ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020;(5):115-127
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.272.622.831 DOI: 10.25018/0236-1493-2020-5-0-115-127

ОЦЕНКА СТРУКТУРНОЙ НАРУШЕННОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПО РЕЙТИНГОВЫМ КЛАССИФИКАЦИЯМ ДЛЯ РУДНИКОВ ЗАРМИТАНСКОЙ ЗОЛОТОРУДНОЙ ЗОНЫ

Б.Р. Раимжанов[1], А.Р. Хасанов[1]

[1] ГУП Узбекский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт геотехнологии и цветной металлургии «УзГЕОРАНГМЕТЛИТИ» при Государственном комитете Республики Узбекистан по геологии и минеральным ресурсам, Ташкент, Узбекистан, e-mail: info@georang.uz

Аннотация: Приведена апробация часто используемых за рубежом рейтинговых классификаций применительно к геологическим условиям рудных месторождений Зармитанской золоторудной зоны. Оценка структурной нарушенности массива горных пород по классификациям З. Бенявского (Rock Mass Rating — RMR), Н. Бартона (Method for Estimating Rock Mass Quality — Q) и классификации пород А. Пальстрема (Rock Mass index — RMi) произведена по геологическим материалам, отчетам по разведке месторождений Зармитанской золоторудной зоны для основной литологической разности пород — граносиенитам. Приводятся результаты оценки прочностных показателей граносиенитов в естественном и в водонасыщенном состояниях, структурной нарушенности массива при слаботрещиноватых, среднетрещиноватых и сильнотрещиноватых породах, при умеренном напряженном состоянии массива. Оценка производилась при напряжении в массиве значительно ниже предела прочности породы на сжатие в естественном состоянии образцов породы и при водонасыщенном состоянии, приводится период устойчивого стояния при различных пролетах выработок. Оценено влияние геологического индекса прочности (Geological Strength Index — GSI) на результаты моделирования напряженно-деформированного состояния породного массива на контуре горной выработки, что позволяет проектировать выработки с достаточно достоверным критерием прочности горных пород по Хоку-Брауну. Оценка состояния породного массива произведена для основных применяемых в практической работе рудников сечений горно-капитальных и подготовительных выработок, полученная информация использована для выбора параметров набрызг-бетонного и анкерного крепления.

Ключевые слова: массив, горная порода, рейтинговая классификация, структурная нарушенность, прочность, напряженно-деформированное состояние, пролет, выработка, крепление.

Для цитирования: *Раимжанов Б.Р., Хасанов А.Р.* Оценка структурной нарушенности массива горных пород по рейтинговым классификациям для рудников Зармитанской золоторудной зоны // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 5. – С. 115–127. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-5-0-115-127.

© Б.Р. Раимжанов, А.Р. Хасанов. 2020.

Ratings of structural rock mass quality for Zarmitan gold mines

B.R. Raimjanov[1], A.R. Khasanov[1]

[1] State Unitary Enterprise Uzbek Research and Design Institute of Geotechnology and Non-Ferrous Metallurgy «UzGEORANGMETLITI» under the State Committee of the Republic of Uzbekistan on Geology and Mineral Resources, Republic of Uzbekistan, Tashkent, e-mail: info@georang.uz

Abstract: Popular foreign ratings of rock mass quality are tested in terms of the geological conditions of Zarmitan gold ore zone. The structural quality of rock mass is assessed using the approaches by Bieniawski (Rock Mass Rating—RMR), Barton (Method for Estimating Rock Mass Quality—Q-System) and Palmström (Rock Mass index—RMi) based on the geological and exploration reports obtained in Zarmitan gold ore zone for the main type of rocks—granosyenite. The strength estimates are presented for granosyenite in natural and water-saturated conditions; the structural quality is assessed in weakly, moderate and heavily fractured rock mass under moderate stresses. The estimation was carried out under rock mass stress state much lower than the ultimate compressive strength in natural condition of rock samples and in case of their water saturation; the stability periods of underground excavations are presented for different lengths of spans. The influence of the Geological Strength Index (GSI) on the stress–strain behavior of adjacent rocks of an underground opening is estimated, which allows designing openings at a sufficient strength criterion by Hoek–Brown. The rock mass quality was assessed for the major actual cross-section of permanent openings and development headings; the obtained information was used for support design with shotcreting and rock bolting.

Key words: rock mass, rock, rating, structural quality, strength, stress–strain behavior, span, underground opening, support.

For citation: Raimjanov B. R., Khasanov A. R. Ratings of structural rock mass quality for Zarmitan gold mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(5):115-127. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-5-0-115-127.

Введение

Проведение комплекса исследований на этапах проектирования, строительства, в период эксплуатации в целях технического обслуживания подземных рудников заключается в необходимости сбора сведений о свойствах массива горных пород, их группировке и систематизации, наличии достаточной информации и основы для планирования, выбора способов проведения выработок различного назначения, применяемой горнопроходческой и добычной техники, видов крепления и способов охраны подземных сооружений.

