

«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. Gromov**<sup>1</sup>, Senior Researcher, Candidate of Engineering Sciences, evgromov@list.ru

**O. V. Belogorodtsev**<sup>1</sup>, Researcher

**A. V. Zemtsovskiy**<sup>1</sup>, Head of Laboratory, Candidate of Engineering Sciences

**E. E. Shchetinin**<sup>2</sup>, Senior Executive Vice-Director—Technical Officer

<sup>1</sup> Mining Institute, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

<sup>2</sup> 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 nedr.* 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](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. ДАНИЛКИН**<sup>1</sup>, технический директор

**А. А. КОЗЫРЕВ**<sup>2</sup>, заведующий отделом геомеханики, проф., д-р техн. наук

**С. Н. БОЧАРОВ**<sup>1</sup>, директор по техническому развитию

**В. В. РЫБИН**<sup>2</sup>, заведующий сектором геомониторинга и устойчивости бортов карьеров, д-р техн. наук, [rybin@goi.kolasc.net.ru](mailto:rybin@goi.kolasc.net.ru)

<sup>1</sup> АО «Ковдорский ГОК», Ковдор, Россия

<sup>2</sup> 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].

В настоящее время существует проект формирования карьера «Железный» до глубины 850 м с частичной разноской его борта.

#### **Методология геомеханического обоснования параметров бортов и уступов глубокого карьера**

Перспективная концепция развития Ковдорского ГОКа основана на продлении сроков открытых горных работ за счет углубления карьера и увеличения площади открытых горных работ. В соответствии с IV очередью расширения карьера «Железный» в 2007 г. открытые горные работы должны были достичь периода затухания, предприятие должно было осуществлять постепенный переход на добычу руды подземным способом. Чтобы продолжить добывать руду открытым способом, в начале 1990-х годов был изучен мировой и отечественный опыт ведения открытых горных работ на глубоких рудных карьерах (карьеры «Айтик», Швеция; «Палабора», ЮАР; российского предприятия «АЛРОСА» и др.). Наиболее перспективным был признан вариант продления сроков открытой разработки месторождения путем реконструкции карьера на основе увеличения углов наклона скальных откосов в конечном положении за счет повышения устойчивости борта при действии в массиве пород избыточных субгоризонтальных напряжений. Данная концепция была рассмотрена на нескольких научно-технических конференциях и совещаниях с участием специалистов комбината, института «Гипроруда», Горного института КНЦ РАН, ВИОГЕМ, надзорных органов и других организаций.

Суть предложенной и реализованной в рамках разработанной концепции методологии геомеханического обоснования устойчивых параметров бортов и уступов карьеров состоит в последовательной разработке на основе получаемых новых знаний о массиве пород последовательного ряда частных моделей.

На первом этапе формируют инженерно-геологическую модель месторождения, которая, в свою очередь, может состоять из ряда частных моделей: структурных нарушений различного порядка, включая трещиноватость; распределения физико-механических свойств руд и вмещающих пород; естественного напряженного состояния. В результате построения инженерно-геологической модели разрабатывают инженерно-геологическую классификацию пород и выполняют инженерно-геологическое районирование породного массива.

Вторым этапом является разработка геомеханической модели карьера, которая также состоит из частных моделей: напряженного состояния уступов и борта карьера; расчета параметров нарушенной зоны; оценки устойчивости параметров предельных обнажений. Для построения геомеханических моделей определяют параметры полей статических напряжений в породном массиве в окрестности карьерной выемки и параметры нарушенной зоны.

На третьем этапе следует обоснование расчетных моделей определяемых элементов. Исходной информацией для построения расчетных моделей являются физико-механические свойства выделенных литологических разностей, а также физико-механические и геометрические параметры структурных неоднородностей.

Параметры полей напряжений могут быть получены путем непосредственных измерений абсолютных значений напряжений

натурными методами (метод разгрузки, гидроразрыва, ультразвукового каротажа скважин, дискования керна и т. д.). Параметры нарушенной зоны определяют прямыми наблюдениями (в том числе, с использованием фото- или телевизионной съемки) и геофизическими методами (ультразвуковой каротаж скважин, сейсмическая томография, реометрия, глубинные реперы и др.).

