

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ И ПОРЯДКА ОТРАБОТКИ ПОДЗЕМНЫХ ЗАПАСОВ УЧАСТКА ГАКМАН ЮКСПОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

О. В. Белгородцев¹, Г. О. Наговицын¹

¹ Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук,
Екатеринбург, Россия

Аннотация: Участок Гакман входит в состав Юкспорского месторождения и является его восточной частью. Оработку запасов апатит-нефелиновых руд участка Гакман предполагается производить по последовательной схеме – выемка подкарьерных и прибортовых запасов подземным способом начинается исключительно после полного завершения открытых работ в южной части участка, с достижением дна карьера отм. +230 м. Основной задачей является разработка рациональной технологии отработки запасов месторождения в районе стыковочной зоны между подземными и открытыми горными работами без снижения объёмов добычи руды подземным рудником. Анализ горно-геологических условий и моделирование отработки западной части рудной залежи участка Гакман в районе стыковки подземных горных работ с выработанным пространством карьера показали, что мощность и угол падения рудной залежи меняются в широком диапазоне, что существенно влияет на технологию и безопасность горных работ. Предложены технология и порядок отработки запасов, обеспечивающие поддержание высокой производственной мощности рудника в течение продолжительного периода времени и позволяющие повысить безопасность ведения горных работ. Моделирование объектов открыто-подземной геотехнологии, подсчёт объёма запасов руды и распределение полезных компонентов участка Гакман осуществлено с помощью горно-геологической информационной системы MINEFRAME. В пределах стыковочной зоны, между выработанным пространством карьера и подземными горными работами, обоснованы оптимальные схемы подготовки запасов к очистной выемке.

Ключевые слова: месторождение, карьер, подземный рудник, порядок отработки, система разработки, безопасность ведения горных работ, цифровое 3D моделирование, геотехнология.

Для цитирования: Белгородцев О. В., Наговицын Г. О. Выбор технологии и порядка отработки подземных запасов участка Гакман Юкспорского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5–1. – С. 19–28. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_19.

Technology and sequence of underground mining at Gakman site of Yukspor deposit

O. V. Belogorodtsev¹, G. O. Nagovitsyn¹

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

Abstract: Gakman site is the eastern part of Yukspor deposit. Mining of apatite–nepheline ore at Gakman site is supposed to be carried out according to a sequential scheme, i.e. underground mining of ore reserves under the bottom and in the wall of the open-pit mine starts only after completion of the open pit operations in the southern part of the site, after the open pit bottom reaches the elevation of +230 m. The main task is to develop a rational technology for mining in the junction zone between the underground and open-pit mining operations without reduction in the volume of ore production output by the underground mine. The analysis of mining and geological conditions and the modeling of mining in the western part of Gakman site in the area of junction of underground mining operations with the mined-out space of the open pit shows that the thickness and dip angle of the ore deposit vary in a wide range, which significantly affects the technology and safety of mining operations. The technology and sequence of mining at the sustained high productivity of the mine for a long period of time and at enhanced safety of mining operations are proposed. Modeling of the objects of the hybrid open pit/underground geotechnology, appraisal of ore reserves and calculation of distribution of useful components at Gakman site were carried out with the help of mining and geological information system MINEFRAME. Within the junction zone between the mined-out space of the open pit and the underground mining operations, the optimal schemes of reserves preparation for stoping are justified.

Key words: ore deposit, open-pit mine, underground mine, mining sequence, mining method, mining safety, 3D digital modeling, geotechnology.

For citation: Belogorodtsev O. V., Nagovitsyn G. O. Technology and sequence of underground mining at Gakman site of Yukspor deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5–1):19–28. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_19.

Введение

Юкспорское месторождение является частью единой апатитовой залежи юго-западного рудного поля Хибинского массива. По особенностям геологического строения, морфологии рудной залежи и качеству руд в пределах Юкспорского месторождения выделяются два участка: Юкспор и Гакман. Участок Гакман является восточной частью месторождения. Рельеф участка представлен подножьем горы Юкспор с перепадом высот от +380 м в долине реки Гакмана до +760 м на верхней части склона горы Юкспор.

