

ПРИМЕНЕНИЕ РЕЙТИНГОВЫХ КЛАССИФИКАЦИЙ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ПЛАТО РАСВУМЧОРР» (РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ)

Н. М. Яковлев,

КФ АО «Апатит», г. Кировск, Россия;

Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Россия

Аннотация: Приведены основные системы классификаций горного массива, разработанные для решения задач горнодобывающей отрасли. Отдельно отмечены наиболее применяемые в классификациях параметры горного массива. На основании произведенного анализа выбрана и описана методика определения рейтинга массива горных пород по классификации профессора Д. Лобшира (MRMR) в условиях применения системы разработки подэтажного принудительного обрушения с торцевым выпуском руды при отработке запасов месторождения «Плато Расвумчорр». Показано, что для успешного применения системы разработки подэтажного принудительного обрушения требуется комплексный учет всех горно-геологических факторов и корректный расчет достаточной площади подреза для обеспечения плавного протекания процесса обрушения вышележащего массива с образованием полости для высвобождения горной массы, а увеличение отрезных секций будет способствовать развитию процесса обрушения.

Ключевые слова: классификация, Rock mass rating (RMR), Mining Rock Mass Rating (MRMR), массив горных пород, обрушаемость, подэтажное обрушение, геомеханика, гидравлический радиус, устойчивость.

Благодарности: Автор выражает благодарность коллективу сотрудников УРГР и УГИ КФ АО «Апатит» за проявленный интерес к теме исследования. Отдельно автор выражает особую благодарность своему научному руководителю – руководителю отдела «Геомеханики» Горного института КНЦ РАН кандидату технических наук Инне Эриковне Семеновой за значимые замечания и ценные советы при проведении исследования и оформлении статьи.

Для цитирования: Яковлев Н. М. Применение рейтинговых классификаций для обоснования системы разработки месторождения «Плато Расвумчорр» (Российская Федерация) // Маркшейдерия и недропользование. 2024. № 3. С. 34–41. DOI: 10.56195/20793332_2024_3_34_41.

APPLICATION OF RATING CLASSIFICATIONS TO SUBSTANTIATE THE DEVELOPMENT SYSTEM OF THE PLATO RASVUMCHORR DEPOSIT (RUSSIA)

N. M. Yakovlev,

Kirovsk branch of «Apatit», Kirovsk, Russia

Mining Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

Abstract: The article presents the main classification systems of the rock massif, developed to solve the problems of the mining industry. The parameters of the rock massif that are most used in classifications are marked separately. Based on the analysis performed, a method for determining the rating of a rock mass according to the classification of Professor Dennis Laubscher (MRMR) was selected and described under the conditions of using a sublevel caving method during the development of reserves of the Plato Rasvumchorr deposit. It is shown that for the successful application of the sublevel caving method, a comprehensive account of all mining and geological factors is required and a correct calculation of a sufficient undercut area to ensure a smooth flow of the process of collapse of the overlying massif with the formation of a cavity for the release of rock mass, and an increase in the cutting sections will contribute to the development of the collapse process.

Keywords: classification, Rock mass rating (RMR), Mining Rock Mass Rating (MRMR), rock massif, collapsibility, sublevel caving, geomechanics, hydraulic radius, stability.

Acknowledgments: The author expresses gratitude to the staff of the URGR and UGI Kirovsk branch of «Apatit» for their interest in the research topic. Separately, the author expresses special gratitude to his scientific supervisor, Candidate of Technical Sciences, head of the Geomechanics Department of the Mining Institute of the KSC RAS Semenova Inna Erikovna for significant comments and valuable advice during the research and design of the article.

For citation: Yakovlev N. M. Application of rating classifications to substantiate the development system of the Plato Rasvumchorr deposit (Russia). Surveying and subsoil use. 2024;(3):34–41. (In Russ.). DOI: 10.56195/20793332_2024_3_34_41.

Массив горных пород как объект исследования характеризуется определенным набором физико-механических свойств, различных по качественным и количественным характеристикам. Для того чтобы систематизировать и обобщить имеющиеся сведения о строении массива, разработаны системы рейтинговых классификаций

массивов горных пород, позволяющие решать актуальные геотехнологические и геомеханические задачи горнодобывающей отрасли.

Основные системы классификаций горного массива, разработанные для проектирования подземных горных работ и подземных сооружений, представлены в *таблице 1*.