Как показали результаты проведенных геомеханических исследований, одной из важнейших особенностей прибортового породного массива карьера «Железный» является действие субгоризонтальных напряжений, в несколько раз превышающих напряжения от бокового отпора гравитационной (вертикальной) компоненты напряженно-деформированного состояния (НДС). К настоящему времени исследования НДС массива были проведены на более чем 30 исследовательских станциях методом разгрузки в варианте торцовых измерений на различной глубине от поверхности.

Влияние действующих в прибортовом массиве высоких субгоризонтальных напряжений на устойчивость борта карьера носит неоднозначный характер, зависящий от их абсолютных значений. С одной стороны, создается дополнительная нагрузка, нормальная граням структурных блоков, перпендикулярных контуру карьера, что увеличивает силу трения по контактам блоков пород, и, как следствие, устойчивость борта карьера в целом повышается. С другой стороны, учитывая прогнозируемый уровень действующих напряжений в массиве на уровне дна карьера, сравнимый с прочностью вмещающих пород на одноосное сжатие, становится вероятным разрушение скальных пород в динамической форме под дном карьера. Действие повышенных горизонтальных напряжений в породном массиве, включающем в себя карьерную выемку, предполагает их учет при оценке устойчивости участков борта карьера.

На ранних стадиях освоения месторождений применяют метод рейтинговых оценок качества геологической среды MRMR (Mining Rock Mass Rating), дающий обобщенную оценку устойчивости массива пород в откосах.

Реализация предложенной методологии геомеханического обоснования устойчивых параметров бортов и уступов карьеров на практике состоит в последовательном выполнении следующих действий: выбор места расположения опытно-промышленного участка (ОПУ), представительного для данного предприятия на основе анализа имеющихся данных о геомеханическом состоянии породного массива; разработка проекта ОПУ, предусматривающего проведение в его пределах цикла опытно-промышленных и экспериментальных работ; анализ геомеханического состояния массива пород, включающего карьерную выемку, на базе опыта, полученного при проведении опытно-промышленных и экспериментальных работ в пределах ОПУ; разработка регламента на проектирование конечного контура карьера после завершения основных опытно-промышленных и экспериментальных работ; составление проекта конечного контура карьера, учитывающего особенности массива пород.

Данная методология геомеханического обоснования устойчивых параметров бортов и уступов карьеров в достаточной степени соответствует особенностям скальных высокопрочных

массивов и может быть применена в соответствующих условиях на различных предприятиях, ведущих горные работы открытым способом.

**Проект реконструкции карьера «Железный»**

В 1998 г. разработаны два проекта опытно-промышленных участков на северо-восточном и западном бортах карьера «Железный». Данные проекты были согласованы с органами Ростехнадзора и проведены масштабные исследования и опытно-промышленные работы в карьере.

Горным институтом КНЦ РАН была предложена новая схема доработки запасов полезного ископаемого открытым способом с формированием уступов с вертикальными углами откосов на устойчивых участках, что позволяет значительно увеличить технологически достижимые углы наклона борта карьера.

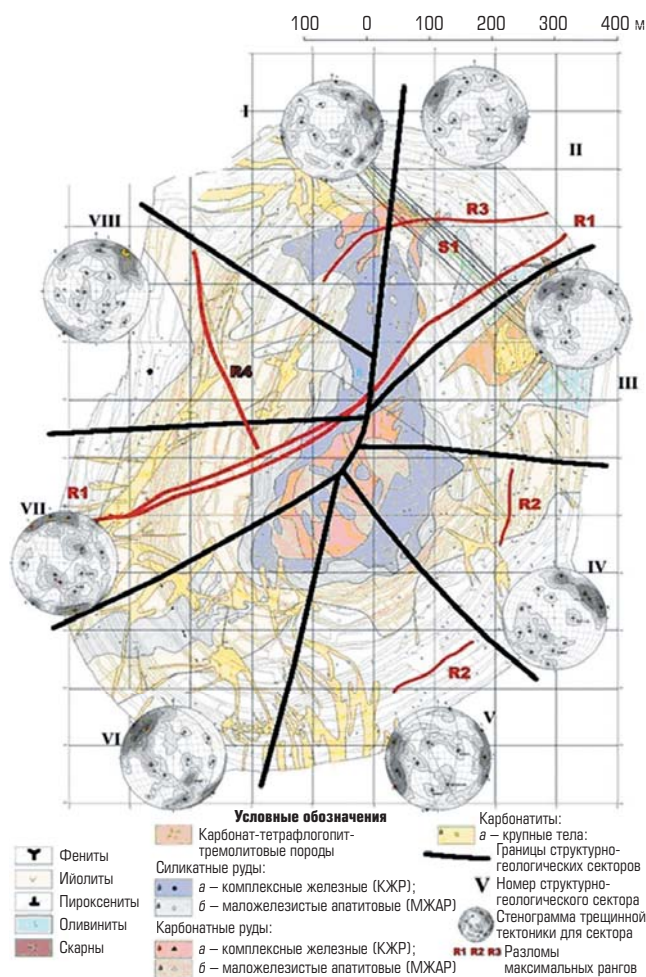
При тесном сотрудничестве двух научных организаций – Горного института КНЦ РАН и ВИОГЕМ, с привлечением Мурманской геологоразведочной экспедиции и Геологического института КНЦ РАН, было выполнено дополнительное изучение геомеханических и структурно-геологических особенностей приконтурного массива пород; исследованы зоны разрывных нарушений; определены параметры напряженно-деформированного состояния массива пород. Была уточнена геолого-структурная карта Ковдорского месторождения, выделено 8 структурно-геологических секторов (см. рисунок).