Расположение участка Гакман в непосредственной близости к естественному руслу реки Гакмана определяет сложные гидрогеологические условия отработки запасов месторождения открытым способом и влечет за собой необходимость организации мероприятий по изоляции горных выработок от вод поверхностного водотока или отводу русла до начала отработки

полезного ископаемого. Формирование водопритоков происходит за счет атмосферных осадков, подземных вод трещиноватых кристаллических пород, подземных вод четвертичных отложений, подотвальных вод.

В настоящее время отработка запасов Юкспорского месторождения производится подземными горными работами на горизонтах +320 м, +250 м и 170 м участка Юкспор, ведётся строительство гор. +10 м. На горизонте +320 м горные работы вплотную подошли к западной границе участка Гакман. Выемка запасов апатит-нефелиновых руд на всех подземных горизонтах осуществляется с помощью системы разработки подэтажного принудительного обрушения руды и вмещающих пород с торцевым выпуском руды.

Задачи исследования

Отработка запасов участка Гакман предполагается открытыми горными работами, после полного завершения

которых произойдет переход на подземные. Опираясь на анализ горно-геологических условий, результаты исследований горно-механического состояния массива горных пород и моделирование вариантов развития горных работ в период отработки запасов стыковочной зоны подземных горных работ с выработанным пространством карьера участка Гакман, необходимо предложить рациональную технологию и порядок отработки запасов, обеспечивающие поддержание высокой производственной мощности рудника в течение продолжительного периода времени и позволяющие повысить безопасность ведения горных работ [1].

Решаемые задачи:

– произвести анализ горно-геологической ситуации в районе стыковочной зоны подземных горных работ и выработанного пространства карьера Гакман;

– сконструировать цифровую модель открыто-подземной геотехнологии, которая включает в себя: топоповерхность, выработанное пространство карьера на конец его отработки, подземные горные выработки, рудную залежь и фактическое положение очистной выемки подземного рудника;

– рассмотреть возможный порядок отработки подземных запасов участка Гакман, в том числе прибортовых, подкарьерных и стыковочной зоны подземных горных работ с выработанным пространством карьера;

– определить в пределах стыковочной зоны рациональные области применения схем подготовки запасов к выемке.

Применяемые методы и программные средства

Выбор технологии и порядка отработки подземных запасов участка Гакман осуществлялось с помощью компьютерного моделирования в горно-

геологической информационной системе (ГГИС) MINEFRAME [2 – 6], предназначенной для комплексного решения широкого круга геологических, маркшейдерских и технологических задач, встречающихся в практике работы горнодобывающих предприятий, научных и проектных организаций. Система содержит обширный набор инструментов, позволяющих работать с трехмерными моделями объектов горной технологии.

На основе предоставленных данных форматов dwg, dxf была сформирована единая база данных ГГИС MINEFRAME следующих объектов геотехнологии:

1. Положение карьера и отвалов на конец отработки;

2. Транспортные коммуникации в районе предполагаемой отработки;

3. Модель топоповерхности участка Гакман Юкспорского месторождения;

4. Модели тектонических нарушений и разломов;

5. Модели фактических подземных горных работ Юкспорского крыла Кировского рудника;

6. Триангуляционные и блочные модели балансовых и забалансовых запасов участка Гакман Юкспорского месторождения;

7. Модели вмещающих горных пород;

8. Границы горного и земельного отводов.

Решение задач осуществлено с учётом результатов, полученных при геомеханической оценке параметров взаимного влияния выработанного пространства карьера и подземных горных работ. В программном комплексе Sigma GT на основе моделирования поля напряжений и деформаций, с учетом основных геологических и горнотехнических факторов, разработана 3D геомеханическая модель [7 – 11].

