

«GORNYI ZHURNAL», 2019, № 6, pp. 19–24
DOI: 10.17580/gzh.2019.06.01

Mineral reserves and mineral resources of the Murmansk Region: Current conditions and prospects

Information about authors

S. V. Lukichev¹, Director, Doctor of Engineering Sciences

D. V. Zhirov², Head of Department for Innovations

O. E. Churkin¹, Academic Secretary, Candidate of Engineering Sciences, churkin@goi.kolasc.net.ru

¹Mining Institute, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

²Geological Institute, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

Abstract

In view of the structure and degree of development, mineral resources and mineral reserves play significant role in the economy of the Murmansk Region and largely determine the prospects for its development. The region's mining industry has a good resource base, operates stably and ensures production and processing of the most important minerals (apatite, nepheline, non-ferrous and rare metals, iron, mica, baddeleyite). In the region there are six large city-forming mining companies.

The Kola region possesses one of the richest mineable reserves in Russia. In addition to apatite, iron, non-ferrous and rare metal deposits, there are proven platinum-metal, kyanite, barite, titanium-magnetite-ilmenite and chromium deposits, as well as gold and molybdenum objects, quartz for smelting and a number of others. Rich oil and gas fields have been discovered on the shelf. This allows building a long-term strategy of socio-economic development in the Murmansk Region.

The extensive mineral mining for 50–80 years and more has resulted in a number of common problems in mines. These are deterioration of geotechnical conditions in deeper level mining, reduction of ore quality, increase of capital and operating costs, depletion of reserves in the highly profitable near-surface part of the most deposits, curtailment of exploration work, reduction of exploration, drop in reproduction of reserves and other problems.

Taking into account the existing challenges, the priority tasks for the further development of the mining industry are increment of reserves at the deposits being mined, increase in efficiency of extraction and integrated processing of minerals through introduction of innovative technologies and new equipment, development of promising deposits, and mining and processing waste management.

One of the ways to advance the mineral sector is to involve unconventional sources of minerals using conventional capabilities alongside with new innovative technologies and equipment as well as new ways of project investments.

Keywords: mineral reserves and mineral resources, mining, deposit, integrated mining and processing works, ore, mineral.

References

1. Pozhilenko V. I., Gavrilenko B. V., Zhirov D. V., Zhabin S. V. Geology of mineral areas of the Murmansk Region. Apatity : Izdatelstvo KNTs RAN, 2002. 359 p.

- About the state and use of mineral resources of Russian Federation in 2016 and 2017 : state report. Moscow : LLC «Mineral-Info», 2018. 372 p.
- Kostyuchenko S. L. The Strategy of Russian Arctic Mineral Resources Development. *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*. 2017. No. 1. pp. 3–12.
- Malyutin E. I., Bezrukov V. I., Voronovich N. N., Feinberg A. A. State and main directions of development of mineral-raw base solid minerals on the north-west federal district. *Razvedka i okhrana nedr*. 2016. No. 9. pp. 5–9.
- Melnikov N. N. Role of the Arctic Region in the innovation-driven economic development of Russia. *Gornyi Zhurnal*. 2015. No. 7. pp. 23–27. DOI: 10.17580/gzh.2015.07.04
- Melnikov N. N., Busyrev V. M. Resource-balanced use of mineral resources: theory and methods. Apatity : Izdatelstvo KNTs RAN, 2007. 110 p.
- Kozlov N. E., Zhirov D. V. Mineral reserves of the Murmansk Region: Present conditions and prospects. *Analiticheskii vestnik Soveta Federatsii Federalnogo Sobraniya RF*. 2018. No. 20(709). pp. 75–82.
- Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420210942> (accessed: 19.04.2019).
- Population of the Russian Federation per municipal formations as of January 1, 2018. Federal State Statistics Service. Available at: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/afcf8ea004d56a39ab251f2baf3a6fce (accessed: 14.03.2019)
- Social and economic situation in the Murmansk Region in January – September 2018 : Report. Federal State Statistics Service. Murmansk, 2018. Available at: http://murmanskstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/murmanskstat/resources/77d91180488630718bf5dbf7eaa5adf2/01031_2018_09.pdf (accessed: 14.03.2019)
- Borzenko E. V. Innovative development of the Kola Mining and Metallurgical Company. *Tsvetnyye Metally*. 2018. No. 10. pp. 29–34.
- Dushin A. V., Yurak V. V. Authors' approach to the Total Economic Value: Essentials, structure, evolution. *Eurasian Mining*. 2018. No. 1. pp. 11–15. DOI: 10.17580/em.2018.01.03
- Kimelman S. A., Nezhensky I. A., Mikhailov B. K., Petrov O. V., Makovsky P. A. et al. Mineral wealth of Russia. Appraisal of mineral reserves and the cost analysis : Explanatory note to economic-geological maps. Saint-Petersburg : VSEGEI, 2007. 550 p.
- Arndt N. T., Fontboté L., Hedenquist J. W., Kesler S. E., Thompson J. F. H., Wood D. G. Future Global Mineral Resources. *Geochemical Perspectives*. 2017. Vol. 6, No. 1. 171 p.
- Arndt N., Kesler S., Ganino C. Metals and Society: an Introduction to Economic Geology. 2nd ed. Cham : Springer, 2015. 160 p.
- Calas G. Mineral Resources and Sustainable Development. *Elements*. 2017. Vol. 13, No. 5. pp. 301–306.
- Saleem H. A., Giurco D., Arndt N., Nickless E., Brown G. et al. Mineral supply for sustainable development requires resource governance. *Nature*. 2017. Vol. 543, No. 7645. pp. 367–372.
- Hubbert M. K. Nuclear energy and the fossil fuels. *Drilling and Production Practice*. Washington : American Petroleum Institute, 1956. pp. 7–25.
- Bierlein F. P., Groves D. I., Goldfarb R. J., Dubé B. Lithospheric controls on the formation of provinces hosting giant orogenic gold deposits. *Mineralium Deposita*. 2006. Vol. 40. pp. 874–886.

