

О.В. Белогородцев, Е.В. Громов, В.Б. Мельник

ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ И ИХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ ПРИ ОТРАБОТКЕ ЗАПАСОВ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ МОЩНЫХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Приведены краткое состояние горных работ на АО «Апатит» и анализ опыта эксплуатации на подземных горизонтах технологии добычи руды системой подэтажного принудительного обрушения и торцевым выпуском руды. Указан ряд существенных недостатков существующей технологии, сдерживающих интенсификацию добычи руды. Рассмотрены возможные варианты отработки запасов комбинацией систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород и произведена их технико-экономическая оценка. Предложено применять систему этажного принудительного обрушения со скважинной отбойкой и траншейным выпуском с доставкой руды самоходными машинами в центральной части рудного тела. Ключевые слова: месторождение, подземная разработка, ствол, система разработки, траншейный выпуск, технология добычи руды, извлекаемые запасы, вариант отработки, прибыль.

Подземные горные работы на АО «Апатит»

Подземная разработка рудных месторождений системами с обрушением руд и вмещающих пород сопряжена с необходимостью решения ряда задач, связанных с эффективностью их использования в конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях.

В настоящее время при разработке руд средней ценности и малоценных наибольшее распространение получили системы разработки с подэтажным принудительным обрушением при торцевом выпуске и доставкой руды самоходным оборудованием, которые в свое время на ряде горных предприятий

практически полностью вытеснили системы этажного принудительного обрушения с площадным выпуском. Не стало это исключением и для АО «Апатит», крупнейшего в мире предприятия по производству высокосортного фосфатного сырья – апатитового концентрата.

АО «Апатит» разрабатывает шесть месторождений: Кукисвумчоррское, Юкспорское, Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр, Коашвинское и Ньюркапахкское. Руда добывается открытым и подземным способами тремя рудниками: Кировский, Расвумчоррский и Восточный с совокупными мощностями по добыче около 26 млн т руды в год. Разведанные и подтвержденные запасы руды на месторождениях позволяют осуществлять производство апатитового концентрата при существующей производительности в течение 75 лет [1].

В августе 2015 года на Кировском руднике АО «Апатит» был введен в эксплуатацию Главный ствол № 2 (ГС-2) с подземным комплексом дробления и надшахтным комплексом, который предназначен для выдачи руды из подземного рудника на поверхность с глубины около 350 м.

Запуск в промышленную эксплуатацию ГС-2 проектной мощностью около 8 млн т руды в год позволит увеличить объем добычи Кировского рудника с 13 до 16,0 и более миллионов тонн апатит-нефелиновой руды в год [2].

Однако следует отметить, что тенденция увеличения объемов подземной добычи на АО «Апатит» должна обеспечиваться за счет интенсификации горных работ, а анализ опыта эксплуатации подземных горизонтов показывает, что применяемая на рудниках технология добычи руды системой подэтажного принудительного обрушения и торцевым выпуском руды, несмотря на очевидные достоинства, имеет ряд существенных недостатков [3]:

- высокая концентрация горных работ на подэтаже (проходка, выпуск руды, бурение и взрывание скважин, ликвидация негабаритов, крепление горных выработок), проветривание большого количества тупиковых выработок;
- низкие показатели извлечения руды;
- невозможность одновременной отбойки больших объемов руды в одной очистной выработке, что влечет за собой увеличение частоты ведения взрывных работ и количества очистных забоев, находящихся в одновременной очистной выемке;
- при выпуске руды должен осуществляться постоянный контроль качества отгружаемой рудной массы из очистных забоев;

- большой удельный расход подэтажных горных выработок на 1000 т промышленных запасов влечет за собой увеличение времени подготовительно-нарезных работ в блоках, объемов крепления и мероприятий для поддержания горных выработок в устойчивом состоянии.

Внедрение на подземных рудниках ОА «Апатит» системы этажного принудительного обрушения со скважинной отбойкой и траншейным выпуском с доставкой руды самоходными машинами должно обеспечить:

- снижение объемов горнопроходческих работ;
- разведение в пространстве операций связанных с добычей руды и бурением глубоких скважин (повышение коэффициента использования работы оборудования);
- снижение потерь и разубоживания руды;
- уменьшение объема бурения взрывных скважин;
- наиболее эффективное проветривание выработок днища блока;
- контроль планомерного выпуска руды.

