элементах горной конструкции на верхних горизонтах достигают значений 69,8 МПа, что составляет 40 % от прочностных характеристик пород (164 МПа), в то время как на глубоких горизонтах они достигают

значений 246,5 МПа и превышают прочностные характеристики пород в 1,5 раза. Таким образом, предпочтительными для освоения, с точки зрения геомеханики, являются запасы верхних горизонтов месторождения.

В связи с вышеизложенным актуальной задачей является разработка технологии добычи прокварцованных пород с использованием ранее пройденных горных выработок, а также конструирование систем разработки, адаптированных к условиям намеченных к выемке запасов.

С целью выбора эффективного варианта повторного освоения запасов месторождения разработаны базовые технологические схемы отработки [9–11] (рис. 7).

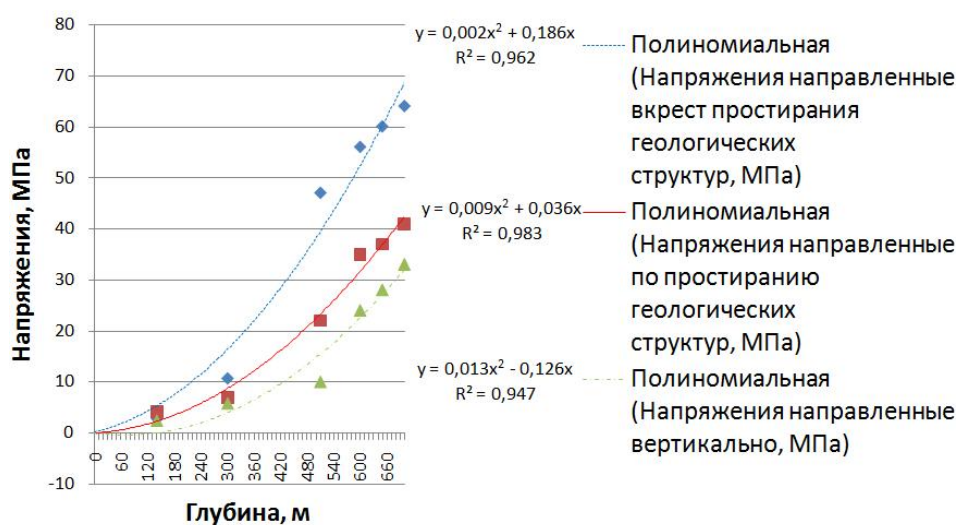
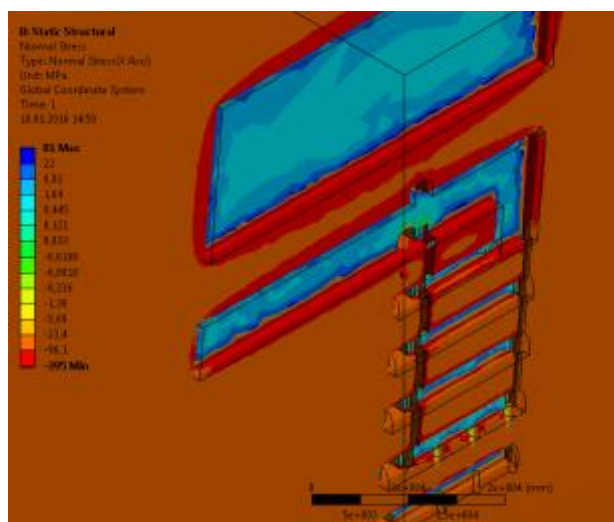
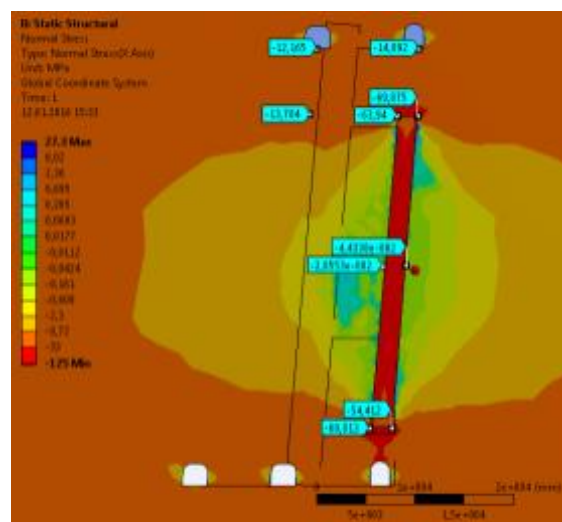