УДК 622.272.6:622.34(470.21)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФОСФАТНОЙ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ПАО «АКРОН»

Е. В. ГРОМОВ¹, старший научный сотрудник, канд. техн. наук, evgromov@list.ru

О. В. БЕЛОГОРОДЦЕВ¹, научный сотрудник

А. В. ЗЕМЦОВСКИЙ¹, зав. лабораторией, канд. техн. наук

Е. Е. ЩЕТИНИН², первый заместитель генерального директора – технический директор

¹Горный институт Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия

²АО «Северо-Западная Фосфорная Компания», Кировск, Россия

Введение

ПАО «Акрон» входит в число крупнейших мировых производителей сложных минеральных НРК-удобрений [1, 2]. Приоритетным направлением компании является разработка собственных фосфатных месторождений с целью обеспечения своих перерабатывающих мощностей сырьем для производства удобрений. Для реализации проекта по созданию новой фосфатной сырьевой

Представлено современное состояние минерально-сырьевой базы ПАО «Акрон» в Мурманской области. Приведены результаты работ, выполненных ГоИ КНЦ при научном руководстве академика Н. Н. Мельникова, и направленных на безопасное и эффективное освоение месторождений Олений Ручей и Партомчорр в удароопасных условиях. Рассмотрены вопросы обоснования параметров подземной геотехнологии и оценки напряженно-деформированного состояния массива пород месторождения Олений Ручей при отработке запасов гор. +180/0 м в разрезах 12/15. Предложены возможные варианты развития горных работ, увеличивающие производственную мощность рудника.

Ключевые слова: вскрытие и подготовка, напряженно-деформированное состояние, компьютерное моделирование, система разработки, технико-экономическая и геомеханическая оценка.

DOI: 10.17580/gzh.2019.06.02

базы в Мурманской области в 2005 г. группа «Акрон» учредила АО «Северо-Западную Фосфорную Компанию» (АО «СЗФК»), сырьевая база которой представлена месторождениями апатит-нефелиновых руд Олений Ручей и Партомчорр.

Месторождение Партомчорр является резервным, и в настоящее время его не разрабатывают по причине низкого содержания апатита в руде (~7,5 %) и близости создаваемого Национального парка «Хибины» [3]. На сегодняшний день за счет реализации методических подходов, базирующихся на применении 3D-моделирования горно-геологических объектов, выполнено обоснование экологосберегающей геотехнологии освоения месторождения (включая подсчет запасов руды и полезных компонентов при различных значениях бортового их содержания, разработку схем межплощадочного транспорта руды и компоновочных решений по размещению объектов промплощадки, обоснование параметров стадии вскрытия и системы разработки, технологию подземной предконцентрации и обогащения бедных руд, а также расчет минимальной безубыточной цены на концентрат), позволяющей вернуться к вопросу освоения месторождения в будущем времени [4].

Работы по освоению месторождения Олений Ручей активно развиваются, начиная с 2006 г. [5]. Месторождение расположено в крайней юго-восточной части Хибинского массива в 22 км от г. Кировска Мурманской области. С северо-востока Олений Ручей примыкает к Ньюоркпакскому месторождению, разрабатываемому Восточным рудником Кировского филиала АО «Апатит». Абсолютные отметки рельефа находятся в пределах +300... +700 м.

Месторождение представлено высокопрочными горными породами (предел прочности на одноосное сжатие для рудных тел – 60–120 МПа, для вмещающих пород – 80–320 МПа), склонными к хрупкому разрушению. Для массива пород характерно действие высоких тектонических напряжений. Эти особенности свидетельствуют о возможности проявления горного давления в динамической форме. В соответствии с Федеральными нормами и правилами [6], месторождение является склонным к горным ударам, а ниже глубины 400 м – опасным по горным ударам.

Рудные тела расположены в двух ярусах: верхнем (мощностью 200 м), обрабатываемым в настоящее время карьером, и нижнем (мощностью 50–330 м), предназначенным для подземной отработки. Ярусы разделены безрудной толщей мощностью 200–300 м, что позволило начать строительство подземного рудника в период ведения открытых горных работ (ОГР). Запасы для ОГР незначительны (около 4,5 % общих запасов) и обеспечивают поддержание производственной мощности предприятия до полного развития подземных горных работ (ПГР). В связи с этим дальнейшие перспективы предприятия связаны с ускоренным строительством и развитием производственной мощности подземного рудника, выбором и обоснованием безопасных параметров отработки месторождения в удароопасных условиях.

Разработка способов вскрытия месторождения Олений Ручей и технологии отработки запасов в разрезах 12/15 гор. +180/0 м

При глубине залегания от земной поверхности ~450 м и более месторождение Олений Ручей простирается под горный массив, что

предопределило первоначальное решение по его вскрытию с равнины в предгорье с отм. +240 м штольнями и стволами на глубину 460 м и выдачу руды скиповым и конвейерным транспортом. Однако ввиду быстрой отработки запасов ОГР потребовалось сокращение сроков строительства пускового комплекса подземного рудника. С этой целью, а также для снижения первоочередных инвестиций в строительство и проведения промышленных испытаний технологии подземной разработки, был выделен участок запасов, расположенный выше отметки +0 м. Для отработки запасов опытно-промышленного участка (ОПУ) с первоначальной производственной мощностью ~1 млн т/год потребовалась разработка новой схемы вскрытия, обеспечивающей поэтапное вовлечение в разработку запасов с разнесением во времени капитальных затрат и возможностью интеграции в основную транспортную систему рудника при развитии производительности до проектных показателей (~6 млн т/год). С учетом соблюдения необходимых условий была исследована эффективность различных вариантов вскрытия с применением современного поточного транспорта (рис. 1).