Особая актуальность вопроса связана с постоянным требованием увеличения темпов проходки выработок и добычи полезного ископаемого, разнообразием парка применяемого оборудования, зарубежного программного обеспечения, привлечением зарубежных инвестиций, технологий и специалистов на различных стадиях проектирования, строительства, а также для решения отдельных проблемных эксплуатационных вопросов производства. Это в свою очередь требует адаптировать применяемые методики расчетов и методов обработки исходной информации к общепринятым западным.

Целью является апробация зарубежных рейтинговых классификаций рудных, породных массивов, для оценки

структурной нарушенности массива горных пород, показателей устойчивости, выбора типов крепления и способов охраны подземных сооружений в условиях месторождений Зармитанской золоторудной зоны.

В формировании структуры месторождения решающая роль принадлежит разрывной тектонике. Караулхана-Чармитанская зона разломов наиболее древняя и долгоживущая система, по которой в разные периоды происходили значительные и, возможно, разнонаправленные перемещения блоков пород, преимущественно восходящие восходящих [1].

Западная и центральная части массива Зармитанской золоторудной зоны сложены граносиенитами, а юго-восточная часть — терригенными породами, — в основном это кварцево-слюдистые сланцы, местами ороговиковые.

Следующими по значению системами разрывов являются разломы северо-восточного — восточно-северо-западного простирания и субвертикального падения, а также рудовмещающие разрывы западно-северо-западного простирания с крутым северным падением.

Основные перемещения блоков пород происходили по разломам восточного — северо-западного простирания. В дорудное время центральный блок месторождения, заключенный между Центральным и Каратепинским разломами, испытывал поднятие и одновременное сдвижение к северу, при этом максимальные амплитуды относились к блоку между Центральным и Промежуточным разломами.

Из прочих разрывных структур на месторождении фиксируются субмеридиональные нарушения с субвертикальным падением Контактовый, Ксенолитовый и Пологий, а также пологие разломы с азимутом падения 50 — 60° и 30 — 60° СВ. Это также сколовые разрывы протяженностью до первых сотен метров и мощностью не более 10 м, амплитуды смещений по ним не превышает превышают первых десятков метров. Вышеперечисленные разломы залечены безрудным кварцем или будинированы при последующих подвижках и являются пострудными образованиями. На верхних горизонтах эти разломы имеют одношовную структуру, и горные работы в их зонах не вызывают каких-либо значимых трудностей. С увеличением глубины разработок эти разломы приобретают многошовную структуру с развитием мелкоблочной трещиноватости, что осложняет ведение горных работ в зонах этих разломов.

Основные элементы структуры послерудного этапа тектонической деятельности предопределили в пределах рудного поля развитие трех видов мелкоблочной трещиноватости: крутопадающих систем трещин с направлением, совпадающим с простиранием рудных тел, крутопадающих систем трещин с направлением, перпендикулярным простиранию рудных тел, а также пологих трещин с невыдержанными элементами залегания, представляющих собой систему неровных поверхностей.

На месторождении выделяются три типа участков по степени трещиноватости:

- слабо трещиноватые при модуле трещиноватости 1,4 — 1,6 тр/м, среднее расстояние между видимыми трещинами различных систем 0,5 — 1,5 м, объем блоков породы, отделяемый пересекающими трещинами, 0,1 — 3,0 м^3;
- средне трещиноватые, при модуле трещиноватости 2,0 — 6,0 тр/м, среднее расстояние между видимыми трещинами различных систем 0,25 — 0,5 м, трещины разбивают массив на блоки объемом 0,02 — 0,1 м^3;
- сильно трещиноватые при модуле трещиноватости более 6,0 тр/м, расстоя-

ние между трещинами 0,10 — 0,25 м, объем блоков 0,001 — 0,02 м^3.

Вмещающие породы и руды в основном слабо трещиноватые и сильно трещиноватые, причем сильно трещиноватые породы встречаются на участках, прилегающих к разломам.

Наиболее опасными при добыче руды системами с открытым очистным пространством, с точки зрения устойчивости пород, являются породные кососекущие трещины, согласные с направлением рудных тел [2]. При очистной выемке эти трещины вскрываются по всей длине очистного забоя. Взрывные работы способствуют образованию вторичной трещиноватости. Породы висячего и лежачего боков расслаиваются, образовавшиеся слои под действием собственной массы и давления разделяются на блоки параллельными очистному забою трещинами, по которым происходят обрезы и ступенчатое опускание пород в выработанное пространство.

По степени устойчивости, зависящей от физико-механических свойств, трещиноватости и тектонической нарушенности, вмещающие породы на месторождениях выделены в четыре группы пород [3]:

- устойчивые, это участки рудных тел мощностью 0,7 — 2,0 м, расположенные вне зон влияния разломов в слаботрещиноватых породах;
- средней устойчивости, в них рудные тела залегают в граносиенитах средней трещиноватости, тектонические нарушения имеют выдержанные элементы залегания, совпадающие с рудными телами, отслоения наблюдаются в зонах повышенного рассланцевания пород;
- неустойчивые, в которых тектонические плоскости скольжения располагаются как в плоскости рудного тела, так и в непосредственной близости от него со стороны висячего бока, горные породы между рудным телом и нарушениями обычно раздроблены;
- весьма неустойчивые, в них рудное тело расположено в зоне мощного тектонического нарушения, где вмещающие породы и само рудное тело представлены мелкораздробленным сыпучим материалом.