Таблица 1 / Table 1

Системы классификаций массива горных пород
Rock mass classification systems

Классификация / Classification	Автор, год создания [17] / Author, year of creation	Страна / Country	Область применения / Area of application	Используемые параметры / Used parameters
Теория горных пород	Терцаги, 1946	США	Тоннелестроение	H_p - коэффициент нагрузки горных пород, B - ширина тоннеля, H_t - высота разрыхленной горной массы над сводом выработки
Время простоя	Лофер, 1958	Австрия	Тоннелестроение	L - активный пролет, t - время простоя, u_f - допустимое смещение и механические характеристики горных пород (модуль Юнга, коэффициент Пуассона)
Показатель качества породы (RQD)	Дир, 1964	США	Описание качества керна, извлеченного из скважины	$\sum$ sum of length of core pieces >100 mm - сумма длин частей керна больше 100 мм, I_{tot} tot core run - общая длина керна
Рейтинг структуры горных пород (RSR)	Викхем, 1972	США	Описание качества горной массы и соответствующей крепи, в частности, стально-реберной крепи, разработанной Викхемом	A - параметр геологии, B - параметр влияния трещин по отношению к их направлению, C - параметр влияния притока грунтовых вод
Новоавстрийский тоннельный метод (NATM)	Рабцевич, 1964/65 и 1975	Австрия	Проходка тоннелей в избыточно напряженных породах	NATM состоит из 7 элементов: 1. Использование прочности естественного скального массива. 2. Набрызгбетонная защита. 3. Измерение и мониторинг. 4. Гибкая опора. 5. Закрытие обратного свода. 6. Конструкции системы поддержки. 7. Классификация горных пород от очень твердых до очень мягких.
Геомеханическая классификация Бенявского (RMR)	Бенявский, 1974	ЮАР	Тоннели, шахты, фундаменты и т. д.	1. Прочность массива на одноосное сжатие ($\sigma_{сж}$). 2. Показатель качества породы (RQD). 3. Расстояние между трещинами. 4. Состояние трещин. 5. Состояние грунтовых вод. 6. Ориентация трещин
Классификация Бартон (Q-system или NGI)	Бартон (Норвежский геофизический институт), 1974	Норвегия	Тоннели, камеры большого пролета	1. Показатель качества породы (RQD). 2. J_n - показатель количества систем трещин. 3. J_f - показатель шероховатости поверхности трещин. 4. J_a - показатель измененности трещин. 5. J_w - показатель обводненности пород. 6. SRF - фактор снижения напряжений
Классификация Лобшира и Тейлора (MRMR)	Лобшир и Тейлор, 1976	ЮАР	Горная инженерия	1. RMR. 2. K - коэффициенты, учитывающие выветривание, ориентацию трещин, напряжения в массиве, воздействие взрывных работ, наличие подземных водоприитоков
Основное геотехническое описание (BGD)	ISRM, 1981		Для общего использования	1. Название породы с упрощенным геологическим описанием. 2. Предел прочности на сжатие угол трения трещин ($\sigma_{сж}$ и τ). 3. Мощность слоя и пересечение трещин в массиве горных пород
Прочность скального массива (RMS)	Стиле и другие, 1982	Швеция	Для общего использования (модифицированный RMR)	Включает в себя первые пять параметров RMR. Условия нагружения и поле начальных напряжений не учитываются, что означает, что RMS является классификацией по прочности
Индекс геологической прочности (GSI)	Хок и другие, 1995	ЮАР	Шахты, тоннели	σ_1' - максимальная компонента главных напряжений; σ_3 - минимальная компонента главных напряжений; $\sigma_{сж}$ - предел прочности породы в образце при испытании на одноосное сжатие; mb, s, a - эмпирические параметры критерия прочности Хока - Брауна, зависящие от геологической структуры породного массива
Количество горной породы (N)	Гозль и другие, 1995	Индия	Для общего использования (Q-system без напряжений)	1. Показатель качества породы (RQD). 2. J_n - показатель количества систем трещин. 3. J_f - показатель шероховатости поверхности трещин. 4. J_a - показатель измененности трещин. 5. J_w - показатель обводненности пород
Индекс горной массы (Rmi)	Палмстрем, 1995	Норвегия	Горная инженерия	$\sigma_{сж}$ - прочность на одноосное сжатие неповрежденной породы, измеренная на образцах диаметром 50 мм, JP - параметр трещиноватости

По частоте применения в классификационных системах горного массива можно выделить следующие параметры: предел прочности породы на одноосное сжатие, параметры трещиноватости массива (расстояние между трещинами, ориентация трещин), показатель качества породы RQD [18]. Реже классификации включают параметры, характеризующие: выветривание пород, наличие водопритоков, нарушенные и ослабленные зоны (табл. 1).

Следует отметить, что приведенные системы классификаций делают различный акцент на определенных параметрах, поскольку цель и область применения у каждой классификации различны. Например, геомеханическая классификация проф. З. Т. Бенявского RMR (Rock mass rating) является одной из наиболее известных и общепризнанных геомеханических классификаций в мире (она также известна как CSIR (Южноафриканский совет научных и промышленных исследований) [17]. Идеи проф. З. Т. Бенявского получили дальнейшее развитие в работах Е. Хока, Е. Брауна, А. Палмстрема [9, 10, 12, 13, 17], а также при разработке геомеханической классификации проф. Д. Лобшира (Mining Rock Mass Rating или MRMR) [1, 2, 14-16].

Параметры для расчета значения MRMR аналогичны тем, которые используются в системе RMR проф. Бенявского. Это может сбивать с толку, поскольку некоторые параметры в системе MRMR изменены, например, параметр состояния, который включает наличие и давление подземных вод в системе MRMR, тогда как подземные воды являются отдельным параметром в системе RMR проф. Бенявского. Количество классов для параметров и детализация описания параметров также более обширны, чем в системе RMR проф. З. Т. Бенявского [16].