Исследования выполнены с использованием средств компьютерного моделирования, разработанных в ГоИ КНЦ: горно-геологической информационной системы MINEFRAME [7] и программы расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород Sigma GT [8].

Первоначально для реализации методического подхода к обоснованию параметров подземной геотехнологии были построены каркасные модели топоповерхности и рудных тел, на основе которых определены запасы и характер распределения полезных компонентов. После этого создавались модели возможных вариантов вскрытия месторождения. Одним из критериев эффективности вскрытия являлась возможность максимального использования ранее пройденной конвейерной штольни (см. рис. 1, показано синим цветом). Разработанные способы вскрытия в зависимости от пространственного расположения транспортных коммуникаций предусматривали 6 вариантов с различными комбинациями последовательно установленных конвейеров: горизонтальных и наклонных (см. рис. 1, 1, 4, 6), горизонтальных, наклонных, а также крутонаклонных (2, 3), горизонтальных и радиального наклонного (5).

Для сравнительной оценки способов вскрытия выполнены расчеты капитальных затрат (на строительство и приобретение оборудования), а также эксплуатационных расходов за 10 лет работы дробильно-конвейерных комплексов (см. таблицу) [9].

Сравнение затрат на строительство и эксплуатацию показало, что наименьшие затраты на дробление и транспортирование руды характерны для вариантов 1, 3, 5. Ввиду того, что вариант 1 не позволяет использовать существующую штольню, а вариант 3 предполагает применение малоизученных в России крутонаклонных конвейеров на ходовых опорах, то окончательно был выбран вариант 5 с транспортированием горизонтальными и наклонным радиальным конвейерами.

Для проведения геомеханического обоснования параметров подземной разработки месторождения Олений Ручей была создана объемная численная модель, которая учитывала основные геологические и горнотехнические факторы, влияющие на

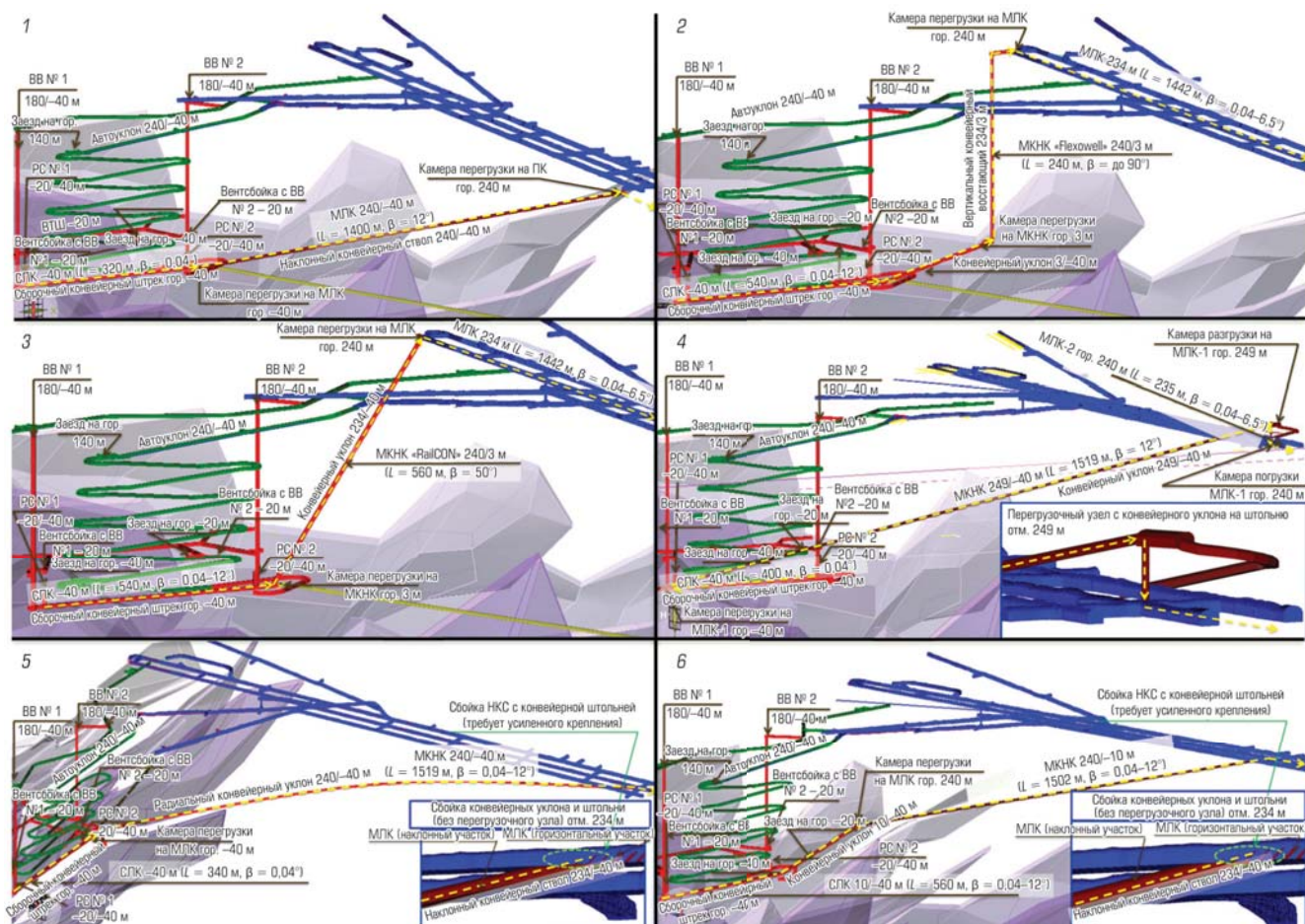


Рис. 1. Варианты вскрытия запасов ОПУ месторождения Олений Ручей с применением различных комбинаций конвейерного транспорта

условия отработки запасов месторождения. Для оценки необходимых параметров обнажений при переходе от систем разработки с открытым выработанным пространством к системам с обрушением подработанных пород (рис. 2) были выполнены многовариантные расчеты НДС массива пород [10].