Зармитанская золоторудная зона находится в тектонически активном районе Западного Узбекистана. Действующие напряжения в массиве значительно превышают статические от действия гравитационных сил. По свойствам горных пород месторождений и уровню действующих напряжений в горном массиве участки месторождений склонны к проявлению горного давления в динамической форме. Практикой эксплуатации рудников Зармитанской золоторудной зоны и исследованиями свойств руд и пород установлена их склонность к хрупкому разрушению при их нагружении, способность накапливать потенциальную энергию при деформировании.

Оценка производилась для основной литологической разности пород, слагающих месторождение — граносиенитов Кошрабадского интрузива по керновым пробам, отобранным в период разведочных работ. Основные показатели прочности и деформационные свойства пород приведены в табл. 1 [1, 3].

Оценка структурной нарушенности массива пород произведена по рейтинговым методикам Бенявского (RMR), Бартона (Q) и классификации пород Пальстрема (RMi) на основании геологических материалов по разведке нижних горизонтов месторождений Зармитанской золоторудной зоны, основные исходные параметры и формулы приведены в табл. 2, результаты расчетов сведены в табл. 3 [4 — 8].

Исследуемый массив был сгруппирован на по показатели показателям со-

Таблица 1

Экстремальные и средние значения основных показателей прочностных и деформационных свойств пород месторождения
Extreme and average values of the main indicators of the strength and deformation properties of the rocks of the field

Показатель		Граниты	Грано-сиениты	Сиениты	Сланцы кварцево-слюдистые	Сланцы углисто-глинистые	Породы из рудных зон
Предел прочности, МПа	при растяжении	3,0–14,7 8,6	4,9–16,0 9,4	3,7–14,3 9,2	4,3–16,4 8,6	4,1–13,6 7,5	2,6–8,3 5,8
	при сжатии в естественном состоянии	41,4–154,2 83,6	39,6–150,8 86,3	40,0–147,5 83,5	32,6–152,6 76,1	28,8–108,3 69,8	23,4–89,7 63,3
	при сжатии при водонасыщении	36,1–134,6 68,4	32,9–131,2 69,3	36,9–122,2 67,2	29,7–134,3 61,7	27,7–95,3 59,8	16,9–74,4 60,4
Коэффициент крепости по Протодьяконову		5,8–15,4 8,6	5,6–16,1 9,4	5,2–14,3 11,7	5,7–18,8 10,3	3,6–10,8 8,1	4,8–12,2 7,7
Сила сцепления, МПа		10,6–27,8 17,3	13,2–26,1 16,8	11,3–24,2 16,4	9,7–19,2 17,1	8,4–16,7 13,5	6,6–17,2 12,8
Угол внутреннего трения, град		32–55 38	34–59 41	36–51 39	31–50 37	29–44 35	26–50 33
Динамический модуль упругости, ГПа		21,4–53,2 32,0	15,3–45,0 25,4	12,3–31,8 21,7	13,6–24,3 19,2	13,7–26,8 17,3	8,7–21,5 15,3

Примечание: таблица содержит результаты изучения прочностных и деформационных свойств литологических типов пород, полученные по лабораторным испытаниям отобранных монолитов в подземных горных выработках и по керну геологоразведочных скважин, в числителе — минимальные и максимальные, в знаменателе — средние значения.

гласно исходным геологическим материалам по месторождению:

• Прочностные показатели граносиенитов:
– в естественном состоянии;
– в водонасыщенном состоянии.
• Трещиноватость пород:
– слабо трещиноватые породы;
– средне трещиноватые породы;
– сильно трещиноватые породы.
• Напряженное состояние массива:
– умеренное напряженное состояние массива;
– высокое напряженное состояние массива.

Результаты произведенной оценки состояния массива горных пород, произведенной для основных применяемых в практической работе рудников сечений горно-капитальных и подготовительных выработок, приведены в табл. 3.

При выборе способа крепления выработок в соответствии с табл. 4 принят ESR = 1, как для выработок, служащих весь период работы рудника.

Тип крепления и шаг установки, длина анкеров определялся по графику на рис. 1 [9 — 11].