Также стоит обратить внимание на предложенный Диром в 1964 году критерий устойчивости массива RQD (Rock quality designation), который используется при подсчете рейтинговых показателей в вышеперечисленных геомеханических классификациях. Таким образом, RQD образует базовый элемент в некоторых из наиболее часто используемых систем классификации массивов горных пород: рейтинговой системе горных пород (RMR), горном рейтинге массива горных пород (MRMR) и Q-system Бартон.

Материал и методы исследования

На сегодняшний день для определения рейтинга массива горных пород и выявления склонности горных пород к обрушению наиболее используемой является геомеханическая классификация проф. Д. Лобшира — MRMR (Mining Rock Mass Rating), которая используется при составлении проектов крепления, диаграмм зон обрушения, расчета устойчивости целиков, обосновании порядка ведения горных работ, определения степени обрушаемости и дробимости и т. д. [1-3].

По мнению автора статьи, определение рейтинга массива горных пород по классификации проф. Д. Лобшира может помочь в оценке эффективности применения системы разработки с обрушением апатит-нефелиновых руд на месторождениях Хибинской апатит-нефелиновой дуги, а именно выявить склонность пород к обрушению на разных участках месторождений.

Применение системы разработки подэтажного принудительного обрушения зависит от физико-механических свойств горных пород, а также показателей трещиноватости массива и параметров рудных тел, глубины ведения горных работ (рис. 1). Определяющим фактором является и уровень действующих напряжений, что особенно важно в условиях выраженного тектонического сжатия пород на Хибинских месторождениях.

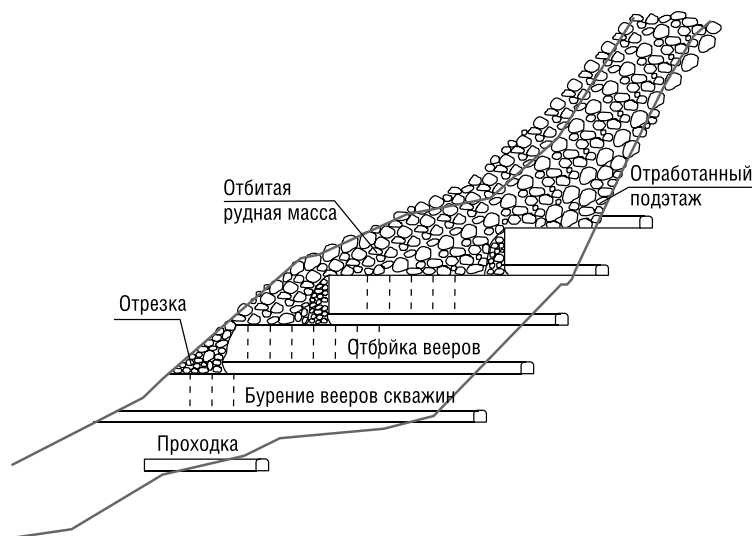


Рис. 1. Система разработки подэтажного принудительного обрушения с торцевым выпуском руды

Fig. 1. Sublevel caving mining method

С учетом вышеизложенного, для определения рейтинга массива горных пород используется геомеханическая классификация «Горный рейтинг массива горных пород» (Д. Лобшир), которая основывается на рейтинговой системе Бенявского (RMR) с использованием дополнительных параметров, таких как исходный уровень напряжений в нетронутом массиве, техногенный уровень напряжений, а также влияние БВР, смерзаемости пород, водопритоков и выветривания. Схема к определению рейтингового показателя массива на основе этой геомеханической классификации показана на рисунке 2.

Определение рейтинга MRMR выражается формулой

$$MRMR = RMR \times K, \quad (1)$$

$$RMR = R_{RBS} + J_s + J_c, \quad (2)$$

где R_{RBS} — прочность породного блока; J_s — рейтинг по количеству трещин; J_c — рейтинг условий трещиноватости; K — коэффициенты, учитывающие выветривание, ориентацию трещин, напряжения в массиве, взрывание, наличие подземных водопритоков.

Составляющая рейтинга RBS в породном массиве для условий месторождения «Плато Расвумчорр» (в строении массива присутствуют крутопадающие и наклонные дайки, зоны гипергенных изменений и разуплотнений пород и другие элементы нарушения однородности массива пород.)

$$RBS = IRS \times 0,8 \times K, \quad (3)$$

где K — коэффициент корректировки IRS, доли единиц.