Технологические зоны и рекомендуемые варианты отработки запасов глубоких горизонтов

Извлекаемые запасы глубоких горизонтов мощных рудных месторождений с углом падения рудного тела в пределах 30–60° по особенностям их отработки подразделяются на три основные группы [4]:

- участки рудного тела, расположенные висячем боку в зоне повышенного горного давления;

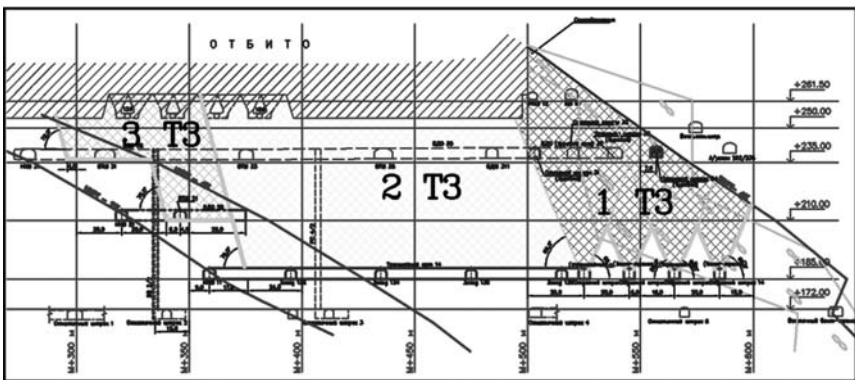


Рис. 1. Технологические зоны при отработке глубоких горизонтов рудных месторождений

Таблица 1

Возможные комбинации отработки запасов горизонта по технологическим зонам

| Вариант отработки запасов | Технологические зоны | | |
|---------------------------|--|--|--|
| | 1 ТЗ – у висячего бока залежи | 2 ТЗ – центральная часть залежи | 3 ТЗ – у лежачего бока залежи |
| 1 | этажное принудительное обрушение с траншейным выпуском | | подэтажное обрушение с торцевым выпуском |
| 2 | подэтажное обрушение с торцевым выпуском | этажное принудительное обрушение с траншейным выпуском | подэтажное обрушение с торцевым выпуском |
| 3 | Подэтажное обрушение с торцевым выпуском | | |

- центральная (средняя) часть залежи, расположенная под обрушенной толщей пород, с постоянными параметрами выемочных участков и высотой этажа;

- запасы в «треугольниках» лежачего бока залежи с ограниченной и непостоянной высотой этажа, невыдержанным контактом рудного тела.

Соответственно, в контурах рудного тела можно выделить технологические зоны (ТЗ): вдоль висячего бока залежи – 1 ТЗ, центральная – 2 ТЗ и у лежачего бока – 3 ТЗ (рис. 1) и произвести отбор технически осуществимых в данных условиях технологических схем добычи руды, уточнить параметры выемочных участков.

Исходя из горно-геологических условий залегания рудного тела и выделенных технологических зон месторождения, в табл. 1 приведены возможные комбинации отработки запасов глубоких горизонтов системами разработки с обрушением руды и вмещающих пород.

Средние параметры очистного блока для подсчета объема подготовительно-нарезных работ (ГПР) и расчета нормативных показателей потерь и разубоживания руды по вариантам отработки представлены в табл. 2.

Очистные работы в ТЗ 2 с выпуском руды на траншейное днище осуществляются после создания разгрузочной зоны в висячем боку месторождения. Отбиваемые балансовые запасы руды в пределах ТЗ 1 и границах блока при формировании разгрузочной зоны должны быть отбиты и подпущены в объеме до 30%, без учета потерь и разубоживания на выпуске руды.

Таблица 2

Средние параметры очистного блока

| Средние параметры | Величина |
|---|----------|
| Вертикальная высота блока, м | 80 |
| Высота подэтажа, м | 25 |
| Длина по простиранию, м | 213 |
| Средняя горизонтальная мощность рудного тела, м | 250 |
| Средний угол падения РТ по висячему боку, град | 42,6 |
| Средний угол падения РТ по лежачему боку, град. | 32,2 |
| Плотность руды, т/м ³ | 2,88 |
| Плотность забалансовой руды, т/м ³ | 2,7 |
| Плотность породы, т/м ³ | 2,68 |

Отбойку массива на траншейное днище и всю высоту блока рекомендуется производить секциями массой от 100 до 250 тыс. т. В период очистной выемки параллельно с выемкой запасов секций осуществляется погашение междутраншейных целиков и оформление траншейных и погрузочных выработок.