В результате численного моделирования обоснованы параметры систем разработки и предложена следующая последовательность отработки месторождения на первом этапе:

- первый разрезной блок отработывают в центре участка шахтного поля, независимого от открытых горных работ;
- верхнюю, маломощную часть рудных залежей (мощностью до 35 м) отработывают системой разработки с открытым выработанным пространством (ОВП) с оставлением междукамерных целиков; аналогично могут отработывать нижележащие участки залежей мощностью до 35 м, находящиеся под породной потолочиной, для предотвращения ее внезапного обрушения;
- рекомендованные (допустимые по уровню напряжений) размеры камер и междукамерных целиков составляют 60 и 20 м соответственно, а междуэтажных – 15–20 м;
- нижележащие мощные участки рудных залежей отработывают системой с принудительным обрушением руды и вмещающих пород с отбойкой специальных породных секций для погашения пустот.

Основные результаты работы вошли в состав проектной документации на разработку месторождения, в том числе опытно-промышленную отработку вырезного блока [11].

Отработка запасов вырезного блока сопровождалась эксплуатационной разведкой, показавшей значительные расхождения в геометрии залегания рудных тел, их невыдержанность и отсутствие сплошных рудных зон по сравнению с первоначальными представлениями. В связи с более сложным геологическим строением на верхних горизонтах месторождения Олений Ручей фактически оказалось невозможно применить систему с ОВП с постоянными размерами камер и регулярно оставляемыми целиками. В то же время отсутствовали и условия для перехода на системы с обрушением (невозможность добиться полного обрушения массива пород над очистным пространством). С целью обеспечения безопасного извлечения запасов в переходный период ГоИ КНЦ совместно со специалистами АО «СЗФК» разработан вариант системы подэтажного обрушения руды с частичным принудительным обрушением налегающих вмещающих пород скважинами с увеличенной линией наименьшего сопротивления и выпуском руды через траншейное днище (рис. 3). Предложенную систему разработки в настоящее время испытывают при отработке запасов в разрезах 12/15 гор. +180/0 м.

Оценка вариантов развития горных работ на месторождении Олений Ручей

Помимо сложного геологического строения, одним из основополагающих факторов, сдерживающих развитие производственной мощности рудника, стала близость Ньоркпахкского карьера и запасов участка Суолуайв, до окончания отработки которого (за пределами 2050 г.) значительная часть месторождения Олений Ручей (65 % балансовых запасов до отм. –100 м) законсервирована в охранном целике и отнесена ко 2-й очереди отработки (рис. 4).

В то же время уже к 2023–2025 гг. горные работы со стороны месторождения Олений Ручей приблизятся к участку Суолуайв, что позволит осуществить их вскрытие без значительных капитальных вложений. Наряду с этим границы временного охранного целика от конечного контура Ньоркпахкского карьера первоначально были определены по упрощенному подходу [12, 13], не учитывающему дополнительного горизонтального сжатия, характерного для тектонически напряженных массивов Хибин [14, 15]. Это обуславливало необходимость более детального изучения влияния горных работ на устойчивость налегающего массива и возможность продвижения фронта очистной выемки в сторону Ньоркпахкского карьера.

С целью создания безопасных условий для интенсификации работ на верхних горизонтах месторождения Олений Ручей предложены два варианта развития подземных горных работ: I – отработка запасов участка Суолуайв горными работами со стороны месторождения Олений Ручей; II – опережающая частичная отработка запасов 2-й очереди в отм. +180/–100 м.

По I варианту разработана единая схема вскрытия месторождения Олений Ручей и участка Суолуайв подземными транспортными выработками рудника «Олений Ручей» (рис. 5). Достоинством единой схемы стало то, что не требовалось принципиальных изменений в принятой схеме транспортирования, а также установки дополнительных конвейерных комплексов или перегрузочных узлов, а предполагалось лишь удлинение сборочного штрекового конвейера (см. рис. 5, показано розовым цветом).

Технико-экономическая и геомеханическая оценка целесообразности вскрытия и отработки участка Суолуайв подземным способом с использованием предложенной схемы показала ряд преимуществ перед предполагаемым ранее вариантом последовательной открыто-подземной разработки и вскрытием со стороны Ньоркпахкского карьера, а именно:

- возможность выемки запасов без обрушения карьерного пространства до завершения работ в Ньоркпахкском карьере и отсутствие необходимости поддержания карьерных коммуникаций после завершения ОГР [15];
- уменьшение затрат на транспортирование вскрыши с карьера «Ньоркпахк» в поверхностные отвалы за счет ее утилизации в подземных очистных пространствах;

Технико-экономические показатели по схемам вскрытия

Показатели	Варианты схем вскрытия					
	1	2	3	4	5	6
Годовая добыча руды за расчетный период, млн т:	1–6	1–6	1–6	1–6	1–6	1–6
в среднем	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
всего	36	36	36	36	36	36
Срок строительства, лет	2,2	2,3	2,3	2,2	2,2	2,2
Капитальные вложения, млн руб.:						
горно-капитальные работы	1845,1	1814,3	1690	1888,9	1813	1837,9
оборудование	1490,6	1270,1	1240,6	1523	1462,3	1463
Годовые эксплуатационные затраты, млн руб.:						
всего	232,9	237,4	222,7	242,1	233,2	237,2
в том числе амортизация	176,9	175,6	163,2	181,2	177,1	178,6
Средняя себестоимость 1 т руды, руб.	64,7	65,9	61,9	67,2	64,8	65,9
в том числе амортизация основных фондов	49,2	48,8	45,3	50,3	49,2	49,6
Эксплуатационные расходы за расчетный период, млн руб.	2329,3	2373,9	2226,8	2420,6	2331,9	2371,6