Основные горно-капитальные выработки находятся в массиве, характеризуемом, как весьма и очень хорошим, не требующим крепления. Однако, учитывая склонность пород к выветриванию и возможность заколообразования на контуре выработки, рекомендовано в качестве основного крепления выработ-

Таблица 2

Исходные параметры для систем классификаций Q, RMR и RMi
Initial parameters for Q, RMR and RMi classification systems

Параметр			Применение				
			в системе Q	в методике крепления RMi		в системе RMR	
1	Прочность породы	–	–	σ_c	Прочность на одноосное сжатие	A1	Прочность на одноосное сжатие
2	Степень трещиноватости	RQD	Обозначение качества породы	Vb	Размер блока	A2	RQD
						A3	Расстояние между трещинами
	Системы трещин	Jn	Количество систем трещин	Nj	Коэффициент трещиноватости	–	–
	Характеристика трещин	Jr	Шероховатость трещин	jR	Коэф-т плавности и волнистости трещин	A4	Шероховатость трещин
	Покрытие трещин или заполнитель	Ja	Изменчивость трещин	jA	Коэффициент состояния трещин (заполнение)		Заполнение трещин
							Выветрелость трещин
	Размер трещин	–		jL	Длина трещин и фактор изменчивости		Длина трещин
	Раскрытие трещин	–	(учитывается в Ja)	–	(учитывается в jA)		Раскрытие трещин
	Ориентация трещин	–		Co	Фактор ориентации трещин	A5	Ориентация трещин
3	Грунтовая вода	Jw	Водоприток	GW	Влияние подземных вод	A6	Подземные воды, водоприток
4	Напряжение в породном массиве	SFR	Фактор изменения напряжений	SL	Фактор степени напряженности	–	–
5	Размеры выработок	Dt	Пролет	Dt	Пролет или диаметр	–	–
		Wt	Высота стенки	Wt	Высота стенки	–	–
		ESR	Фактор срока службы и назначения выработки	–	–	–	–
6	Прочность горной массы на сжатие (приблизительная)	–		RMi=0,2 σ_c ×JC0,5 × VbD или RMi = 0,5 σ_c (для породного массива)		–	
	Качество массива	–		Cg = RMi / σ_c		RMR = A1 + A2 + A3 + + A4 + A5 + A6	
7	Качество породы (в кровле)	Q = RQD/Jn×Jr/Ja× ×Jw/SRF		Gc = RMi × SL × GW			
	Качество породы (в стенках)	Q стенка = Q × K		Gc стенка = RMi×SL×GW×C			
8	Коэффициент или соотношение размеров	De = пролет или высота стенки/ESR		Sr кровля = = (Dt/Vb1/3)×(Co/Nj)			
				Sr стенка = = (Wt/Vb1/3)×(Co/Nj)			

K = регулировка значени. Q стенка, изменяется в зависимости от значения Q; C = коэффициент регулировки для стенок (и для всех наклонных выработок) в системе RMi; D = 0.37 jC — 0.2 jC = jR x jL / jA

Таблица 3

Результаты оценки состояния массива горных пород для основных выработок
The results of assessing the state of the rock mass for the main workings

Наименование выработки	Параметры выработки	Условные обозначения	Трещиноватость / Состояние массива		
			сильная	средняя	слабая
НТС-1-3	16,0 м^2 Пролет — 4000 мм Стенка — 2940 мм Свод — 1330 мм	$Q_{кр}$			35,6
		$Q_{ст}$			177,8
		RMR			55
		RMi			30
		$Sr_{кр}$			2,2
		$Sr_{ст}$			1,6
		$Gc_{кр}$			29,8
		$Gc_{ст}$			148,9
Квершлаг	13,6 м^2 Пролет — 4000 мм Стенка — 2350 мм Свод — 1350 мм	$Q_{кровли}$	12,2	19,3	
		$Q_{стенки}$	61,1	96,3	
		RMR	51	53	
		RMi	6,3	17,6	
		$Sr_{кр}$	11,5	4,9	
		$Sr_{ст}$	6,8	2,9	
		$Gc_{кр}$	6,3	17,6	
		$Gc_{ст}$	31,4	87,8	
Полевой штрек	13,6 м^2 Пролет — 4000 мм Стенка — 2350 мм Свод — 1350 мм	$Q_{кр}$	12,2	19,3	
		$Q_{ст}$	61,1	96,3	
		RMR	46,0	48,0	
		RMi	6,3	17,6	
		$Sr_{кр}$	15,4	13,6	
		$Sr_{ст}$	6,8	6,0	
		$Gc_{кр}$	6,3	17,6	
		$Gc_{ст}$	31,4	87,8	
Рудный штрек	6,3 м^2 Пролет — 2500 мм Стенка — 1850 мм Свод — 633 мм	$Q_{кр}$	12,2	19,3	
		$Q_{ст}$	61,1	96,3	
		RMR	46,0	48,0	
		RMi	6,3	17,6	
		$Sr_{кр}$	9,6	4,1	
		$Sr_{ст}$	5,3	2,3	
		$Gc_{кр}$	6,3	17,6	
		$Gc_{ст}$	31,4	87,8	

Примечание: $Sr_{кр}$, $Sr_{ст}$ — соотношение размеров, отношение ширины выработки к размеру блока применяется для определения количества анкеров по кровле и в стенках; $Gc_{кр}$, $Gc_{ст}$ — фактор состояния горных пород, то есть качество породы по кровле и в стенках.