Подсчет объемов ГПР и извлекаемых запасов руды по вариантам отработки запасов очистного блока осуществлялся с использованием цифровых моделей конструктивных элементов систем разработки в среде ГГИС MINEFRAME (рис. 2).

Наиболее благоприятные геомеханические условий ведения горных работ во всех вариантах отработки обеспечиваются при начале очистной выемки в висячем боку по простиранию рудного тела для формирования разгрузочной зоны.

Технико-экономическая оценка предлагаемых вариантов отработки (табл. 1) запасов глубоких горизонтов позволит произ-

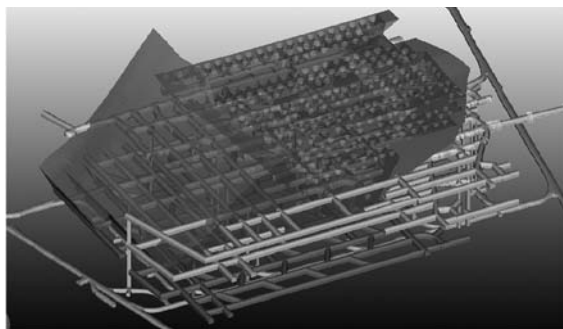


Рис. 2. Цифровая модель очистного блока

вести выбор технологии, которая обеспечит наиболее безопасные условия труда и интенсификацию горных работ.

Сравнение вариантов отработки блока только по отдельным системам разработки по критерию прибыль было бы некорректно, так как отработка запасов производится в несколько стадий (вариант № 1 и вариант № 2 см. табл. 1). Техничко-экономические расчеты осуществлялись с учетом комбинаций систем разработки при извлечении запасов по каждой технологической зоне в отдельности и всего по блоку.

Вариант № 3 (система разработки подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды) был принят как базовый при ведении горных работ на АО «Апатит» в настоящее время.

Для обоснования потерь и разубоживания руды использованы результаты лабораторных исследований по физическому и компьютерному моделированию процесса выпуска руды, выполненные авторами [5, 6, 7], а также результаты опытно-промышленных испытаний системы разработки с подэтажным обрушением на подземных рудниках АО «Апатит», проводимых с участием института ГИГХС [8]. Учитывался также опыт работы рудника «LKAB-Kiruna» (Швеция).

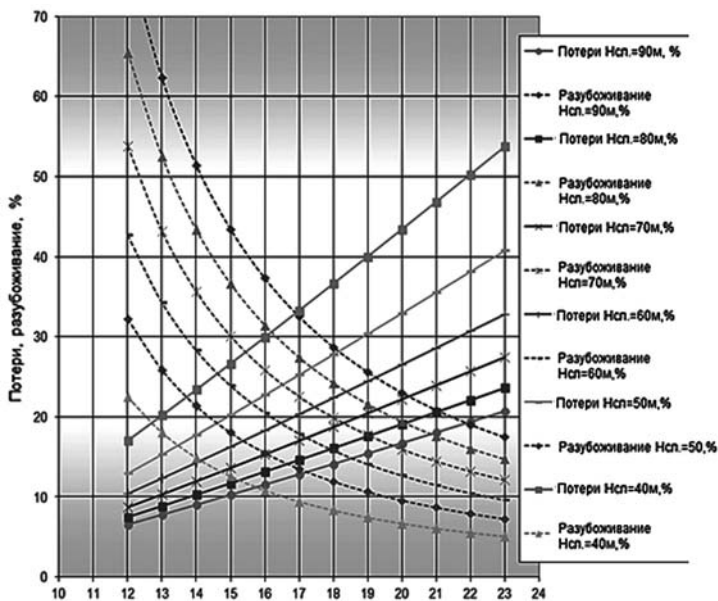


Рис. 3. Зависимости коэффициентов потерь и разубоживания от расстояния между точками погрузки и высоты выпускаемого слоя

Показатели извлечения при траншейном выпуске руды в зависимости от высоты выпускаемого слоя и расстояния между погрузочными заездами приведены на рис. 3.