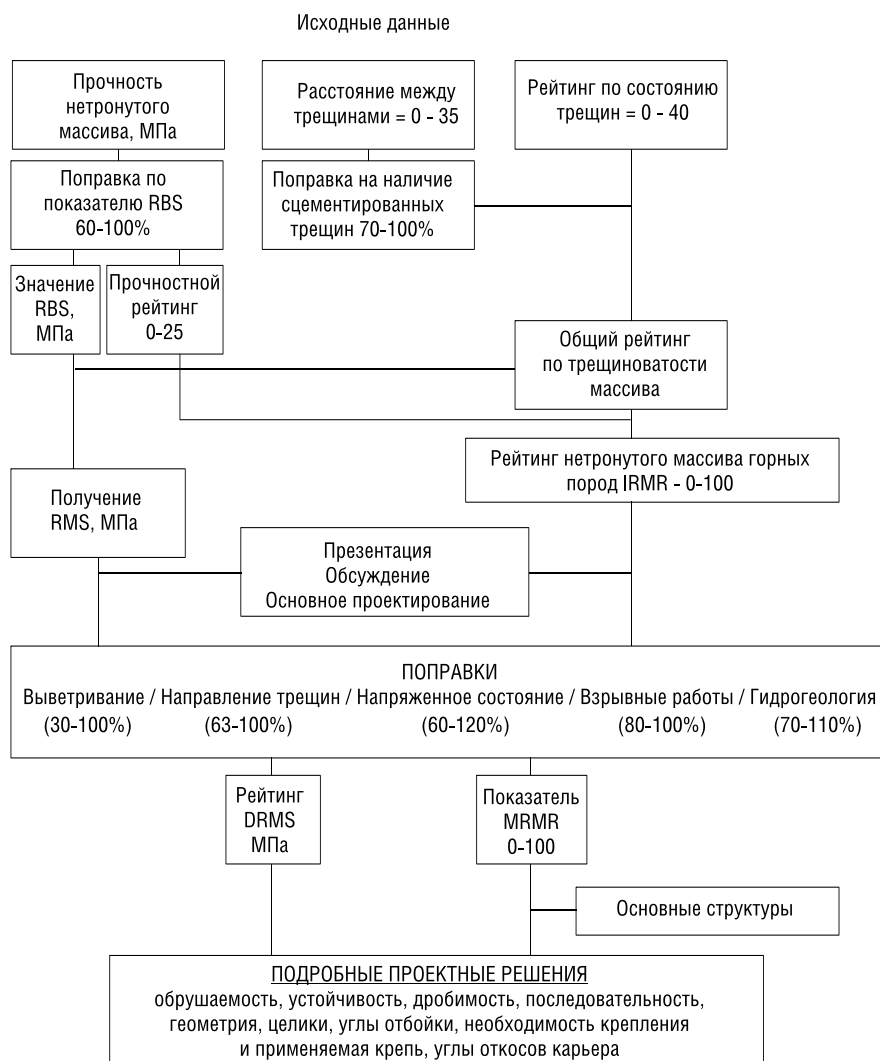


Рис. 2. Блок-схема к определению показателя MRMR согласно классификации проф. Д. Лобшира [2, 3, 8]

Fig. 2. Block diagram for determining the MRMR according to the classification of prof. D. Laubscher [2, 3, 8]

Согласно используемым в классификации поправкам на состояние массива (выветривание, ориентация трещин, напряжения, методы взрывных работ, гидрогеология) являются более важными характеристиками, которые отличают MRMR от других геомеханических классификаций, приведенных в *таблице 1*: RMR, R_{Mi}, GSI.

Результаты

Для оценки геомеханического состояния массива горных пород и применимости системы разработки с обрушением руды и вмещающих пород на месторождении «Плато Расвумчорр» (РФ) использованы следующие данные.

Согласно В. Н. Титову, на месторождении выявлено четыре системы трещин [6].

По имеющимся геомеханическим характеристикам керна [5, 6] можно разделить горные породы на три преобладающих литотипа:

1) рисчорриты и ийолит-уртиты-малиньиты-луявриты; $RQD = 81-100$, $RQD_{cp} = 87$;

2) нефелиновые руды, рудная брекчия, сфен-апатитовые руды и апатит, содержащие ийолит-уртиты, залегающие в руде и вблизи нее: $RQD = 48-70$, $RQD_{cp} = 51$;

3) массивные уртиты и позднемагматические неравномернозернистые и сред-незернистые полевошпатовые уртиты, $RQD = 90-100$, $RQD_{cp} = 96$.

Процедура определения числового показателя RQD приведена в *таблице 2*.

Таблица 2 / Table 2

Взаимосвязь между RQD и качеством горной породы (Дир, 1964) Correlation between RQD and rock mass quality (Deere, 1964)

Значение RQD, % / RQD value, %	Качество горной породы / Rock quality
<25	Очень слабая
25-50	Слабая
50-75	Средняя
75-90	Крепкая
90-100	Очень крепкая

Таким образом, на основании имеющихся геомеханических данных по керну, можно сделать вывод, что уровень RQD для апатит-нефелиновых руд месторождения Плато

Расвумчорр составляет в среднем 51, для вмещающих пород – 87-96, что соответствует среднему и крепкому (очень крепкому) показателю крепости горной породы.

Средняя прочность пород на сжатие для определения рейтинга $MRMR$ принята в 150 МПа. Этот показатель соответствует обобщенному показателю предела прочности вмещающих пород и руд по имеющимся инженерно-геологическим данным [6]. Таким образом, $IRS = 150$ МПа – прочность нетронутого массива (Intact Rock Strength).

Трещины заполнены материалом с крепостью по шкале Мооса 3. Следовательно, инверсия – 0,33 (табл. 3). $FF/m = M_{mp} = 2$. Получаем значение «инверсия крепости $\times FF/m$ » = $0,2 \times 2 \approx 0,4$.