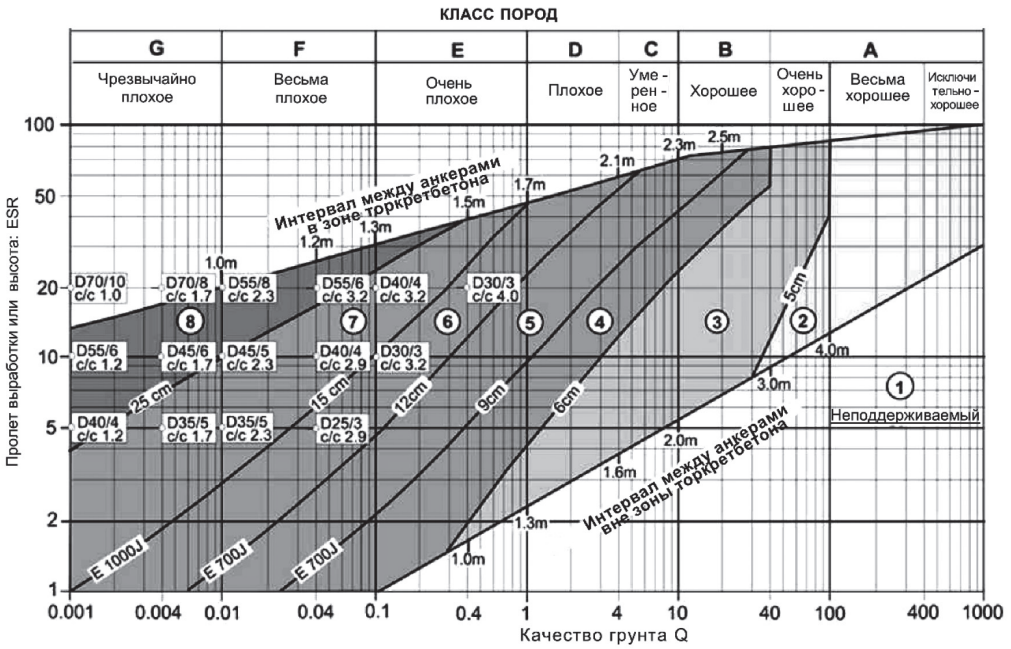

Рис. 1. График крепления по системе Q
Fig. 1. RQD Mounting Schedule

ток применение набрызг-бетона толщиной 30 — 50 мм с обязательным креплением сопряжений анкерной крепью [9].

При оценке структурной нарушенности массива по критериям RMi выбор способа крепления выработок производился по графику, приведенному на рис. 2, в зависимости от соотношения размеров выработки и элементарного блока, а также определенного фактора состояния массива. В соответствии с этим графиком рассматриваемые параметры выработок находятся в области, где рекомендуются следующие типы крепления: набрызг-бетон толщиной до 40 мм с точечными анкерами в местах ослабления и на сопряжениях или анкерная крепь в трещиноватых породах по сетке 2,0×2,0 м в кровле и боках выработки, в местах ослабления усиленная набрызг-бетоном.

Параметры проходки и тип крепления горно-капитальных и подготовительных выработок выбраны в соот-

Таблица 4

Категория выработок ESR в соответствии с их назначением и продолжительностью срока службы в дополнение к графику крепления по системе — Q на рис. 1
Category of ESR workings, in accordance with the purpose and duration of the service life, addition to the system — Q, fixing schedule

Категория выработок	ESR
Временные горные выработки	2 — 5
Постоянные горные выработки	1,6
Камеры околоствольных дворов и склады	1,2 — 1,3
Камеры на весь период работы рудника	1,0

Таблица 5

Руководящие принципы для проведения и крепления горно-капитальных и подготовительных выработок в соответствии с системой RMR
Guidelines for holding and securing mining and development work in accordance with the RMR system

Класс скальных массивов	Среднее время устойчивости	Проходка	Анкерное крепление	Набрызг-бетон	Стальные комплекты
Для проведения и крепления горно-капитальных выработок до 5,0 метровых пролетов					
I — Весьма устойчивый RMR: 81—100	не менее 20 лет	Сплошным забоем, заходка до 3 м	Обычно без крепления, возможно единичное анкерное крепление		
II — устойчивый RMR: 61—80	не менее 1 года	Сплошным забоем заходками до 2,0 м. Крепление в 20 м от забоя	Анкера в своде длиной 2 м, через 2,5 м, на сопряжениях с сеткой	Толщиной 30—50 мм в кровле, где необходимо	Стальные комплекты среднего типа с разбежкой 1,5 м с затяжкой. По необходимости
Для проведения и крепления горно-капитальных и подготовительных выработок до 4,0 метровых пролетов					
II — устойчивый RMR: 61—80	не менее 1 года	Сплошным забоем заходками до 2,0 м. Постоянное крепление в 20 м от забоя	Локальные анкера в своде длиной 2 м, через 2,5 м, на сопряжениях с сеткой	Толщиной 30—50 мм в кровле, где необходимо	Стальные комплекты среднего типа с разбежкой 1,5 м с затяжкой. По необходимости
III — среднеустойчивый RMR: 41—60	1 неделя	Сплошным забоем заходками до 2,0 м. Временное крепление после взрыва. Постоянное крепление в 10 м от забоя	Регулярное анкерное крепление длиной 2,0 м по сетке 0,8х0,8 м в кровле и бортах, со стальной сеткой в кровле	50—100 мм в кровле и 50 мм в бортах	Стальные комплексы среднего типа устанавливаются с разбежкой 1,5 м с затяжкой. По необходимости
Для проведения и крепления подготовительных выработок до 3,0 метровых пролетов					
III — среднеустойчивый RMR: 41—60	1 неделя	Сплошным забоем заходками до 2,0 м. Постоянное крепление в 10 м от забоя	Регулярное анкерное крепление длиной 2,0 м по сетке 0,8х0,8 м в кровле и бортах, со стальной сеткой в кровле	50—100 мм в кровле и 50 мм в бортах	Стальные комплекты среднего типа с разбежкой 1,5 м с затяжкой. По необходимости
IV — неустойчивый RMR: 21—40	10 ч	Сплошным забоем, заходками до 2,0 м. Постоянное крепление после взрыва. Отставание крепи от груди забоя не более 2,0 м			Стальные комплекты среднего типа устанавливаются с разбежкой 1,5 м с затяжкой