В условиях высоких цен на апатитовый концентрат, наилучшие показатели прибыли достигаются при меньших показателях потерь по отношению к разубоживанию.

Выводы

Таким образом, исходя из анализа горно-геологических условий залегания рудных тел в пределах глубоких горизонтов месторождений и современного развития технологии подземных горных работ на АО «Апатит», можно сделать следующие выводы:

1. По критерию прибыль, отнесенная к 1 т погашенных балансовых запасов, оптимальным является вариант № 1. Общие показатели извлечения руды: потери 22,8%, разубоживание 24,9%.

С небольшим отставанием по прибыли на 3,9% по расчетам получился вариант № 2 отработки запасов при общих показателях извлечения: потери 19%, разубоживание 28,5%.

По критерию прибыль Вариант № 3 является наихудшим, прибыль уменьшилась на 7% по сравнению с вариантом № 1 при общих показателях извлечения: потери 17%, разубоживание 34,7%.

2. Максимальная прибыль на выпуске руды при системе разработки с обрушением и траншейным выпуском достигается при высоте выпускаемого слоя около 75 м и расстоянии между погрузочными заездами в диапазоне от 19 до 20 м, что соответствует минимально допустимому расстоянию между осями параллельных горных выработок.

3. Снижение величины показателей по потерям и разубоживанию руды приведет к увеличению прибыли в вариантах отработки блока и может быть достигнуто при изменении параметров системы разработки подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды: уменьшение высоты подэтажа до 20 м и увеличение расстояния между буро-доставочными выработками до 20 м.

При изменении конструктивных параметров системы разработки произойдет увеличение объема ГПР по балансовой руде, извлечение которого производится без потерь и разубоживания в период отбойки и доставки до участковых рудоспусков, а также уменьшение конструктивных потерь и разубоживания руды в лежащем боку месторождения.

4. Исходя из сравнительной оценки напряженно-деформированного состояния массива и технико-экономической оценки вышеизложенных вариантов отработки запасов блока, применение системы этажного принудительного обрушения со скважинной отбойкой и траншейным выпуском возможно в центральной части (2 ТЗ) рудной залежи. Данное техническое решение позволит уменьшить концентрацию горных работ на подэтажах и повысить интенсивность выемки запасов, но потребует выполнения дополнительных мероприятий по обезопасиванию и креплению горных выработок траншейного днища.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Интернет-ресурс*: <http://phosagro.ru/about/holding/item49.php2>.
2. *Интернет-ресурс*: <http://www.phosagro.ru/press/company/item10097.php>.
3. *Регламент* отработки запасов горизонта +170м Кукисвумчоррского месторождения Кировского рудника (опытный блок 7/10 гор. +170 м). – Апатиты: ГоИ КНЦ РАН, 2015. – С. 185.
4. *Методика* автоматизированного формирования и выбора вариантов развития горных работ на подземных рудниках ПО «Апатит». – М.: ИПКОН АН СССР, 1986. – С. 45.
5. *Инструкция* по определению, планированию и нормированию количественных и качественных потерь руды, учету состояния и движения запасов при системе с подэтажным обрушением с торцевым выпуском руды на подземных рудниках ОАО «ОЛКОН». – Апатиты-Оленегорск: ГоИ КНЦ РАН, 2005. – С. 41.
6. *Временные* методические положения по оценке эксплуатационных потерь при разработке месторождения «Олений Ручей» (Переработанные и дополненные). – Апатиты: ГоИ КНЦ РАН, 2011. – С. 76.
7. *Демидов Ю. В., Свилин В. С., Белоусов В. В., Сахаров А. Н., Леонтьев А. А.* Совершенствование конструкции траншейного днища с использованием самоходной техники на выпуске руды при системе этажного обрушения на подземных рудниках ОАО «Апатит» // Горный журнал. – 2008. – № 2. – С. 56–60.
8. *Методика* нормирования потерь и разубоживания апатит-нефелиновых руд на подземных рудниках производственного объединения «Апатит». – Апатиты: КФАН СССР, 1988. – С. 170. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Белгородцев Олег Владимирович*¹ – ведущий технолог,

e-mail: O_Belгородцев@mail.ru,

*Громов Евгений Викторович*¹ – научный сотрудник,

e-mail: evgromov@goikolasc.net.ru,

Мельник Виктор Борисович – кандидат технических наук, начальник технического развития АО «Апатит», e-mail: VMelnik@phosagro.ru,

¹ Горный институт КНЦ РАН.