Таблица 3 / Table 3

Таблица к определению показателя инверсии по шкале Мооса / Table for determining the inversion index on the Mohs scale

Заполнитель / Filler	Тальк, молибден / Talc, molybdenum	Гипс, хлорит / Gypsum, chlorite	Кальцит, ангидрид / Calcite, anhydrite	Флюорит, халькопирит / Fluorite, chalcopyrite	Апатит / Apatite
Коэффициент крепости наполнителя / Filler strength coefficient	1	2	3	4	5
Инверсия / Inversion	1,0	0,5	0,33	0,25	0,2

По номограмме корректировки прочности (рис. 3) имеем $k \approx 0,9$.

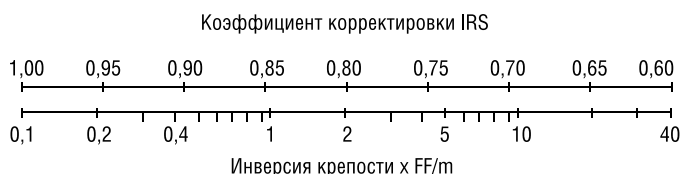


Рис. 3. Номограмма корректировки прочности нетронутого массива с учетом крепости руды и густоты трещин [1, 2]

Fig. 3. Nomogram for adjusting the strength of an intact massif, taking into account the strength of the ore and the density of joints

Таким образом, прочность породного блока составляет:

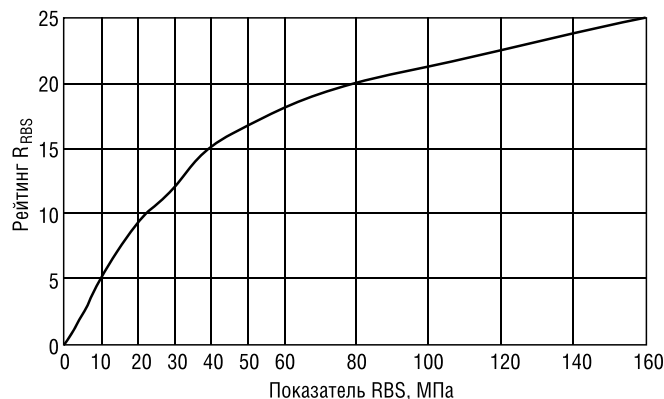
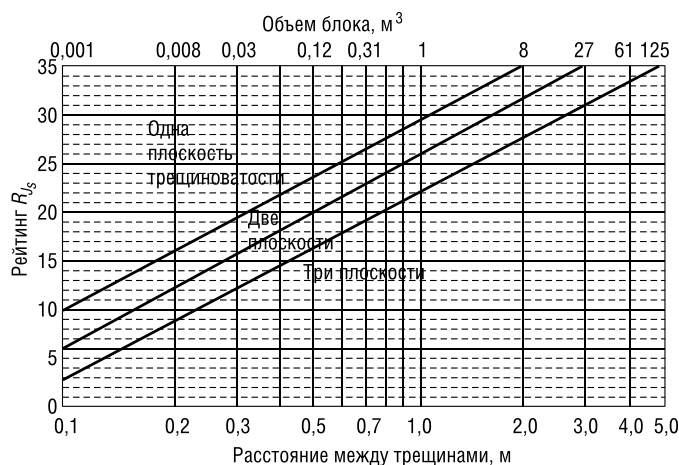
$$RBS = IRS \times 0,8 \times K, RBS = 150 \times 0,8 \times 0,9 = 108 \text{ МПа.} \quad (4)$$

Далее по графику на рисунке 4 находится составляющая рейтинга $RMR - R_{RBS}$.

J_S – рейтинг по количеству трещин, определяется по графику на рисунке 5. Среднее расстояние между трещинами составляет 0,5 м. Массив горных пород представлен трещинами, включающими четыре системы трещин. Согласно рисунку 5, рейтинг J_S составляет 16.

J_S – рейтинг условий трещиноватости, который определяется по формуле

$$J_c = 40 \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \frac{D}{100} \times \frac{E}{100}. \quad (5)$$

Рис. 4. Определение рейтинга R_{RBS} прочности породного блока [2, 3, 8]Fig. 4. Determination of the strength rating of the rock block (R_{RBS})Рис. 5. Рейтинг трещиноватости массива J_S [2, 3, 8]Fig. 5. Joint spacing rating (J_S)

Согласно приведенной формуле (5), максимальное значение J_c равно 40, но оно подлежит корректировке с помощью поправочных коэффициентов AE , представленных в таблице 4. При сопоставлении табличной информации и горно-геологических условий рассматриваемого участка рассчитывается итоговый рейтинг условий трещиноватости, представленный в формуле (6).