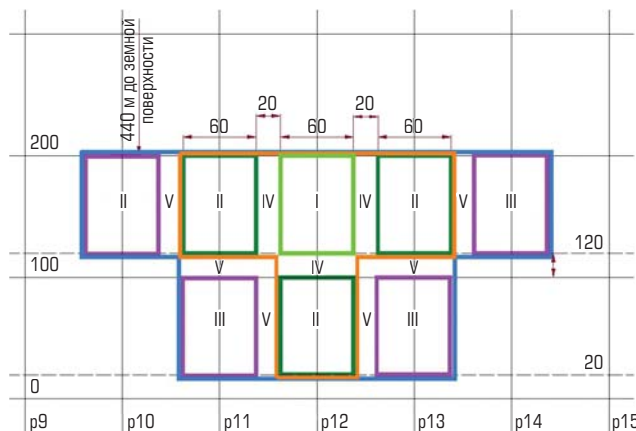


Рис. 2. Порядок отработки камер для перехода к системам разработки с обрушением

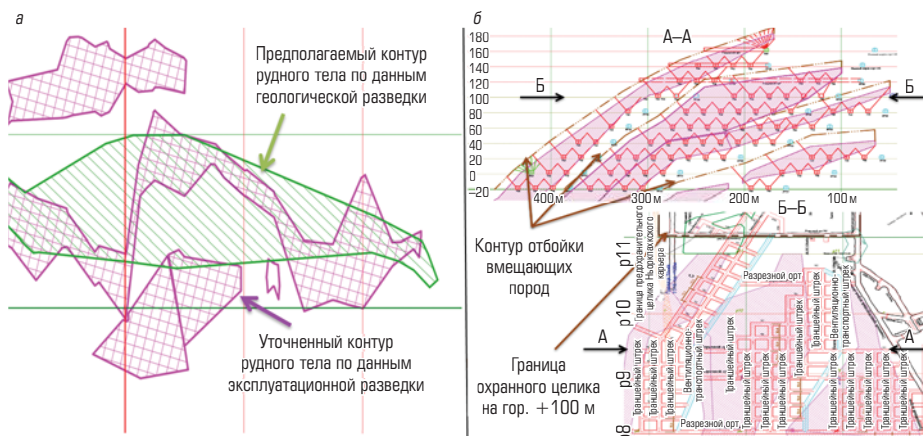


Рис. 3. Корректировка системы разработки (а) с учетом изменения геометрии рудных зон (б)

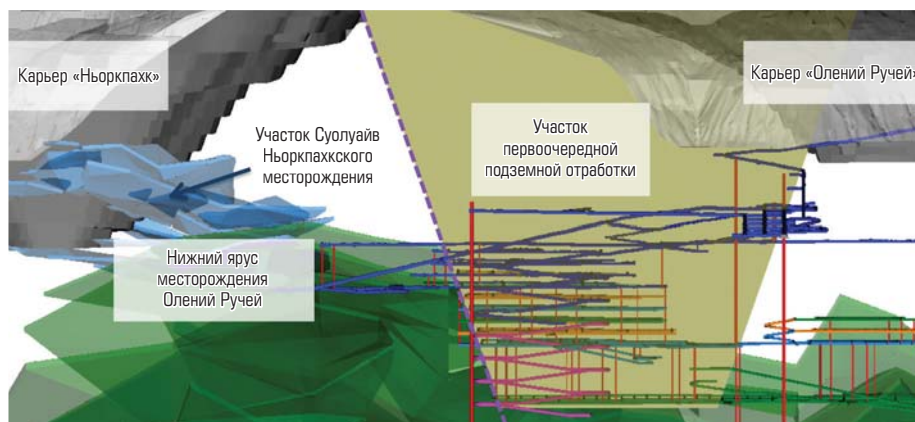


Рис. 4. 3D-модели объектов комбинированной разработки в ГГИС MINEFRAME

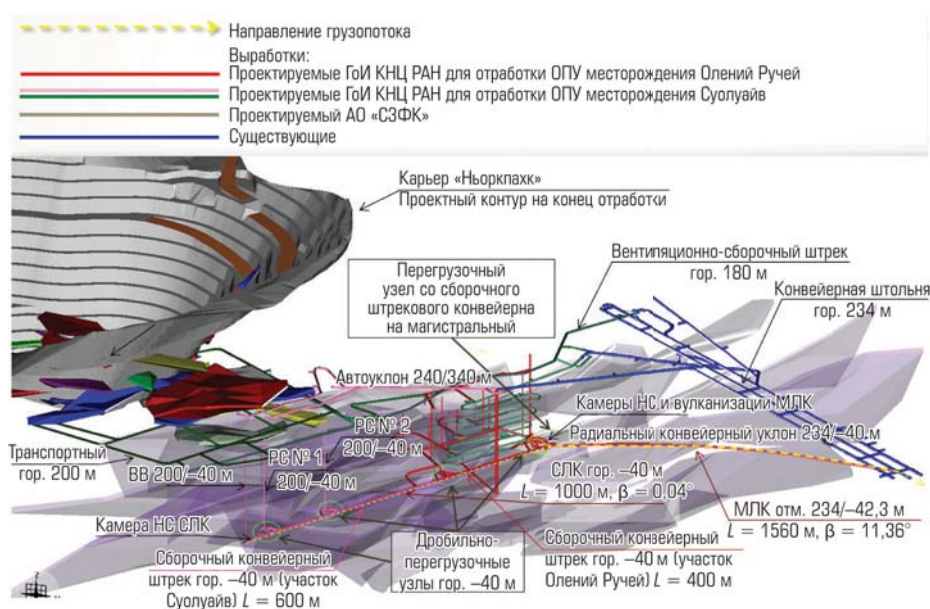


Рис. 5. Схема вскрытия ОПУ месторождения Олений Ручей и участка Суоулайв

- сокращение продолжительности вскрытия и подготовки запасов на 40 %;
- возможность отработки запасов на 20 лет раньше намеченных сроков.