Результатом исследований и оценок устойчивости, выполненных в соответствии с принятыми методиками [10], явилось заключение о принципиальной возможности постановки карьерных уступов в конечное положение под углами откосов 90°, что, в свою очередь, позволяло увеличить угол откоса борта карьера до 60° ниже абс. отм. +10 ... -50 м при отсутствии неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления и выполнении необходимых мер безопасности. Устойчивость рабочих участков борта карьера рассчитывалась по 8 выделенным инженерно-геологическим секторам, результаты расчетов показали, что в целом проектируемые участки борта карьера находятся в устойчивом состоянии (расчетный коэффициент устойчивости  $n \geq 1,3$ ) [11].

Ширина предохранительных берм рассчитана из ожидаемых величин их срабатывания в зависимости от времени стояния уступа, а также из условия защиты нижележащей зоны от возможного падения камней как следствия локальных разрушений частей уступов. Методика упрощенных расчетов траектории движения камней при обрушении с откосов вертикальных уступов была разработана в ГоИ КНЦ РАН на основании проведенных в карьере экспериментов по падению камней с высоты 24 м [12]. При этом было рекомендовано отсыпать на предохранительных бермах щебеночную «подушку» толщиной 0,8–1 м на участках, где ожидается интенсивный процесс осыпания, а также над наиболее ответственными объектами (транспортные бермы, трассы конвейерных подъемников, водоотливные станции, пункты электроснабжения и т. д.).

Одним из основных факторов, определяющих степень устойчивости как отдельных уступов, поставленных в конечное

положение, так и прибортовой части породного массива в целом, является степень их сохранности после проведения буровзрывных работ (БВР) в приконтурной зоне карьера. Степень сохранности породного массива зависит от его геолого-структурных особенностей и интенсивности динамического воздействия массовых взрывов, которая определяется количеством одновременно взрываемого взрывчатого вещества, интервалами замедлений и направлением взрывной отбойки блока. Эффективным методом обеспечения сохранности прибортовой части породного массива является поэтапное снижение интенсивности динамического воздействия массовых взрывов по мере приближения взрываемых блоков к предельному контуру карьера. Обеспечение максимальной степени сохранности высоких уступов на предельном контуре карьера потребовало разработки специальной технологии постановки уступов в конечное положение. Эта технология включает в себя БВР на контуре, БВР на приконтурных блоках и экскаваторные работы на приконтурных блоках и непосредственно на контуре. Одним из элементов БВР на контуре является применение предварительного щелеобразования. Для бурения скважин отрезных щелей диаметром 134–140 мм используют буровые станки ROC L8. Заряжание скважин производят зарядами контурного



**Уточненная геолого-структурная карта Ковдорского месторождения (по разработке Д. В. Жирова, Геологический институт КНЦ РАН)**

взрывания диаметром 43–45 мм (заряд контурного взрывания ЗКВ-Б прошел приемочные испытания и допущен к постоянному применению в РФ). Другим элементом новой технологии является бурение скважин на приконтурных блоках диаметром 165–170 мм [12].

Проектированию карьера предшествовали многолетние исследования и опытно-промышленные работы, результатом которых стала разработка технологических регламентов «Геомеханическое и техническое обоснование возможности укрупнения бортов карьера рудника «Железный» в конечном положении» и «Обоснование систем осушения и водоотведения карьера...» (Гои КНЦ РАН, ФГУП «ВИОГЕМ», 2002 г.). Эти регламенты легли в основу инженерно-геологических решений проекта [13].