Трещины – кривые ($A = 90\%$), стенки – шероховатые волнистые ($B = 80\%$), заполнены мелкокусковым материалом, крепостью заполнителя 1 (по шкале Мооса).

$$J_c = 40 \times \frac{100}{100} \times \frac{80}{100} \times \frac{75}{100} \times \frac{60}{100} \times \frac{95}{100} = 40 \times 1 \times 0,8 \times 0,75 \times 0,6 \times 0,95 = 13,7. \quad (6)$$

Для вычисления рейтинга $MRMR$ необходимо умножить рейтинг RMR на соответствующие коэффициенты. Таким образом, получив данные по прочности и трещиноватости массива, можно вычислить Rock mass rating:

$$RMR = 22 + 16 + 13,7 = 51,7\%. \quad (7)$$

Гидрогеология – 0,95, метод отбойки – 0,94, выветривание – 1, общая поправка 0,89 вычисляются согласно [1, 2], таким образом, исходя от горно-геологической обстановки месторождения, показатель $K = 0,89$.

Таблица 4 / Table 4

Поправочные коэффициенты по показателю JC [1, 2]
Adjustment coefficients for the JC index

А. Крупномасштабное влияние трещин/ Large-scale joint expression					100
Разнонаправленные волнообразные/ Wavy-multidirectional					95
Однонаправленные волнообразные/ Wavy-unidirectional					90
Кривые / Curved					85
Слегка волнообразные или прямые/ Straight, slight undulation					85
В. Небольшие расстояния между трещинами 200 × 200 мм / Small-scale joint expression (200 mm × 200 mm)					95
Неровные выступы/нерегулярные / Rough stepped/irregular					90
Плавные выступы / Slickensided stepped					85
Гладкие выступы / Smooth stepped					80
Шероховатые волнистые / Rough undulating					75
Гладкие и шероховатые / Smooth undulating					70
Плавные шероховатые / Slickensided undulating					65
Шероховатые плоские/ Rough planar					60
Плавные плоские / Smooth planar					55
Гладкие / Polished					55
С. Стенки трещин деформированы и слабее, чем породы и заполнитель / Joint wall alteration weaker than sidewall and filling					75
D. Раздувы / Gouge					60
Толщина < протяженности/ Thickness < amplitudes					30
Толщина > протяженности/ Thickness > amplitudes					30
Е. Цементированные наполненные трещины (порода прочнее заполнителя трещин) / Cemented/filled joints - cement weaker than wall rock:					
Крепость заполнителя	5	4	3	2	1
Значение коэффициента	95	90	85	80	75

Таблица 5 / Table 5

Классификация пород по методике проф. Д. Лобшира/
Classification of rock mass according to the method of prof. D.Laubscher

Класс/рейтинг MRMR / MRMR class/rating	5/5-20	4/21-40	3/41-60	2/61-80	1/81-100
Устойчивость (обрушаемость)/ Sustainability(cavability)	Очень низкая (очень высокая) / Very low (very high)	Низкая (высокая) / Low (high)	Средняя (средняя) / Average (average)	Высокая (низкая) / High (low)	Очень высокая (очень низкая) / Very high (very low)

Следовательно, получаем значение *MRMR*:

$$MRMR=51,7 \times 0,89=41,16. \quad (8)$$

В таблице 5 приведена классификация пород по устойчивости согласно методике проф. Д. Лобшира.

Исходя из выполненных расчетов выясняется, что горные породы месторождения «Плато Расвумчорр» принадлежат к третьему классу по методике проф. Д. Лобшира и имеют среднюю устойчивость (среднюю обрушаемость). Средняя устойчивость подтверждается наличием в массиве зон тектонических нарушений и геологических ослаблений (массив не монолитный).

Успешное применение системы разработки подэтажного принудительного обрушения при отработке запасов месторождения «Плато Расвумчорр» подземным способом зависит от способности вышележащего массива горных пород обрушаться, когда выемка руды создает подрез. По мнению проф. Д. Лобшира, все горные массивы обрушаются, но способ обрушения горных пород и результирующее распределение размеров отделяемых фрагментов необходимо предсказать, если мы хотим успешно реализовать подземную разработку. Полость зависит от состояния горного массива и связанного с ним гидравлического радиуса [16].

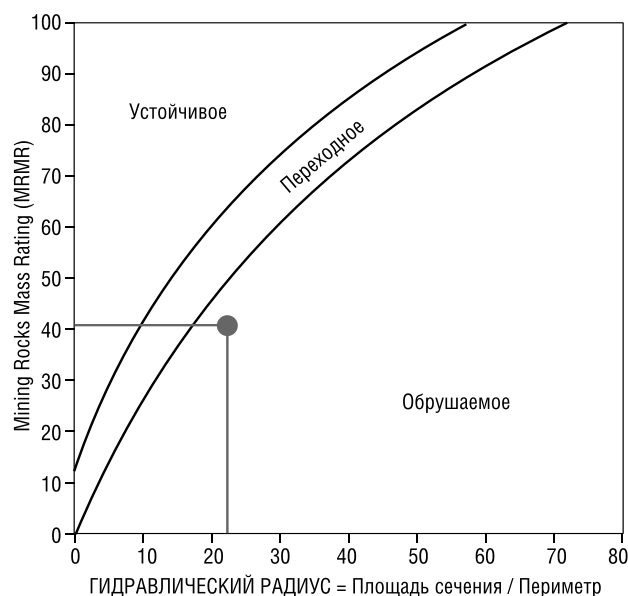


Рис. 6. График к определению гидравлического радиуса по показателям MRMR проф. Д. Лобшира (1994 г.)