Рис. 5. График изменения напряжений с глубиной



а



б

Рис. 6. Распределение максимальных напряжений при освоении запасов на верхних горизонтах (200/300 м): а – модели объемного вида (момент отработки запасов камер); б – разрез вкрест простирания кварцевых жил (полная отработка запасов)

Базовые технологические схемы повторного освоения запасов месторождения предусматривают различные варианты конструкций систем отработки, позволяющие использовать ранее сформированное очистное пространство в качестве отрезной щели и существующие выработки при условии

увеличения их сечения и приведения в безопасное состояние. Параметры систем разработки для всех вариантов рассчитывались по общепризнанным методикам [12–14]. Техничко-экономические показатели по предложенным технологическим схемам отработки представлены в табл. 2.

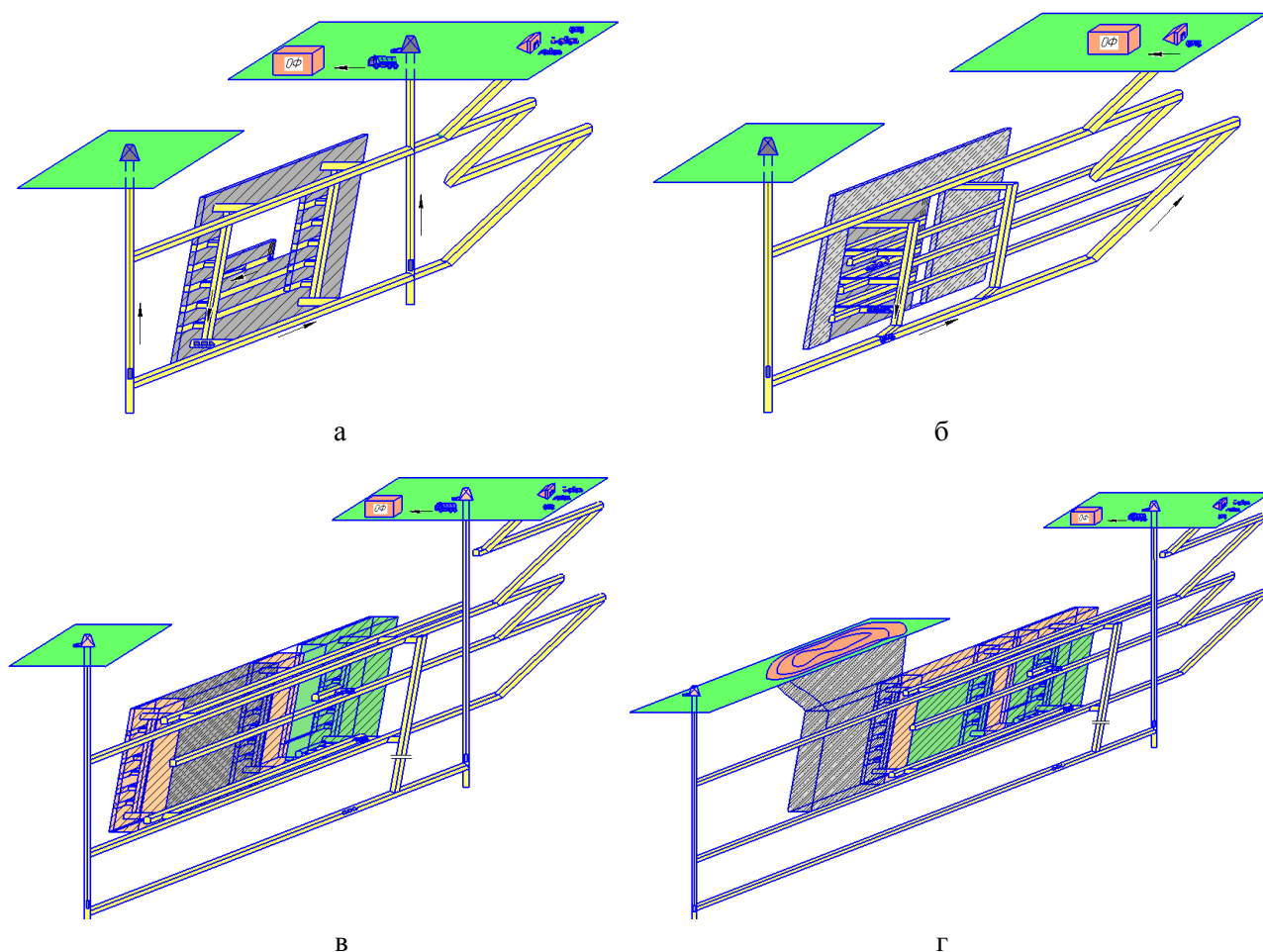


Рис. 7. Технологические схемы отработки запасов: а – не имеющих минерализации пород, применяемыми системами разработки «подэтажные штреки» с мелкошпуровой отбойкой и применением переносного оборудования; б – не имеющих минерализации пород, системами разработки «подэтажные штреки» со скважинной отбойкой и применением самоходного оборудования; в – кварцевых жил и минерализованных пород камерными системами со скважинной отбойкой и последующей закладкой выработанного пространства; г – кварцевых жил и минерализованных пород камерными системами подэтажного обрушения с массовой отбойкой целиков

Таблица 2