В рамках рассмотрения II варианта развития горных работ проведено численное моделирование НДС массива пород и определены зоны взаимного влияния Ньоркпахкского карьера и формируемых подземных очистных пространств месторождения Олений Ручей [16]. Выполнен прогноз НДС подработанной толщи пород по мере выемки подземных запасов, была разработана серия разномасштабных геомеханических моделей и проведены расчеты методом конечных элементов в объемной постановке. Проимитирована выемка подземных запасов месторождения Олений Ручей в отм. +180/–100 м с продвижением работ в сторону Ньоркпахкского карьера при применении предложенной ранее системы разработки с обрушением руды и частичным принудительным обрушением вмещающих пород.

Для этого в ГГИС MINEFRAME были построены цифровые каркасные модели всех возможных вариантов развития горных работ и блочные модели рудных зон вовлекаемых в отработку. По моделям выполнен подсчет запасов руды и полезных компонентов, а также анализ их распределения по разрезам, магистралям и высотным отметкам.

Анализ многовариантных расчетов НДС и развития зон критических растягивающих деформаций в кровле создаваемых обнажений и у земной поверхности показал, что подрабатываемый массив охранного целика остается устойчивым при выемке запасов месторождения Олений Ручей в отм. +180...–100 м до разреза В с формированием опережения вышележащих подэтажей к нижележащим под углом 45° (рис. 6).

В результате выполненных исследований и предпроектных работ специалистами АО «СЗФК» утвержден вариант развития горных работ с опережающей выемкой запасов II очереди отработки, что позволяет увеличить рудные площади верхних горизонтов, предусмотренных для первоочередной отработки на 76,9 % и увеличить запасы 1-го этажа на 190,7 %. Это позволит избежать спада объемов добычи при окончании ОГР, развить производственную мощность по руде до проектных показателей на один год раньше, чем это предусмотрено действующей документацией.

Заключение

В результате проведенных исследований, базирующихся на цифровом представлении горно-геологических и геомеханических параметров открыто-подземной геотехнологии, при отработке апатит-нефелиновых месторождений Партомчорр и Олений Ручей, представляющих минерально-сырьевую базу ПАО «Акрон», были получены следующие основные результаты:

1. Для резервного месторождения Партомчорр обоснованы основные параметры экологосбалансированной геотехнологии добычи и обогащения руд, определена минимальная безубыточная цена на концентрат, позволяющая вернуться к вопросу освоения месторождения в будущем времени.
2. Для месторождения Олений Ручей обоснована геотехнология отработки запасов в разрезах 12/15 гор. +180/0 м;

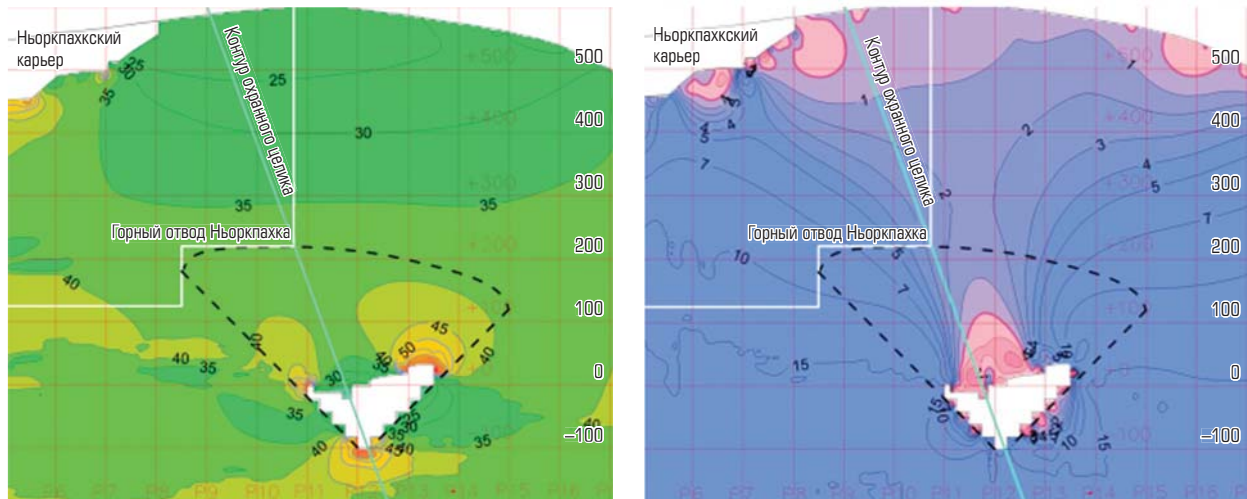


Рис. 6. Распределение σ_{\max} (а) и σ_{\min} (б) по магистрале +400 м

выполнена технико-экономическая оценка и определены параметры вскрытия, обеспечивающие быстрое поэтапное вовлечение в отработку запасов при снижении первоочередных инвестиций; обоснованы параметры подземной разработки и перехода от систем разработки с ОВП к системам с обрушением; определены безопасные размеры конструктивных элементов систем разработки и порядок выемки запасов; предложена корректировка параметров системы разработки при опытно-промышленной отработке невыдержанных, отдельно залегающих рудных зон для заполнения очистных пространств обрушенными породами; предложены возможные варианты развития горных работ, позволяющие увеличить объемы добычи на верхних подэтажах и быстрое развитие производственной мощности подземного рудника.

Представленные результаты показывают, что комплексное научное сопровождение и стратегическое планирование полного цикла освоения недр на базе цифровых технологий позволяет внедрять на производстве наиболее эффективные и безопасные технологии, оперативно корректировать и уточнять параметры отработки запасов, обеспечивая наиболее рациональную и рентабельную разработку георесурсов.