В конце 2006 г. институтом «Гипроруда» была завершена разработка проекта «Реконструкция карьера с целью восстановления проектной мощности Ковдорского ГОКа на основе укрупнения постоянных бортов карьера с увеличением глубины и периода открытой разработки». Одной из главных особенностей данного проекта был подробный учет инженерно-геологических и геомеханических особенностей массива при формировании сверхглубокой карьерной выемки с крутыми углами откосов уступов и бортов, который стал возможен благодаря их дополнительному всестороннему изучению. Согласно действующему в тот период времени проекту 1987 г., расчетные генеральные углы наклона борта карьера при его проектной высоте до 660 м составляли 37–40°, а откосы уступов в конечном положении – от 40 до 70° в зависимости от степени трещиноватости конкретного участка массива. В новом проекте карьер предполагалось сформировать в зависимости от горно-геологических условий с расчетными генеральными углами наклона борта от 45 до 60°, уступы на конечном контуре с углом откоса до 90° в зависимости от конкретных условий.

Но в процессе получения заключения Главгосэкспертизы углы откосов уступов на конечном контуре были снижены с 90 до 80°, что, в свою очередь, привело к существенному пересмотру проекта. Так, в соответствии с проектом V очереди расширения карьера «Железный», параметры карьера по нижней отметки не увеличились, зато увеличились границы карьера и объемы вынимаемой вскрыши.

Тем не менее Ковдорский ГОК не отказался от применения передовых технологий, которые были заложены в проектных решениях реконструкции карьера. На постоянной основе при постановке уступов в конечное положение применяют точное позиционирование буровых станков, технология щадящего взрывания, непрерывный контроль за устойчивым состоянием как приконтурного, так и законтурного массива; на предприятии функционирует многоуровневая система мониторинга [14, 15]. В настоящее время прорабатывается вопрос по управлению буровыми станками через удаленный доступ, когда оператор, находясь на расстоянии, может управлять одновременно тремя станками. Также проведены опытно-промышленные работы по применению самосвалов с использованием двух топливных систем «СПГ-дизельное топливо».

Перспективным направлением снижения себестоимости производства руды является внедрение дробильно-конвейерных комплексов циклично-поточной технологии (ЦПТ) доставки руды до приемного бункера обогатительной фабрики и вскрышных пород – во внешний отвал. Данная технология предусматривает использование комбинированного автомобильно-конвейерного транспорта и сочетает в себе мобильность внутрикарьерного автотранспорта и низкие удельные эксплуатационные затраты конвейерного транспорта.

К настоящему времени в карьере «Железный» успешно функционируют комплекс ЦПТ по транспортировке вскрышных пород в отвал и рудный дробильно-конвейерный комплекс (РДКК). Существует перспектива ввода в эксплуатацию второй очереди РДКК в подземном исполнении.


В 2018 г. между Ковдорским ГОКом и ООО «НИИОГР» подписан договор на разработку новых правил по обеспечению устойчивости бортов и уступов карьеров в скальных массивах с учетом особенностей освоения рудных месторождений.

### Заключение

Таким образом, за время существования и успешной работы Ковдорского ГОКа сформирована перспективная концепция развития горных работ, базирующаяся на накопленном на предприятии опыте внедрения в производство инноваций на основе последних достижений горной науки.