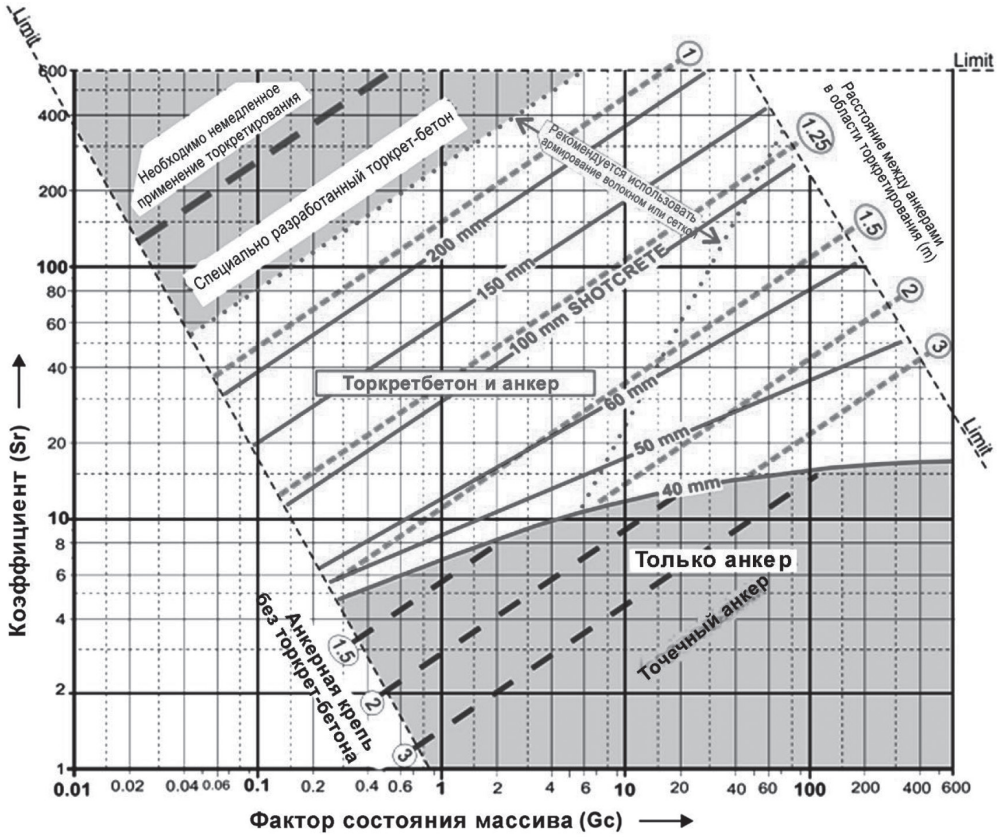

Рис. 2. График крепления по RMi для трещиноватых пород и в зонах ослабления
Fig. 2. RMi rock fastening schedule for fractured rocks and for these ones in weak zones

ветствии с руководящими принципами при системе RMR и приведены в табл. 5 [12 — 15].

Определенные по графикам типы и параметры крепления используются на стадии проектирования технологии проходки и должны уточняться после проведения оценки напряженного состояния на контуре выработки.

Выводы

По результатам произведенной оценки структурной нарушенности массива пород установлено:

• при умеренном напряженном состоянии массива и естественном состоянии образцов породы показатель устойчивости породного массива по RMR находится в пределах от 55 до 46, что характеризует породный массив как среднеустойчивый со средним временем устойчивого стояния 1 неделя при пролете выработки до 5 м;

• при том же напряженном состоянии массива пород, но в водонасыщенном состоянии, RMR находится в пределах от 52 до 45, породный массив среднеустойчивый со средним временем устойчивого стояния — 1 неделя при пролете выработки до 5 м.