Техничко-экономические показатели повторного освоения запасов верхних горизонтов
Кочкарского месторождения

Технологические схемы	Тип применяемого оборудования	Удельный объем ПНР, м ³ /1000 т	Себестоимость добычи, руб./т
Камерная система разработки подэтажных штреков	Переносное	109,1	2750,0
Камерная система разработки с последующей закладкой	Самоходное	28,0	1023,8
Камерная система разработки с массовым обрушением целиков		27,4	794,6
Камерная система разработки с последующей закладкой (нетронутый массив)		60,5	1393,6

Расчетом извлекаемой ценности руды выявлены минимальные значения содержания полезного компонента в руде, позволяющие эффективно вести работы для предложенных вариантов технологических схем: подэтажных штреков с переносным оборудованием – 1,7 г/т; подэтажных штреков с последующей закладкой и применением самоходного оборудования – 2,1 г/т; камерная с последующей закладкой – 2,9 г/т; с обрушением руды и вмещающих пород – 2,5 г/т.

Заключение

Предложенные варианты отработки минерализованных пород Кочкарского месторождения имеют экономический эффект, позволяют существенно увеличить сырьевую базу, а переход на высокопроизводительные системы разработки повысит безопасность ведения работ за счет снижения доли ручного труда, производства работ в условиях пониженной нагруженности окружающего массива. Повторное использование имеющихся выработок позволит снизить объем подготовительно-нарезных работ на 30–45%, повысить скорость проходки в 3–5 раз.