### Библиографический список

1. Мельников Н. Н., Бусырев В. М. Основы рационального недропользования // Известия вузов. Горный журнал. 2017. № 7. С. 43–49.
2. Трубецкой К. Н., Рыльникова М. В. Состояние и перспективы развития открытых горных работ в XXI веке // ГИАБ. 2015. Спец. выпуск 45-1. Открытые горные работы в XXI веке-1. С. 21–32.
3. Захаров В. Н., Рыльникова М. В., Никифорова И. Л. Развитие научно-методических основ проектирования горнотехнических систем при открытой разработке месторождений // ГИАБ. 2017. Спец. выпуск 37. Открытые горные работы в XXI веке: результаты, проблемы и перспективы развития-1. С. 13–26.
4. Яковлев В. Л., Яковлев В. А. Формирование транспортных систем карьеров с учетом адаптации к изменяющимся условиям разработки глубокозалегающих сложноструктурных месторождений // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 6. С. 118–126.
5. Решетняк С. П. Актуальные направления развития методов проектирования горнодобывающих предприятий // Горная промышленность. 2015. № 3(121). С. 22–26.
6. Almandalawi M., You G., Dahlhaus P., Dowling K., Sabry M. Slope stability and rockfall hazard analysis in open pit zinc mine // International Journal of GEOMATE. 2015. Vol. 8. Iss. 15. P. 1143–1150.
7. Javankhoshdel S., Ning Luo, Bathurst R. J. Probabilistic analysis of simple slopes with cohesive soil strength using RLEM and RFEM // Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards. 2017. Vol. 11. Iss. 3. P. 231–246.
8. Fang N., Ji C., Crusoe G. E. Stability analysis of the sliding process of the west slope in Buzhaoba Open-Pit Mine // International Journal of Mining Science and Technology. 2016. Vol. 26. Iss. 5. P. 869–875.
9. Wang N., Wan B. H., Zhang P., Du X. L. Analysis on deformation development of open-pit slope under the influence of underground mining // Legislation, Technology and Practice of Mine Land Reclamation : Proceedings of the Beijing International Symposium on Land Reclamation and Ecological Restoration. – London : Taylor & Francis Group, 2015. P. 53–59.
10. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. – Ленинград, 1972. – 168 с.

11. Козырев А. А., Решетняк С. П., Каспарьян Э. В., Рыбин В. В., Кампель Ф. Б. Обоснование рациональной конструкции конечного борта карьера рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК» // ГИАБ. 2004. № 3. С. 243–250.
12. Фокин В. А., Тарасов Г. Е., Тогунов М. Б., Данилкин А. А., Шитов Ю. А. Совершенствование технологии буровзрывных работ на предельном контуре карьеров. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. – 224 с.
13. Волков Ю. И., Изотов А. А., Сапожникова Т. Г., Прищенко В. Д., Мелихова Г. С. Развитие систем осушения глубокого карьера на основе региональной гидродинамической модели Ковдорского месторождения // Горный журнал. 2012. № 10. С. 50–54.
14. Туголуков А. В., Мельников Н. Н., Лукичев С. В., Данилкин А. А., Казачков С. В. Концепция формирования горно-добычного комплекса в средне- и долгосрочной перспективе развития Ковдорского ГОКа // Горный журнал. 2012. № 10. С. 18–23.
15. Козырев А. А., Рыбин В. В., Каспарьян Э. В., Мелик-Гайказов И. В., Данилкин А. А. Геомеханическое сопровождение формирования конечного контура карьера рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК» // Мониторинг природных и техногенных процессов при ведении горных работ: сб. докл. Всероссийской науч.-техн. конф. с международ. участием. – Апатиты – СПб., 2013. С. 146–154. 

«GORNYI ZHURNAL», 2019, № 6, pp. 30–34  
DOI: 10.17580/gzh.2019.06.03

**The promising concept of mining development at Kovdorsky GOK JSC**

**Information about authors**

**A. A. Danilkin**<sup>1</sup>, Technical Officer  
**A. A. Kozyrev**<sup>2</sup>, Head of Rock Mechanics Department, Professor, Doctor of Engineering Sciences  
**S. N. Bocharov**<sup>1</sup>, Director of Development Engineering  
**V. V. Rybin**<sup>2</sup>, Head of Geomonitoring and Pitwall Slope Stability Sector, Doctor of Engineering Sciences, rybin@goi.kolasc.net.ru  
<sup>1</sup> Kovdorsky GOK JSC, Kovdor, Russia  
<sup>2</sup> Mining Institute, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

**Abstract**

The article presents the promising development concept for the Zhelezny open pit mine of Kovdorsky GOK JSC. The concept is based on the idea of forming a deep open pit at the preserved planned productivity, which is only possible through the close link between production and science. The article describes methodology of geomechanical substantiation of pitwall slope stability and the experience of its industrial application. The geomechanical substantiation of pitwall slope stability is based on the model approach consisting in sequential design of particular models (engineering geological and geomechanical models, limiting exposures, etc.) of rock mass enclosing the pit. It is shown that one of the most important features of adjacent rock mass in the Zhelezny open pit mine is the sub-horizontal stresses which are several times higher than vertical stresses. Another feature is hierarchical block structure of rock mass, which is also taken into account when developing particular models.

Implementation of the proposed methodology for geomechanical substantiation of pitwall slope stability consists in selecting a test site and carrying out semi-commercial tests and experiments. Then, based on the data obtained, the regulations are developed for the ultimate pit limits design, which, in turn, is the basis of the ultimate pit limits project taking into account the rock mass peculiarities.