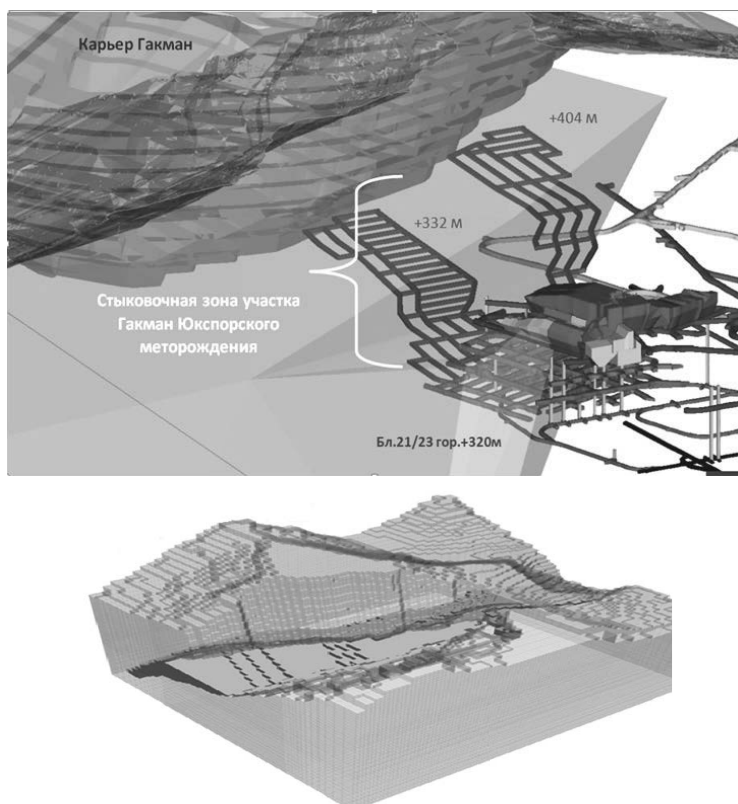


Рис. 1. Фрагмент технологической и геомеханической моделей отработки запасов участка Гакман Юкспорского месторождения
 Fig. 1. Part of the technological and geomechanical models of mining reserves of the Gakman site of the Yukspor deposit

На рис. 1 представлены фрагменты технологической и геомеханической моделей отработки запасов участка Гакман Юкспорского месторождения.

Для решения задач исследования были использованы следующие автоматизированные программные модули ГГИС MINEFRAME:

- анализ горно-геологических условий залегания рудной залежи (расчет углов падения в лежачем и висячем боку, нормальной и горизонтальной мощности по заданной системе разрезов);
- подсчёт геологических запасов по каркасно-блочной модели с определением качества полезных компонентов рудной залежи;

- подсчёт объёмов проектных и фактических подземных горных выработок.

Анализ горно-геологической ситуации в районе стыковочной зоны подземных горных работ и выработанного пространства карьера Гакман

В результате автоматизированного анализа горно-геологических условий залегания и подсчёта запасов рудной залежи между геологическими разрезами Р 21Г ÷ Р 23Г + 160 м от отн. +10 м до верхнего контакта рудной залежи можно сделать следующие выводы:

- средняя горизонтальная мощность рудной залежи составляет 53,5 м;

– средняя нормальная мощность рудной залежи находится на уровне 31,5 м;

– геологические запасы апатит-нефелиновой руды составляют 48,7 млн т, в том числе: балансовые 42,81 млн т и забалансовые 5,89 млн т (рис. 2);

– среднее содержание полезных компонентов в балансовой руде: P_2O_5 – 15,28 %, Al_2O_3 – 13,3 %;

– среднее содержание полезных компонентов в забалансовой руде: P_2O_5 – 2,94 %, Al_2O_3 – 19,3 %.

Необходимо отметить, что на рассматриваемом участке Гакман нормальная мощность рудного тела и угол падения рудной залежи меняются в довольно широком диапазоне, что существенно влияет на технологию отработки запасов руды. Так, например, нормальная мощность лежит в пределах от 2,9 до 147,9 м, а угол падения рудной залежи в лежачем боку меняется от 27 до 80°.

**Принципиальная
схема подготовки запасов
и конструктивные параметры
системы разработки при отработке
западной части участка Гакман
Юкспорского месторождения**

Отработка основных запасов участка Гакман осуществляется на горизонтах +320 м, +250 м, +170 м и +10 м с помощью системы разработки подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды в нисходящем порядке (рис. 3). В плане этажи разделяются на блоки, длиной, равной двум-трем расстояниям между геологическими профилями, и шириной, равной горизонтальной мощности

рудной залежи между её контактами в висячем и лежачем боках.