O.V. Belogorodtsev, E.V. Gromov, V.B. Mel'nik
**JUSTIFICATION OF MINING METHODS
AND THEIR DESIGN PARAMETERS
UNDER PRODUCTION INTENSIFICATION
CONDITIONS WHEN DEVELOPING RESERVES
AT DEEP HORIZONS OF THICK ORE DEPOSITS**

The paper shortly describes modern state of mining operations and analysis of exploitation experience of a sublevel induced caving method and front ore pass in underground horizons developed by JSC Apatit. The authors have stated a series of significant disadvantages in the method applied which restrain intensification of ore production. The authors have considered a possibility of applying combined ore and country rock caving mining methods and made the feasibility study. It has been proposed to apply the level induced caving method with borehole stoping and trench ore pass and deliver the ore through mechanized vehicles in the central part of the ore body.

Key words: deposit, underground excavation, shaft, mining method, trench ore pass, ore production technology, reserves extracted, variant of mining method, profit.

AUTHORS

*Belogorodtsev O.V.*¹, Leading Technologist, e-mail: O_Belogorodtsev@mail.ru,
*Gromov E.V.*¹, Researcher, e-mail: evgromov@goikolasc.net.ru,
Melnik V.B., Candidate of Technical Sciences, Chief of Technical Development,
JSC Apatit, e-mail: VMelnik@phosagro.ru,

¹ Mining Institute of Kola Scientific Centre of Russian Academy of Sciences,
184209, Apatity, Russia.

REFERENCES

1. *Internet resource*: <http://phosagro.ru/about/holding/item49.php2>.
2. *Internet resource*: <http://www.phosagro.ru/press/company/item10097.php>.
3. *Reglament otrabotki zapasov gorizonta +170m Kukisvumchorrskogo mestorozhdeniya Kirovskogo rudnika (opytnyy blok 7/10 gor. +170 m)* (Regulations for developing reserves at +170 m horizon, the Kirovskiy mine, Kukisvumchorr deposit (testing block 7/10 horizon +170 m)), Apatity, GoI KNTs RAN, 2015, pp. 185.
4. *Metodika avtomatizirovannogo formirovaniya i vybora variantov razvitiya gornyykh rabot na podzemnykh rudnikakh PO «Apatit»* (A method of atomized formation and choice of alternative mining operations in underground mines), Moscow, IPKON AN SSSR, 1986, pp. 45.
5. *Instruktsiya po opredeleniyu, planirovaniyu i normirovaniyu kolichestvennykh i kachestvennykh poter' rudy, uchetu sostoyaniya i dvizheniya zapasov pri sisteme s podetazhnym obrusheniem s tortsevym vypuskom rudy na podzemnykh rudnikakh OAO «OLKON»* (Instructions for determination, planning and regulation of quantity and quality ore losses, accounting of state and movement of reserves in sublevel caving mining method with front ore pass in underground mines, JSC Olkon), Apatity-Olenegorsk, GoI KNTs RAN, 2005, pp. 41.
6. *Vremennye metodicheskie polozheniya po otsenke ekspluatatsionnykh poter' pri razrabotke mestorozhdeniya «Oleniy Ruchey» (Pererabotannyye i dopolnennyye)* (Temporal methodical regulations for estimation of exploitation losses during the Oleniy Ruchey deposit developing (modified and upgraded), Apatity, GoI KNTs RAN, 2011, pp. 76.
7. Demidov Yu. V., Svinin V. S., Belousov V. V., Sakharov A. N., Leont'ev A. A. *Gornyy zhurnal*. 2008, no 2, pp. 56–60.
8. *Metodika normirovaniya poter' i razubozhivaniya apatit-nefelinovykh rud na podzemnykh rudnikakh proizvodstvennogo ob'edineniya «Apatit»* (A method of regulation of losses and dilution of apatite-nepheline ore in underground mines, JSC Apatit), Apatity, KFAN SSSR, 1988, pp. 170.