The article exemplifies implementation of the mine's innovative policy aimed at reducing the ore mining cost.

This methodology of geomechanical substantiation of pitwall slope stability sufficiently suits to peculiarities hard high-strength rock masses and is applicable in different open pit mines in the in appropriate conditions.

**Keywords:** open pit mining technology, open pit, pitwall slope stability, innovative technologies in mining.

**References**

1. Melnikov N. N., Busyrev V. M. The fundamentals of rational subsoil use. *Izvestiya vuzov. Gornyi Zhurnal*. 2017. No. 7. pp. 43–49.

2. Trubetskoy K. N., Rylnikova M. V. Situation and prospects of open-pit mining development in the XXI century. *G.I.A.B.* 2015. Special Issue 45–1. Open Pit Mining in the 21st Century-1. pp. 21–32.
3. Zakharov V. N., Rylnikova M. V., Nikiforova I. L. Development of scientific and methodological foundations for the design of mining systems in open pit development. *G.I.A.B.* 2017. Special Issue 37. Open pit mining in the 21st century: Results, problems, potential growth prospects-1. pp. 13–26.
4. Iakovlev V. L., Iakovlev V. A. Open pit transport systems formation with the account of adaptation to deep-lying complex-structured deposits development changing conditions. *Izvestiya vuzov. Gornyi Zhurnal*. 2018. No. 6. pp. 118–126.
5. Reshetnyak S. P. Important areas of the evolution of mine planning and design methods. *Gornaya promyshlennost*. 2015. No. 3(121). pp. 22–26.
6. Almandalawi M., You G., Dahlhaus P., Dowling K., Sabry M. Slope stability and rockfall hazard analysis in open pit zinc mine. *International Journal of GEOMATE*. 2015. Vol. 8, Iss. 15. pp. 1143–1150.
7. Javankhoshdel S., Ning Luo, Bathurst R. J. Probabilistic analysis of simple slopes with cohesive soil strength using RLEM and RFEM. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*. 2017. Vol. 11, Iss. 3. pp. 231–246.
8. Fang N., Ji C., Crusoe G. E. Stability analysis of the sliding process of the west slope in Buzhaoba Open-Pit Mine. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2016. Vol. 26, Iss. 5. pp. 869–875.
9. Wang N., Wan B. H., Zhang P., Du X. L. Analysis on deformation development of open-pit slope under the influence of underground mining. *Legislation, Technology and Practice of Mine Land Reclamation: Proceedings of the Beijing International Symposium on Land Reclamation and Ecological Restoration*. London: Taylor & Francis Group, 2015. pp. 53–59.
10. Instructional guidelines on slope angle determination for pitwalls, benches and dumps at open pit mines in operation and under construction. Leningrad, 1972. 168 p.
11. Kozyrev A. A., Reshetnyak S. P., Kasparyan E. V., Rybin V. V., Kampel F. B. Justification of adequate ultimate pitwall design for Zhelezny Mine of Kovdorsky GOK. *G.I.A.B.* 2004. No. 3. pp. 243–250.
12. Fokin V. A., Tarasov G. E., Togunov M. B., Danilkin A. A., Shitov Yu. A. Improvement of the drilling and blasting technology on a final open pits outline. Apatity: Izdatelstvo KNTs RAN, 2008. 224 p.
13. Volkov Yu. I., Izotov A. A., Sapozhnikova T. G., Prishchenko V. D., Melikhova G. S. Development of the deep open pit drainage systems on the basis of the regional hydrodynamic model of Kovdor deposit. *Gornyi Zhurnal*. 2012. No. 10. pp. 50–54.
14. Tugolukov A. V., Melnikov N. N., Lukichev S. V., Danilkin A. A., Kazachkov S. V. Formation concept of mining and extraction complex in the medium-term and long-term development prospects of Kovdor Ore Dressing and Processing Enterprise. *Gornyi Zhurnal*. 2012. No. 10. pp. 18–23.
15. Kozyrev A. A., Rybin V. V., Kasparyan E. V., Melik-Gaikazov I. V., Danilkin A. A. Geomechanical support of ultimate pit limits at Zhelezny Mine of Kovdorsky GOK. *Monitoring of natural and technogenic processes during mining works: Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation*. Apatity – Saint-Petersburg, 2013. pp. 146–154.