Количество подэтажей гор. +250 м, +170 м и +10 м принимается согласно фактическим высотным отметкам подошвы горных выработок подэтажей горизонтов Юкспорского месторождения Кировского рудника, а для полноты извлечения запасов гор. +320 м в стыковочной зоне предлагается увеличить количество подэтажей до 7 (табл. 1). Подэтажи между собой связываются автоуклонами, с которых проходятся подготовительные и нарезные горные выработки: полевые транспортно-вентиляционные штреки, рудно-полевые вентиляционно-транспортные орты, отрезные штреки в висячем боку рудной залежи, отрезные орты, буро-доставочные орты и штреки. Подэтажные выработки сбиваются с откаточным горизонтом участковыми рудоспусками. Рудоспуски располагаются таким образом, чтобы максимальная длина доставки руды не превышала 200 м, а средняя длина не более 100 м. Вентиляционные восстающие для подачи свежего воздуха проходятся через 100 ÷ 200 м.

В зависимости от горно-геологических условий (мощность и угол падения рудной залежи), величины конструктивных потерь и разубоживания при системе разработки с подэтажным обрушением и торцевым выпуском руды в табл. 2 представлены схемы подготовки шахтного поля в пределах стыковочной зоны участка Гакман к очистной выемке. Так, на примере подэтажей гор. +320 м рациональными

Таблица 1

Количество подэтажей и их высотные отметки в районе стыковочной зоны
The number of sublevels and their altitudes in the area of the junction zone

Высотная отметка подэтажа, м	+332	+350	+368	+386	+404	+424	+444
Количество подэтажей, шт.	1	2	3	4	5	6	7



Рис. 2. Распределение балансовых и забалансовых запасов по подэтажам участка Гакман, от отм. +10 м до верхнего контакта рудной залежи

Fig. 2. Distribution of balance and off-balance reserves by sub-levels of the Gakman site, from +10 m to the upper contact of the ore deposit

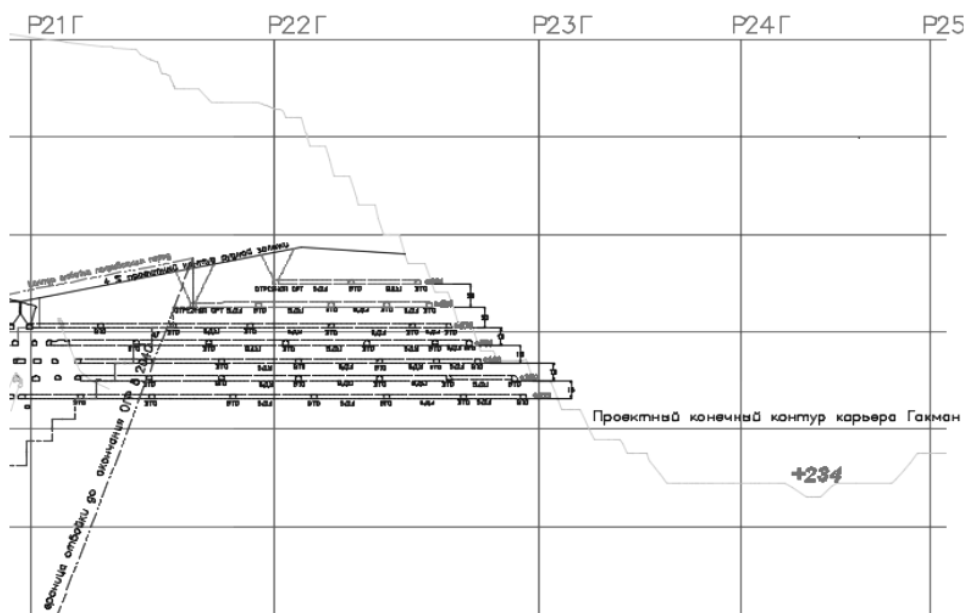


Рис. 3. Принципиальная схема отработки основных запасов участка Гакман

Fig. 3 Principle scheme of mining the main reserves of the Gakman site

схемами подготовки запасов к очистной выемке являются (рис. 4):

- отм. + 332 м: в профилях Р21Г ÷ 21Г+160 м — штрековая, в профилях Р 21Г+160 м ÷ Р22+185 м — комбинированная (отрезные штреки висячем