Список литературы

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Положение по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам». Зарегистрировано в Минюсте России 04.04.2014 N 31822.
2. Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. Специальный выпуск журнала. М.: Геоинформмарк, 2007.
3. Рекомендации по оценке удароопасности участков Кочкарского месторождения методом геомеханических аналогий. Фрунзе, 1990.
4. Влох Н.П., Зубков А.В., Феклистов Ю.Г. Совершенствование метода щелевой разгрузки // Диагностика напряженного состояния породных массивов: сб. науч. тр. / ИГД СО АН СССР. Новосибирск, 1980. С. 30–35.
5. Абрамов Н.Н., Сайков С.А., Ардашкин В.А. Методические аспекты диагностики состояния массива вокруг подземных выработок комплексом геофизических методов // Контроль состояния скального массива при долговременной эксплуатации крупногабаритных подземных сооружений. Апатиты, 1993. С. 30–41.
6. Anderson O.L., Grew P.S. Stress-Corrosion Theory of Crack Propagation with Application to Geophysics. Rev. Geophys. Space Phys. Vol. 15, pp. 77–104, 1977.
7. Напряженное состояние земной коры по данным измерений в горных выработках и тектонофизического анализа / Гзовский М.В., Турчанинов И.А., Марков Г.А. и др. // Напряженное состояние земной коры. М.: Наука, 1973.
8. Зотеев О.В. Методические указания по использованию программного комплекса FEMP. Екатеринбург: УГГН, 2001.
9. Борщ-Компаниец В.И. и др. Способ повторной разработки залежей: а.с. 1454970.
10. Gavrishchev, S.E., Burmistrov, K.V., Kornilov, S.N., Tomilina, N.G. Evaluation of transportation flow charts with open-pit hoisting systems in open pit/underground mining // Gornyi Zhurnal. 2016, no. 5, pp. 41–47.
11. Pikalov, V.A., Sokolovsky, A.V., Vasilets, V.N., Burmistrov, K.V. Substantiation of efficient parameters for hybrid open pit/underground mining of coal // Gornyi Zhurnal. 2016, no. 1, pp. 67–72.
12. Баранов А.О. Проектирование технологических схем и процессов подземной добычи руд: справоч. пособие. М.: Недра, 1993. 283 с.
13. Ветров С.В. Допустимые размеры обнажений горных пород при подземной разработке руд. М.: Наука, 1975. 232 с.
14. Мещеряков Э.Ю., Валеев А.С., Аллабердин А.Б. Обоснование параметров комбинированного закладочного массива при восходящем порядке отработки месторождений // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №4. С. 10–13.

Материал поступил в редакцию 08.07.16.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-3-13-20

DEVELOPING A REWORKING PROCESS FOR THE UPPER LEVELS OF THE KOCHKARSKOYE GOLD MINE

Vyacheslav N. Kalmykov – D.Sc. (Eng.), Professor

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Konstantin I. Strukov – President

Yuzhuralzoloto Group of Companies JSC, Plast, Russia.

Georgi P. Konstantinov – D.Sc. (Eng.), Professor

University of Mining and Geology St. Ivan Rilski, Sofia, Bulgaria.

Ravil V. Kulsaitov – Postgraduate Student

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: kulsaitov.ravil@gmail.com. ORCID: orcid.org/0000-0003-4373-2765

Abstract

Problem Statement (Relevance): Mining deeper into a vein deposit means less yield (of commercial minerals) and

more complicated geomechanics, or the dynamic manifestation of rock pressure, which leads to higher mining and transportation costs. The analysis of gold miners' resources

shows that large ore reserves would be left unmined as off-balance ores for the lack of cost effectiveness at the time of development. In view of the above the authors considered a number of options for mining the off-balance ores that were sealed in pillars or left unmined for low mineral levels or complicated geological conditions. **Objectives:** The study aims to develop a safe and efficient reworking process for off-balance gold vein deposits in a high rock pressure environment and to justify the efficient process parameters. **Methods Applied:** The study involved a variety of research methods including full-scale rock stress measurements, geomechanical modelling of stoping processes, engineering studies, statistical analysis, as well as a feasibility study. **Originality:** Some of the original findings of this study include the identified relationship between the concentration of commercial minerals in the mineralized rock and the distance to the quartz vein; the mathematical relationships between the mining capacity of re-development mineralized rock and the key parameters. **Findings:** The proposed mining options for the mineralized rock of the Kochkarskoye deposit can significantly expand the resource base, and the adoption of high-performance mining systems will enhance the safety of operations due to a reduced share of manual labor involved and through reduced stresses of the surrounding rock. Re-use of existing mines will reduce the preparatory development scope by 30-45% and provide a 3 to 5-fold increase in the rate of development. **Practical Relevance:** The study resulted in the development and implementation of a number of options for mineral re-development and in the identification of optimal parameters ensuring both efficiency and safety.