По показателям *Q* геомеханической классификации Бартона определялась устойчивость обнажений в кровле и стенках выработок для основных типов трещиноватости пород в зависимости от ширины пролета выработки и высоты стенки.

Показатель $Q_{кр}$ устойчивости в породных обнажениях по кровле выработок составил от 35,6 до 12,2 в зависимости от ширины выработки, что соответствует хорошему состоянию обнажения кровли.

Показатель $Q_{ст}$ устойчивости обнажения в боках выработки от 177,8 до 61,1, что соответствует очень хорошему состоянию бортов выработок.

По классификации Пальстрема RMi геологический индекс качества породного массива при слабо и средне трещиноватых породах составил от 30 до 17,6, что соответствует высокому качеству массива. При сильнотрещиноватых породах индекс качества массива составил 6,3, что соответствует умеренному качеству массива. Кроме того, в классификации получены дополнительные данные, необходимые для выбора параметров набрызгбетонного и анкерного крепления. Определенный фактор состояния массива для слабо и средне трещиноватых пород Gc характеризует состояние массива в кровле как хорошее, в стенке — очень хорошее; для сильнотрещиноватых пород состояние массива — среднее, в бортах выработки — хорошее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Отчет* о результатах поисковой оценки глубоких горизонтов Чармитанского месторождения золота за 1990—1998 гг. ГГП «Самаркандгеология», Зармитанская Геолого-разведывательная партия. 1998.

2. *Раимжанов Б. Р.*, *Мухитдинов А. Т.*, *Хасанов А. Р.* Исследование напряженно-деформированного состояния массива горных пород месторождения Чармитан, влияющие на выбор технологии отработки запасов нижних горизонтов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 5. — С. 282—292.

3. *Арипова Ф. М.*, *Мирасланов М. М.*, *Закиров М. М. и др*. Физико-механические свойства горных пород месторождений Узбекистана. Справочник. — Ташкент: Гидроингео, 2006. — 224 с.

4. *Кузьмин Е. В.*, *Святецкий В. С.*, *Стародумов А. В. и др*. Определение параметров геомеханического состояния породного массива на контурах выемочных камер // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 12. — С. 177—186.

5. *Макаров А. Б. и др.* Оценка природного напряженного состояния массива на руднике «Жаман-Айбат» // Горный журнал. — 2005. — № 9—10. — С. 49—52.

6. *Palmström A., Broch E.* The design of unlined hydropower tunnels and shafts: 100 years of Norwegian experience // International Journal on Hydropower and Dams. 2017. Issue 3.

7. *Будник Д. Р.* Рейтинговые классификации массивов горных пород и их практическое применение / Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: Сборник докладов. — Екатеринбург, 2017. — С. 249—257.

8. *Кузьмин Е. В.*, *Узбекова А. Р.* Рейтинговые классификации массивов горных пород и их практическое применение // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2005. — № 5. — С. 181—185.

9. *Трофимов А. В.*, *Румянцев А. Е.*, *Андреев А. А.* Применение методов прочностного анализа для обоснования технических средств обеспечения устойчивости горных выработок при отработке рудных месторождений подземным способом / Безопасность труда и эффективность производства горнодобывающих предприятий с подземным способом разработки: сборник научных статей. — Екатеринбург, 2016. — С. 85—93.

10. *Palmström A.* Classification systems and use of geological data / 12 Iranian Tunnelling and 3 Regional Conference «Tunnels and Climate Change», 27-29 Nov. 2017. 32 p.

11. *Zheng Z., Xu Y., Li D., Dong J.* Numerical analysis and experimental study of hard roofs in fully mechanized mining faces under sleeve fracturing // Minerals. 2015, No. 5, pp. 758 — 777.

12. *Макаров А. Б.* Практическая геомеханика. Пособие для горных инженеров. — М.: Изд-во «Горная книга», 2006. — 391 с.

13. *Hongkai Dong, Fei Ye, Wenxi Fu* Stability reliability of a cutting slope in Laohuzui Hydropower Station in Tibet of China // Geomatics, Natural Hazards and Risk, 2019. Vol. 10, No 1, pp. 935 — 957. DOI: 10.1080/19475705.2018.1554604.

14. *Селиванова А. В.* Опыт применения рейтинговой классификации GSI для определения прочностных характеристик массивов флиша северо-западного Кавказа / X Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: сборник научных трудов. — Пермь, 2017. — С. 158 — 159.

15. *Танков М. С., Иванчин Е. А.* Применение геомеханической классификации устойчивости массива при выборе крепи выработок в условиях трубки «Удачная» // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № S4-2. — С. 154–159. ГИАБ

REFERENCES

1. *Otchet o rezul'tatakh poiskovoy otsenki glubokikh gorizontov Charmitanskogo mestorozhdeniya zolota za 1990 — 1998 gg. GGP «Samarkandgeologiya»*, Zarmitanskaya Geologo-razvedyvatel'naya partiya [Report on the results of a search assessment of the deep horizons of the Charmitsky gold deposit for 1990 — 1998. GGP «Samarkandgeologiya», Zarmitan Geological and Exploration Party]. 1998.