боку месторождения и буро-доставочные орты);

- отм. + 404 м: в профилях Р21Г ÷ 22Г+148 м — штрековая, в профилях Р 22Г+148 м ÷ Р22+185 м — комбинированная (отрезные штреки висячем

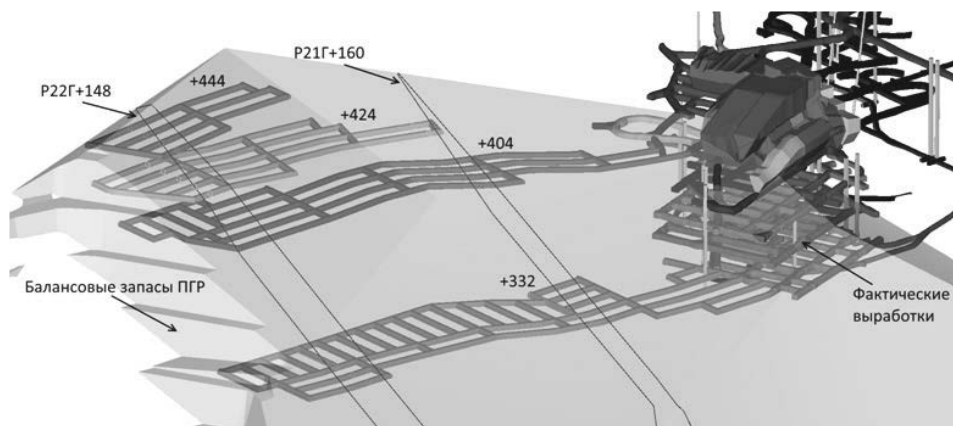


Рис. 4. Схема подготовки к очистной выемке запасов участка Гакман Юкспорского месторождения

Fig. 4. Scheme of preparation for the stoped excavation of reserves of the Gakman site of the Yukspor deposit

Таблица 2

Схемы подготовки шахтного поля в пределах участка Гакман
Mine field preparation scheme within the Gakman site

Схема подготовки запасов к очистной выемке	Нормальная мощность рудной залежи, м	Угол падения рудной залежи, град.
Штрековая	менее 30	менее 30
Ортовая	более 20	более 30
Комбинированная (штреко-ортовая)	более 30	любой

боку месторождения и буро-доставочными орты);

- отм. + 424 м и отм. +444 м – штрековая.

Комбинированная (штреко-ортовая) схема подготовки запасов, по сравнению со штрековой и ортовой, обладает следующими преимуществами: сокращение объёмов линейных подэтажных выработок до 5 % и повышение качества добываемой рудной массы за счёт снижения конструктивного разубоживания до 10 %.

Основные параметры системы разработки подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды в пределах участка Гакман:

- расстояния между буро-доставочными выработками не менее 4 D (D –

расстояние между осями параллельных горных выработок) [12] – 18,4 м;

- высота подэтажа – $18 \div 25$ м;
- угол откоса боков ромбовидных камер – $65 \div 75^\circ$;

- толщина (мощность) отбиваемого слоя руды до 6 м, высота отбиваемого слоя руды до 37 м. Отбойка руды производится секциями ромбовидной формы. За один прием отбивается один-два веера скважин.

Опережение очистной выемки вышележащего подэтажа по отношению к нижележащему принимается не менее высоты одного подэтажа [13].

Заключение

На основе обобщенного анализа горно-геологических условий залега-

ния рудной залежи, а также моделирования вариантов развития подземных горных работ в период отработки запасов стыковочной зоны с выработанным пространством карьера участка Гакман Юкспорского месторождения, предложена рациональная технология и порядок отработки запасов, которые обеспечивают: снижение объёмов горно-подготовительных выработок, повышение качества добываемой рудной массы и безопасности ведения горных работ.

При рассмотрении принципиальных схем подготовки при отработке запасов стыковочной зоны участка Гакман системой разработки подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды наиболее рациональной является комбинированная схема (штреко-ортовая), которая по сравнению со штрековой и ортовой обладает следующими преимуществами: сокращение объёмов линейных подэтажных выработок

до 5 % и повышение качества добываемой рудной массы за счёт снижения конструктивного разубоживания до 10 %. Исключением являются мало-мощные участки рудной залежи, мощностью менее 30 м с пологим углом падения до 30°, где предпочтение отдаётся штрековой подготовке запасов к очистной выемке.