Fig. 6. Graph for the determination of the hydraulic radius according to the MRMR indicators by prof. D. Laubscher (1994)

Гидравлический радиус определяется соотношением площади сечения ($S_{o.n.}$) очистного пространства к его периметру ($P_{o.n.}$), то есть:

$$HR = \frac{S_{o.n.}}{P_{o.n.}}, \text{ м.} \quad (9)$$

$$S_{o.n.} = 0,5 \times 20 (4,4 + 16) = 164,4 \times 4 = 657,6 \text{ м}^2. \quad (10)$$

$$P_{o.n.} = 2 \times (4,4 + 20) = 28,8 \text{ м.} \quad (11)$$

Таким образом, для одной ромбовидной секции:

$$HR = \frac{657,6}{28,8} = 22,8, \text{ м.} \quad (12)$$

Как видно из рисунка 6, очистное пространство в условиях месторождения «Плато Расвумчорр» находится в обрушаемом состоянии, что должно обеспечить эффективность применения системы разработки подэтажного принудительного обрушения.

Заключение

Использование классификации профессора Д. Лобшира показало склонность к обрушаемости пород для условий месторождения «Плато Расвумчорр» (3-й класс – средняя обрушаемость).

Обоснование эффективного применения системы разработки подэтажного принудительного обрушения требует комплексного учета основных горно-геологических факторов и корректный расчет достаточной площади подреза для обеспечения плавного протекания процесса обрушения вышележащего массива с образованием полости для высвобождения горной массы, при этом увеличение отрезных секций будет способствовать развитию процесса обрушения.

Одним из направлений дальнейших исследований автора является учет действующих на месторождении напряжений и скоростей их изменения, которые влияют на развитие деформаций, особенно при интенсификации ведения очистных работ. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. *Jacubec, J.* The MRMR rock mass rating classification system in mining practice / J. Jacubec, D. H. Laubscher. - Brisbane, 2000. - P. 413-421.
2. *Laubscher, D. H.* The MRMR Rock Mass Classification for jointed rock masses. Foundations for Design / D. H. Laubscher, J. Jacubec. - Brisbane, 2000. - P. 475-481.
3. Кузьмин, Е. В. Рейтинговые классификации массивов скальных пород: предпосылки создания, развитие и область применения / Е. В. Кузьмин, А. Р. Узбекова // ГИАБ. - 2004. - № 4. - С. 201-202.
4. Кузьмин, Е. В. Рейтинговые классификации массивов горных пород и их практическое применение / Е. В. Кузьмин, А. Р. Узбекова // ГИАБ. - 2005. - № 5. - С. 181-185.
5. Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам (Хибинские апатит-нефелиновые месторождения) / КФ АО «Апатит». - Апатиты-Кировск, 2021. - 96 с.
6. Отчёт о результатах выполненных работ по объекту «АО «Апатит»: месторождение «Плато Расвумчорр». Изучение геолого-структурного строения и инженерно-геологических условий массива горных пород в разрезах 21-12В" / АО «Апатит», АО «МГРЭ». - Апатиты, 2016. - 181 с.
7. Суханова, А. А. Определение рейтинга массива горных пород по геомеханической классификации MRMR для условий месторождения Жолымбет / А. А. Суханова, Г.Т. Камбетова // Молодой ученый. - 2020. - № 14. - С. 130-133.
8. Губинский, Н. О. Определение рейтинга массива горных пород по геомеханической классификации Д. Лобшира для условий алмазного месторождения / Н. О. Губинский // Вестник МГТУ. - 2009. - Т. 12, № 4. - С. 694-701.
9. Кузьмин, Е. В. Опыт использования геомеханических классификаций в зарубежной практике / Е. В. Кузьмин, А. Р. Узбекова // ГИАБ. - 2003. - С. 94-95.
10. *Aksoy, C. O.* Review of rock mass rating classification: historical developments, applications, and restrictions / C. O. Aksoy // Journal of Mining Science. - 2008. - Vol. 44, № 1. - P. 51-63.
11. *Hoek, E.* Rock Slope Engineering / E. Hoek, J. W. Bray. - 3rd ed. - London: Institution of Mining and Metallurgy, 1981. - 358 p.
12. *Brady B.* Rock Mechanics for Underground mining / B. Brady, E. Brown. - 3rd ed. - Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2004. - 688 p.
13. Казак, О. О. Обоснование принципов районирования (классификации) породных массивов по трудности их разработки / О. О. Казак, О. Г. Латышев // Известия УГТУ. - 2022. - Вып. 1 (65). - С. 81-85.
14. *Laubscher, D. H.* Geomechanics classification of jointed rock masses - mining applications / D. H. Laubscher // Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A, Mining industry. - London. 1977. - P. 1-8.
15. *Laubscher, D. H.* A geomechanics classification system for rating of rock mass in mine design / D. H. Laubscher // Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. - 1990. - Vol. 90, № 10. - P. 257-273.
16. *Laubscher, D. H.* Cave mining - the state of art / D. H. Laubscher // Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. - 1994. - 94(10). - P. 279-293.
17. *Palmström, A.* On classification systems / A. Palmström // Proceedings of Workshop on Reliability of Classification Systems a Part of the International Conference «GeoEng-2000». - Melbourne, 2000. - P. 1-4.
18. *Deere, D. U.* The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice / D. U. Deere, D. W. Deere // Rock Classification Systems for Engineering Purposes, ASTM STP 984, Louis Kirkaldie, Ed., American Society for Testing and Materials. - Philadelphia, 1988. - P. 91-101.