Авторы выражают благодарность за помощь в выполнении исследований и обсуждении результатов работы сотрудникам ГоИ КНЦ: директору института д-ру техн. наук С. В. Лукичеву, зав. отдела геомеханики, проф., д-ру техн. наук А. А. Козыреву, зав. сектором прогноза удароопасности рудных месторождений, канд. техн. наук И. Э. Семенову, младшему научному сотруднику Е. Е. Хомкину.

Библиографический список

- Федоров С. Г. Создание рудно-сырьевой базы – важный шаг на пути вертикальной интеграции группы «Акрон» // Разведка и охрана недр. 2013. № 4. С. 45–50.
- Steiner G., Geissler B., Watson I., Mew M. C. Efficiency developments in phosphate rock mining over the last three decades // Resources, Conservation and Recycling. 2015. Vol. 105. P. 235–245.
- О создании национального парка «Хибины»: Постановление Правительства РФ от 08.02.2018 № 130. URL: <http://static.government.ru/media/files/2AJq4qPEMt12KXA15Ltz4Ld1VM05wYq.pdf> (дата обращения: 15.04.2019).
- Лукичев С. В., Громов Е. В., Шibaева Д. Н., Терещенко С. В. Оценка эффективности экологически сбалансированной геотехнологии разработки месторождения стратегического сырья Партомчорр в Арктической зоне России // Горный журнал. 2017. № 12. С. 57–62. DOI: 10.17580/gzh.2017.12.11
- Мельников Н. Н., Федоров С. Г. Инновационный проект освоения месторождения Олений Ручей в Хибинах // Горный журнал. 2010. № 9. С. 36–39.
- Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Положение по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склоновых и опасных по горным ударам»: Приказ Ростехнадзора от 02.12.2013 № 576. URL: <http://docs.cntd.ru/document/499086982> (дата обращения: 12.04.2019).
- Nagovitsyn O., Lukichev S. A conceptual approach to 4D modeling of mining technology objects // Application of computers and operations research in the mineral industry: Proceedings of the 38th International Symposium. – Colorado, 2017. P. 25–29.
- Козырев А. А., Панин В. И., Семенова И. Э. Опыт применения экспертных систем оценки напряженно-деформированного состояния массива горных пород для выбора безопасных способов отработки рудных месторождений // Записки Горного института. 2012. Т. 198. С. 16–23.
- Лукичев С. В., Белгородцев О. В., Громов Е. В. Обоснование способов вскрытия рудных месторождений с применением различных комбинаций конвейерного транспорта // ФТПРПИ. 2015. № 3. С. 72–81.
- Козырев А. А., Семенова И. Э., Земцовский А. В. Геомеханическое обоснование параметров обнажений для перехода от этажно-камерной системы разработки к системе с обрушением налегающих пород на месторождении «Олений ручей» // Нелинейные геомеханико-геодинамические процессы при отработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах: матер. 2-й Российско-Китайской науч. конф. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. С. 434–439.
- Проект «Олений Ручей» / АО «Северо-Западная Фосфорная Компания». URL: <https://www.szfk.ru/project/steps/> (дата обращения: 15.04.2019).
- РД 07-113–96. Инструкция о порядке утверждения мер охраны зданий, сооружений и природных объектов от вредного влияния горных разработок (с изм. от 27.06.2002 № 39): утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 28.03.1996 № 14. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200000845> (дата обращения: 15.04.2019).
- Временные правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок месторождений руд цветных металлов с неизученным процессом сдвижения горных пород. – Л., 1986. – 30 с.
- Ребецкий Ю. Л., Сим Л. А., Козырев А. А. О возможном механизме генерации избыточного горизонтального сжатия рудных узлов Кольского полуострова (Хибины, Ловозеро, Ковдор) // Геология рудных месторождений. 2017. Т. 59. № 4. С. 263–280.
- Hassan Z. Harraz. Underground Mining Methods: Room and Pillar method. 2014. URL: https://www.researchgate.net/publication/301833936_Underground_Mining_Methods_Room_and_Pillar_method (дата обращения: 15.04.2019).
- Le Roux P. J., Stacey T. R. Value creation in a mine operating with open stoping mining methods // The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2017. Vol. 117. Iss. 2. P. 133–142. **ЭЖ**

«GORNYI ZHURNAL», 2019, № 6, pp. 24–30
DOI: 10.17580/gzh.2019.06.02

Increasing phosphate resources of Akron group: State-of-the-art and prospects

Information about authors

E. V. Gromov¹, Senior Researcher, Candidate of Engineering Sciences, evgromov@list.ru

O. V. Belogorodtsev¹, Researcher

A. V. Zemtsovskiy¹, Head of Laboratory, Candidate of Engineering Sciences

E. E. Shchetinin², Senior Executive Vice-Director—Technical Officer

¹ Mining Institute, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

² North-Western Phosphorous Company, Kirovsk, Russia

Abstract

The article describes the current state of mineral resources available for the Akron group of companies in the Murmansk Region. The authors discuss the results of the studies performed by the Mining Institute, KSC RAS under the supervision of Academician N. N. Melnikov, and aimed at ensuring safe and efficient development of the Oleniy Ruchey and Partomchorr apatite–nepheline deposits of the Khibiny group. The main parameters of an ecologically balanced mining and processing technology were substantiated for the reserves of the Partomchorr deposit located near the planned National Park, and the minimum break-even price for the concentrate was determined, which allows returning to the future development of the deposit.

The geotechnology was substantiated for mining in 12/15 sections of level + 180/0 m in the Oleniy Ruchey deposit. The computer simulation in mining and geological information system MINEFRAME has allowed performing a feasibility study and substantiating the deposit opening-up parameters with using crushing and conveyor systems, which provide rapid step-by-step extraction of mineral reserves and reduction in priority investment in construction.