В процессе моделирования горно-геологических и горно-технических условий, конструктивных элементов объектов комбинированной геотехнологии, вариантов схем подготовки запасов стыковочной зоны при ведении подземных горных работ автоматизированные модули и инструментарий ГГИС MINEFRAME позволили повысить информативность и оперативность при решении задач в горном деле, выбрать рациональный вариант развития горных работ, который реализован в виде технологического регламента на АО «Апатит».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукичёв С. В., Семенова И. Э., Белгородцев О. В., Онуфриенко В. С. Увеличение производственной мощности подземного рудника при освоении запасов глубоких горизонтов // Горный журнал. 2019. № 10. С. 85 – 88.
2. Лукичёв С. В., Наговицын О. В., Семёнова И. Э., Белгородцев О. В. Подходы к решению задач проектирования и планирования горных работ в системе MINFRAME // Горный журнал. – 2015. – №8. – С. 53 – 57.
3. Научные и практические аспекты применения цифровых технологий в горной промышленности: монография/ коллектив авторов: под науч.ред. С. В. Лукичёва. – Апатиты: Издательство ФИЦ КНЦ РАН. – 2019. – С. 141 – 176.
4. Nagovitsyn O., Lukichev S., Operations Research for Improving Efficiency in Mining/A conceptual approach to 4D modeling of mining technology objects (APCOM-2017), p. 5.25 – 5.29.
5. Lukichev S., Nagovitsyn O. Belogorodtsev Application of Customized Operations Research Techniques in Mining/ A systemic approach to solving the mining technology tasks based on modeling its objects and processes (APCOM-2017), p. 12.29 – 12.34.
6. Lukichev S., Nagovitsyn O., Shishkin A. Mine planning in digital transformation/ Break line and shotpile surfaces modeling in design of large-scale blasts (APCOM-2019), p. 279 – 285.
7. Kuckartz B., Peroni R., Capponi L. Stochastic Optimization for Mine Planning/ Mine Planning Under Grade Uncertainty and Slope Angle Evaluation (APCOM-2017), p. 9.1 – 9.8.

8. *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.

9. *Козырев А. А., Семенова И. Э., Аветисян И. М.* Геомеханическое обоснование безопасной отработки стыковочных зон на Юкспорском месторождении // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2015. – № 4. – С. 84 – 92.

10. *Семенова И. Э.,* Методика прогноза обрушений по результатам численного моделирования деформированного состояния подработанных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – Прил. 4. – 14 с.

11. Указания по управлению обрушением покрывающих пород, охране сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на рудниках открытого акционерного общества «Апатит» *Козырев А. А., Демидов Ю. В., Мальцев В. А., Енютин А. Н., Аминов В. Н., Семенова И. Э., Доставалов Р. Н.* КНЦ Горный институт, открытое акционерное общество «Апатит». Апатиты, 2002г. – 51с.

12. Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам (Хибинские апатит-нефелиновые месторождения) *Козырев А. А., Семенова И. Э., Рыбин В. В., Панин В. И., Федотова Ю. В., Константинов К. Н., Сальников И. В., Гадючко А. В., Белоусов В. В., Корчак П. А., Стрешнев А. А.* Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, Акционерное общество «Апатит». Апатиты, 2016.112 с.

13. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» **ФНП**

REFERENCES

1. Lukichev S. V., Semenova I. E., Belogorodtsev O. V., Onuprienko V. S. Increasing the production capacity of an underground mine in the development of deep horizon reserves. *Gornyj zhurnal*. 2019. no. 10. С. 85 – 88. [In Russ].

2. Lukichev S. V., Nagovitsyn O. V., Semyonova I. E., Belogorodtsev O. V. Approaches to solving problems of designing and planning mining works in the MINFRAME system. *Gornyj zhurnal*. 2015. no. 8. pp. 53 – 57. [In Russ].