2. Raimzhanov B. R., Mukhitdinov A. T., Khasanov A. R. Investigation of the stress-strain state of the rock mass of the Charmitan Deposit, affecting the choice of technology for mining reserves of the lower horizons. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2016, no 5, pp. 282 — 292.

3. Aripova F. M., Miraslanov M. M., Zakirov M. M. *Fiziko-mekhanicheskie svoystva gornykh porod mestorozhdeniy Uzbekistana*. Spravochnik [Physicomechanical properties of rocks in deposits of Uzbekistan. Handbook], Tashkent, Gidroingeo, 2006, 224 p.

4. Kuz'min E. V., Svyatetskiy V. S., Starodumov A. V. Determination of parameters of the geomechanical state of a rock mass on the contours of excavation chambers. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 12, pp. 177 — 186.

5. Makarov A. B. Assessment of the natural stress state of the massif at the Zhaman-Aibat mine. *Gornyi Zhurnal*. 2005, no 9 — 10, pp. 49 — 52.

6. Palmström A., Broch E. The design of unlined hydropower tunnels and shafts: 100 years of Norwegian experience. *International Journal on Hydropower and Dams*. 2017. Issue 3.

7. Budnik D. R. Rating classifications of rock massifs and their practical application. *Innovatsionnye geotekhnologii pri razrabotke rudnykh i nerudnykh mestorozhdeniy*: Sbornik dokladov [Innovative geotechnologies in the development of ore and non-ore deposits: Collection of reports], Ekaterinburg, 2017, pp. 249 — 257.

8. Kuz'min E. V., Uzbekova A. R. Rating classifications of rock massifs and their practical application. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2005, no 5, pp. 181 — 185.

9. Trofimov A. V., Rumyantsev A. E., Andreev A. A. The use of strength analysis methods to justify the technical means of ensuring the stability of mine workings when mining ore deposits underground. *Bezopasnost' truda i effektivnost' proizvodstva gornodobyvayushchikh predpriyatiy s podzemnym sposobom razrabotki: sbornik nauchnykh statey* [Security of work and production efficiency of mining enterprises with an underground mining method: Collection of scientific articles], Ekaterinburg, 2016, pp. 85 — 93.

10. Palmström A. Classification systems and use of geological data. *12 Iranian Tunnelling and 3 Regional Conference «Tunnels and Climate Change»*, 27 — 29 Nov. 2017. 32 p.

11. Zheng Z., Xu Y., Li D., Dong J. Numerical analysis and experimental study of hard roofs in fully mechanized mining faces under sleeve fracturing. *Minerals*. 2015, No. 5, pp. 758 — 777.

12. Makarov A. B. *Prakticheskaya geomekhanika*. Posobie dlya gornykh inzhenerov [Practical geomechanics. A manual for mining engineers], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2006, 391 p.

13. Hongkai Dong, Fei Ye, Wenxi Fu Stability reliability of a cutting slope in Laohuzui Hydropower Station in Tibet of China. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 2019. Vol. 10, No 1, pp. 935 — 957. DOI: 10.1080/19475705.2018.1554604.

14. Selivanova A. V. Experience in applying the GSI rating classification to determine the strength characteristics of flysch arrays of the northwestern Caucasus. *X Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh: sbornik nauchnykh trudov* [Materials of the X International Scientific and Practical Conference of students, graduate students and young scientists: Collection of scientific papers], Perm, 2017, pp. 158 — 159.

15. Tankov M. S., Ivanchin E. A. Application of the geomechanical classification of the stability of the massif when choosing lining workings in the conditions of the «Udachnaya» pipe. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no S4-2, pp. 154–159. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Раимжанов Бахадиржан Раимжанович[1] — д-р техн. наук,
профессор, начальник научно-исследовательского отдела,
Хасанов Алексей Рашидович[1] — начальник
научно-исследовательской лаборатории горных работ,
[1] ГУП Узбекский научно-исследовательский
и проектно-изыскательский институт
геотехнологии и цветной металлургии «УзГЕОРАНГМЕТЛИТИ»
при Государственном комитете Республики Узбекистан
по геологии и минеральным ресурсам, Узбекистан.
Для контактов: Хасанов А.Р., e-mail: nfo@georang.uz.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

B.R. Raimjanov[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Head of Research Department.
A.R. Khasanov[1], Head of the Mining Research Laboratory,
[1] State Unitary Enterprise Uzbek Research and Design Institute
of Geotechnology and Non-Ferrous Metallurgy
«UzGEORANGMETLITI» under the State Committee
of the Republic of Uzbekistan on Geology and Mineral Resources,
100070, Tashkent city, Republic of Uzbekistan.
Corresponding author: A.R. Khasanov, e-mail: nfo@georang.uz.

Получена редакцией 06.02.2020; получена после рецензии 20.02.2020; принята к печати 20.04.2020.
Received by the editors 06.02.2020; received after the review 20.02.2020; accepted for printing 20.04.2020.