REFERENCES

1. Jucubec J, Laubscher DH. The MRMR rock mass rating classification system in mining practice. Brisbane; 2000.
2. Laubscher DH, Jucubec J. The MRMR Rock Mass Classification for jointed rock masses. Foundations for Design. Brisbane; 2000.
3. Kuzmin EV, Uzbekova AR. Rating classifications of rock massifs: prerequisites for creation, development and field of application. *GIAB*. 2004;4:201-202 (In Russ.).
4. Kuzmin EV, Uzbekova AR. Rating classifications of rock massifs and their practical use. *GIAB*. 2005;5:181-185 (In Russ.).
5. Kirovsk branch of «Apatit». Instructions on the safe conduct of mining operations in deposits prone and dangerous to rock bursts (Khibiny apatite-nepheline deposits). Apatity-Kirovsk; 2021 (In Russ.).
6. JSC «Apatit», JSC «MGRE». Report on the results of work performed on the object «JSC «Apatit»: Plato Rasvumchorr deposit. Study of the geological and structural structure and engineering-geological conditions of the rock mass in sections 21-12B. Apatity; 2016 (In Russ.).
7. Sukhanova AA, Kambetova GT. Determination of the rating of the rock mass according to the geomechanical classification MRMR for the conditions of the Zholymbet deposit. *Young Scientist*. 2020;14:130-133 (In Russ.).
8. Gubinskiy NO. Determination of the rating of the rock mass according to the geomechanical classification of D. Laubscher for the conditions of the diamond deposit. *Bulletin of MSTU*. 2009;12(4): 694-701 (In Russ.).
9. Kuzmin EV, Uzbekova AR. The experience of using geomechanical classifications in foreign practice. *GIAB*. 2003. 94-95. (In Russ.).
10. Aksoy CO. Review of rock mass rating classification: historical developments, applications, and restrictions. *Journal of Mining Science*. 2008;44(1):51-63.
11. Hoek E, Bray JW. Rock Slope Engineering. 3rd ed. London: Institution of Mining and Metallurgy, 1981.
12. Brady B, Brown E. Rock Mechanics for Underground mining. 3rd ed. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2004.
13. Kazak OO, Latyshev OG. Substantiation of the principles of zoning (classification) of rock massifs according to the difficulty of their development. *News of the UGSU*. 2022;1(65):81-85. (In Russ.).
14. Laubscher DH. Geomechanics classification of jointed rock masses - mining applications. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A, Mining industry. London. 1977.
15. Laubscher DH. A geomechanics classification system for rating of rock mass in mine design. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. 1990;90(10):257-273.
16. Laubscher DH. Cave mining - the state of art. *Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*. 1994;94(10):279-293.
17. Palmström A. On classification systems. *Proceedings of Workshop on Reliability of Classification Systems a Part of the International Conference «GeoEng-2000»*. Melbourne; 2000.
18. Deere DU, Deere DW. The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice, Rock Classification Systems for Engineering Purposes, ASTM STP 984, Louis Kirkaldie, Ed., American Society for Testing and Materials. Philadelphia; 1988.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Яковлев Никита Михайлович:

аспирант,

Горный институт Кольского научного центра РАН,

Мурманская обл., г. Апатиты, Россия.

e-mail: NYakovlev@phosagro.ru,

ORCID ID 0009-0008-7264-6616,

SPIN-код 7230-0787.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yakovlev Nikita:

postgraduate,

Mining Institute of the Kola Scientific Center of the RAS,

Murmansk region, Apatity, Russia.

e-mail: NYakovlev@phosagro.ru,

ORCID ID 0009-0008-7264-6616,

SPIN-code 7230-0787



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Санкт-Петербургский горный университет. Основан в 1773 году.
Первое высшее техническое учебное заведение в России.

Факультеты:

- ◆ Геологоразведочный факультет,
- ◆ Горный факультет,
- ◆ Механико-машиностроительный факультет,
- ◆ Нефтегазовый факультет,
- ◆ Строительный факультет,
- ◆ Факультет переработки минерального сырья,
- ◆ Факультет фундаментальных и гуманитарных дисциплин,
- ◆ Экономический факультет,
- ◆ Энергетический факультет,
- ◆ Факультет аспирантуры и докторантуры.

Контакты : Санкт-Петербург, В.О., наб. Лейтенанта Шмидта, д. 45, Главный пост.
Тел.: 800 550 14 34; (812) 328 8201; (812) 328 89 02 e-mail: priem@mgri.ru, <https://www.mgri.ru/commission/poryadok-postupleniya/>

WWW.N-GN.RU