The Oleniy Ruchey deposit is noted to be classified as rockburst-hazardous from a depth of 400 m downward, which causes high risks of dynamic rock pressure during underground mining. For the geomechanical assessment of the deposit mining conditions, the numerical volumetric model was designed and the stress–strain state of the rock mass was calculated using the finite element method implemented in the Sigma GT software. The safe parameters of the transition from open stoping to mining with caving, safe dimensions of the mine structure elements, and the mining sequence are substantiated. The correction of the mining method parameters during development of irregular separately lying ore zones has been proposed, which provides for backfilling using caved rocks. The possible options for the mining development are considered, ensuring a rapid increase in production capacity both of the upper levels and the whole mine.

The authors express their gratitude to fellows of the Mining Institute, Kola Science Center RAS: S. V. Lukichev, Doctor of Engineering Sciences, Director of the Institute, A. A. Kozyrev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Rock Mechanics Department, I. E. Semenova, Candidate of Engineering Sciences, Head of Rockburst Hazard prediction Sector and E. E. Khomkin, Junior Researcher for the help in the study implementation and fruitful discussions.

Keywords: mineral accessing and preparation, stress-strain state, computer simulation, mining method, feasibility study and geomechanical assessment.

References

- Fedorov S. G. Crude-ore resources creation — an important step on a way of vertical integration of «Akron» Group. *Razvedka i okhrana neдр*. 2013. No. 4. pp. 45–50.
- Steiner G., Geissler B., Watson I., Mew M. C. Efficiency developments in phosphate rock mining over the last three decades. *Resources, Conservation and Recycling*. 2015. Vol. 105. pp. 235–245.
- Available at: <http://static.government.ru/media/files/2AJq4qIPeMt12KXA1SLt4Ld1VM05wYq.pdf> (accessed: 15.04.2019).
- Lukichev S. V., Gromov E. V., Shibaeva D. N., Tereshchenko S. V. Evaluating efficiency of ecologically balanced mining technology for strategic Partomchorr deposit in the Arctic zone of Russia. *Gornyi Zhurnal*. 2017. No. 12. pp. 57–62. DOI: 10.17580/gzh.2017.12.11
- Melnikov N. N., Fedorov S. G. Innovation project of the deposit exploration in Oleniy Ruchey in Khibiny. *Gornyi Zhurnal*. 2010. No. 9. pp. 36–39.
- Available at: <http://docs.cntd.ru/document/499086982> (accessed: 12.04.2019).
- Nagovitsyn O., Lukichev S. A conceptual approach to 4D modeling of mining technology objects. *Application of computers and operations research in the mineral industry: Proceedings of the 38th International Symposium*. Colorado, 2017. pp. 25–29.
- Kozyrev A. A., Panin V. I., Semenova I. E. Experience in expert systems application for estimation of stress-strain state of rock mass for selection of safe methods of ore deposits mining. *Zapiski Gornogo instituta*. 2012. Vol. 198. pp. 16–23.
- Lukichev S. V., Belogorodtsev O. V., Gromov E. V. Justification of methods to open up ore bodies with various combinations of conveyor transport. *Journal of Mining Science*. 2015. Vol. 51, Iss 3. pp. 513–521.
- Kozyrev A. A., Semenova I. E., Zemtsovskiy A. V. Geomechanical substantiation of uncovering parameters for the transition to mining with caving in the oleny ruchey mine. *Nonlinear Geomechanics and Geodynamics in Deep Level Mining: II Russia–Sino Forum Proceedings*. Novosibirsk: SO RAN, 2012. pp. 434–439.
- Oleniy Ruchey project. North-Western Phosphorous Company. Available at: <https://www.szfk.ru/project/steps/> (accessed: 15.04.2019).
- Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200000845> (accessed: 15.04.2019).
- Temporal regulations for protection of structures and natural objects from detrimental impact of underground nonferrous metal ore mining in case of unexplored rock movement process. Leningrad, 1986. 30 p.
- Rebetsky Yu. L., Sim L. A., Kozyrev A. A. Possible mechanism of horizontal overpressure generation of the Khibiny, Lovozero, and Kovdor ore clusters on the Kola Peninsula. *Geology of Ore Deposits*. 2017. Vol. 59, No. 4. pp. 263–280.
- Hassan Z. Harraz. Underground Mining Methods: Room and Pillar method. 2014. Available at: https://www.researchgate.net/publication/301833936_Underground_Mining_Methods_Room_and_Pillar_method (accessed: 15.04.2019).
- Le Roux P. J., Stacey T. R. Value creation in a mine operating with open stoping mining methods. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2017. Vol. 117, Iss. 2. pp. 133–142.

УДК 622.271

ПЕРСПЕКТИВНАЯ КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА АО «КОВДОРСКИЙ ГОК»

А. А. ДАНИЛКИН¹, технический директор

А. А. КОЗЫРЕВ², заведующий отделом геомеханики, проф., д-р техн. наук

С. Н. БОЧАРОВ¹, директор по техническому развитию

В. В. РЫБИН², заведующий сектором геомониторинга и устойчивости бортов карьеров, д-р техн. наук, rybin@goi.kolasc.net.ru

¹ АО «Ковдорский ГОК», Ковдор, Россия

² Горный институт Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия

Введение

АО «Ковдорский ГОК» — ведущее горнодобывающее предприятие в составе Управляющей компании АО «МХК «Еврохим». Главным сырьевым ресурсом предприятия является основное месторождение магнетитовых и апатитовых руд, отрабатываемое карьером «Железный».

Представлена идея формирования глубокой карьерной выемки при сохранении плановой производительности карьера. Описана методология геомеханического обоснования параметров бортов и уступов и опыт ее применения на предприятии.

Ключевые слова: открытая геотехнология, карьер, устойчивость бортов карьеров, инновационные технологии в горном деле.

DOI: 10.17580/gzh.2019.06.03

В последнее время многие горнодобывающие предприятия, ведущие добычу полезных ископаемых открытым способом, сталкиваются с необходимостью расширения и углубления существующих карьерных выемок, а впоследствии и с разработкой технологии перехода к комбинированному способу выемки [1–9].