3. Lukichev S. V. *Nauchnye i prakticheskie aspekty primeneniya cifrovyyh tekhnologiy v gornoj promyshlennosti* [Scientific and practical aspects of application of digital technologies in mining industry]: monographia team of authors: under scientific ed. Apatity: Publishing house of FIC KSC RAS. 2019. pp. 141 – 176. [In Russ].

4. *Nagovitsyn O., Lukichev S.,* Operations Research for Improving Efficiency in Mining/A conceptual approach to 4D modeling of mining technology objects (APCOM-2017), p. 5.25 – 5.29.

5. *Lukichev S., Nagovitsyn O., Belogorodtsev* Application of Customized Operations Research Techniques in Mining/A systemic approach to solving the mining technology tasks based on modeling its objects and processes (APCOM-2017), p. 12.29 – 12.34.

6. *Lukichev S., Nagovitsyn O., Shishkin A.* Mine planning in digital transformation/ Break line and shotpile surfaces modeling in designof large-scale blasts (APCOM-2019), p. 279 – 285.

7. *Kuckartz B., Peroni R., Capponi L.* Stochastic Optimization for Mine Planning/ Mine Planning Under Grade Uncertainty and Slope Angle Evaluation (APCOM-2017), p. 9.1 – 9.8.

8. Kozyrev A. A., Panin V. I., Semenova I. E. Experience in the application of expert systems for assessing the stress-strain state of rock massifs to select safe ways of mining ore deposits. *Zapiski Gornogo instituta*. 2012. T.198. рз. 16 – 23. [In Russ].
9. Kozyrev A. A., Semenova I. E., Avetisyan I. M. Geomechanical substantiation of the safe mining of junction zones at the Yukspor field. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015. no. 4. pp. 84 – 92. [In Russ].
10. Semenova I. E., Methods of prediction of collapse by the results of numerical modeling of the deformed state of undermined rocks. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2006, pril. no. 4. 14 p. [In Russ].
11. Kozyrev A. A., Demidov Yu.V., Maltsev V. A., Enyutin A. N., Aminov V. N., Semenova I. E., Dostavalov R. N. *Ukazaniya po upravleniyu obrusheniem pokryvayushchih porod, ohrane sooruzhenij i prirodnyh ob»ektov ot vrednogo vliyaniya podzemnyh razrabotok na rudnikah otkrytogo akcionernogo obshchestva «Apatit»* [Guidelines for managing the collapse of cover rocks, protection of structures and natural objects from the harmful effects of underground mining at mines of Apatit OJSC]. Apatity, 2002, 51 p. [In Russ].
12. Kozyrev A. A., Semenova I. E., Rybin V. V., Panin V. I., Fedotova Yu. V., Konstantinov K. N., Salnikov I. V., Gadyuchko A. V., Belousov V. V., Korchak P. A., Streshnev A. A. *Ukazaniya po bezopasnomu vedeniyu gornyh rabot na mestorozhdeniyah, sklonnyh i opasnyh po gornym udaram (Hibinskie apatit-nefelinovye mestorozhdeniya)* [Guidelines for safe mining operations at the deposits prone and dangerous for rock bumps (Khibiny apatite-nepheline deposits)] Gornyj institut Kol'skogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk, Akcionerное obshchestvo «Apatit». Apatity, 2016. 112 p. [In Russ].
13. *Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoj bezopasnosti «Pravila bezopasnosti pri vedenii gornyh rabot i pererabotke tverdyh poleznyh iskopaemyh»* [Federal norms and rules in the field of industrial safety “Safety rules for mining and processing of solid minerals”] [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Белгородцев Олег Владимирович¹ – научный сотрудник, o.belogorodcev@ksc.ru;

Наговицын Григорий Олегович¹ – научный сотрудник, nagovitsyn_go@bk.ru;

¹ Кольский научный центр Российской академии наук (Горный институт КНЦ РАН), Апатиты, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Belogorodtsev O. V.¹, Researcher, o.belogorodcev@ksc.ru;

Nagovitsyn G. O.¹, Researcher, nagovitsyn_go@bk.ru;

¹ Mining Institute, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences.

Получена редакцией 27.01.2021; получена после рецензии 11.05.2021; принята к печати 10.04.2021.

Received by the editors 27.01.2021; received after the review 11.05.2021; accepted for printing 10.04.2021.