Keywords: Stress-strain state, concentration of commercial minerals, development system, re-development, performance indicators.

References

1. Federal rules and regulations in the area of industrial safety: Regulations on safety when mining deposits characterized with rock bump hazards. Registered by the Ministry of Justice of Russia 04.04.2014 N 31822. (In Russ.)
2. Mineral resources of Russia. Economics and Management. Special edition. Moscow: Geoinformark, 2007. (In Russ.)
3. Recommendations on assessment of rock bump hazards of certain areas of the Kochkarskoye deposit using the analogy method. Frunze, 1990. (In Russ.)
4. Vlokh N.P., Zubkov A.V., Feklistov Yu.G. Improved slicing method. *Diagnostika napryazhennogo sostoyaniya porodnykh massivov: sbornik nauchnykh trudov* [Detecting stresses in rock massifs: Research papers]. Novosibirsk, 1980, pp. 30-35. (In Russ.)
5. Abramov N.N., Saykov S.A., Ardashkin V.A. Methodological aspects of analyzing the state of rock around the underground workings using a set of geophysical methods. *Kontrol' sostoyaniya skal'nogo massiva pri dolgovremennoy ekspluatatsii krupnogabaritnykh podzemnykh sooruzhenii* [Monitoring the status of the rock mass during a long-term operation of large underground structures]. Apatity, 1993, pp. 30-41. (In Russ.)
6. Anderson O.L., Grew P.S. Stress-Corrosion on the Theory of Crack Propagation with Application to Geophysics. *Rev. Geophys. Space Phys.* Vol.15, pp. 77-104, 1977.
7. Gzovsky M.V., Turchaninov I.A., Markov G.A. et al. The stress state of the Earth crust defined based on the underground survey and tectonophysical analysis data. *Napryazhennoye sostoyanie zemnoy kory* [The stress state of the Earth crust]. Moscow: Nauka, 1973. (In Russ.)
8. Zoteev O.V. Guidelines on the use of the FEMP software. Ekaterinburg: URSMU, 2001. (In Russ.)
9. Borshch-Komponietz V.I. et al. *Sposob povtornoy razrabotki zalezhey* [A method of reworking]: Cert. of Authorship 1454970. (In Russ.)
10. Gavrishchev S.E., Burmistrov K.V., Kornilov S.N., Tomilina N.G. Evaluation of transportation flow charts with open-pit hoisting systems in open pit/underground mining. *Gornyi Zhurnal* [Mining Journal]. 2016, no. 5, pp. 41-47.
11. Pikalov V.A., Sokolovsky A.V., Vasilets V.N., Burmistrov K.V. Substantiation of efficient parameters for hybrid open pit/underground mining of coal. *Gornyi Zhurnal* [Mining Journal]. 2016, no. 1, pp. 67-72.
12. Baranov A.O. Designing process flows and processes for underground ore mining: A Reference Guide. Moscow: Nedra, 1993, 283 p. (In Russ.)
13. Vetrov S.V. Allowable outcropping in underground ore mining. Moscow: Nauka, 1975, 232 p. (In Russ.)
14. Meshcheryakov E.Yu., Valeev A.S., Allaberdin A.B. Substantiation of the combined filling mass parameters in upward mining. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2014, no. 4, pp. 10-13. (In Russ.)

Received 08/07/16

Разработка технологии повторного освоения запасов верхних горизонтов Кочкарского золоторудного месторождения / Калмыков В.Н., Струков К.И., Константинов Г.П., Кульсайтов Р.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т.14. №3. С. 13–20. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-3-13-20

Kalmykov V.N., Strukov K.I., Konstantinov G.P., Kulsaitov R.V. Developing a reworking process for the upper levels of the kochkarskoye gold mine. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2016, vol. 14, no. 3, pp. 13–20. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-3-13-20