УДК 622.35 DOI: 10.21440/0536-1028-2021-3-48-59

Оценка физико-механических свойств вмещающих горных пород при освоении золото-медно-порфирового месторождения Малмыжское

Цой Д. И.[1]*, Лаврик Н. А.[1], Рассказов М. И.[1], Терешкин А. А.[1], Федотова Ю. В.[1]
[1] Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия
e-mail: denis.tsoi@mail.ru

Реферат

Введение. *Приведены результаты комплексных технолого-минералогических исследований. Выявлено, что некоторые природные разновидности горных пород характеризуются непостоянством физико-механических свойств даже в пределах локального района, что необходимо учитывать при оценке возможных направлений использования вмещающих горных пород. Рассмотрены результаты изучения физико-механических свойств горных пород на стадии геологической разведки.*

Цель работы. *Проведение комплексных технолого-минералогических исследований, а также лабораторных испытаний физико-механических свойств горных пород для определения возможности использования вмещающих скальных горных пород при строительстве.*

Методология. *Методологические работы по определению структурных особенностей месторождения Малмыжское проводились путем сравнительного анализа геологических разрезов и карт, структурной документации керна. Физико-механические свойства вмещающих горных пород, слагающих золото-медно-порфировое месторождение, определялись в лабораторных условиях.*

Результаты. *Выполненные комплексные испытания, включающие исследование минерального (химического) состава и физико-механических свойств горных пород, позволили получить зависимости показателя прочности от структуры, а также от содержания темноцветных минералов и плагиоклазов. Кроме того, анализ показал, что породы с одинаковым минеральным составом и равными значениями истинной плотности, но обладающие различной текстурой и структурой, проявляют различия в прочностных свойствах.*

Выводы. *Результаты выполненных исследований на месторождении позволили выявить ряд закономерностей и зависимостей, которые могут быть использованы при предварительной оценке вмещающих горных пород для использования их в качестве нерудных строительных материалов.*

Ключевые слова: *месторождение Малмыжское; дробимость; физико-механические свойства; горные породы; петрографический анализ; плотность; прочность.*

Введение. Как показывает практика, обоснование наиболее рациональной системы разработки месторождения возможно только после комплексного и детального изучения геолого-структурных, инженерно-геологических условий района месторождения, а также определения физико-механических свойств горных пород. На стадии освоения месторождения необходимо иметь надежную информацию о структурных особенностях, свойствах и состоянии массива горных пород и их изменении под влиянием горных работ [1–4].

Изучение физико-механических свойств горных пород имеет важное значение для расчетов технологических процессов и проектирования конструктивных параметров транспортно-выемочного комплекса во всех отраслях производства горной промышленности – от разведки месторождений полезных ископаемых до их обогащения [5–8].

Эффективное освоение месторождений полезных ископаемых возможно на основе достоверной информации не только о запасах минерального сырья, но и о горно-геологических и горнотехнических условиях разработки [9–11]. При обосновании порядка и технологии вскрытия и отработки месторождения, определении параметров системы разработки важное значение имеют данные о физико-механических свойствах пород и руд залежи, к числу которых относятся: плотность, прочностные и упругие свойства горных пород и ряд других параметров.

В 1970–1976 гг. в районе Малмыжских высот проводились поисковые работы на рудное золото (Тухас О. И., 1970; Чернявский В. С., 1977). На площади закартированы обширные поля вторичных кварцитов и кварц-серицитовых метасоматитов, развитых по терригенным и интрузивным породам позднемелового возраста. Выявлено семь протяженных линейных кварцевых штокверков. Рудная минерализация в прожилках представлена пиритом, халькопиритом, арсенопиритом, магнетитом.

В 2005–2008 гг. по данным геохимического опробования было выделено и начато изучение десяти аномалий (участков) вторичного рассеяния меди и золота, свинца, цинка и ряда других элементов, перспективных на поиски золото-медно-порфирового оруденения: «Центральная», «Западная», «Плоская», «Северная», «Штокверк», «Шарга», «Восточная», «Долина», «АБВ», «Зет».

Месторождение Малмыжское, открытое ООО «Амур Минералс» в 2008–2015 гг., является на Дальнем Востоке России уникальным по запасам и ресурсам меди и золота [12–15].

Золото-медно-порфировое месторождение Малмыжское располагается на границе Комсомольского и Нанайского административных районов Хабаровского края. Географически это одноименный хребет в излучине р. Амур, с отметками отдельных вершин 230–270 м. Восточнее месторождения проходит федеральная трасса Хабаровск–Комсомольск-на-Амуре, западнее – судоходная р. Амур. Расстояние от транспортных артерий составляет 10–20 км.

Наблюдения, сделанные в процессе полевых работ, позволили оконтурить Малмыжскую золото-медно-порфировую систему как протяженную (более 15 км) линейную структуру, состоящую из отдельных порфировых центров – потенциальных месторождений, пространственно связанных со штоками и дайками гранодиоритов и кварцевых диоритов. Вмещающие породы представлены по большей части туфами дацитов, гранит-порфирами и диоритами.

Важным этапом геологоразведочных работ на месторождении является проведение лабораторных испытаний физико-механических свойств горных пород [16, 17]. Согласно требованиям ГОСТ 8267-93 (*ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. М.: Институт ВНИПИИстромсырье, 1995. 17 с.*), для возможности использования вмещающих скальных горных пород при строительстве исследуются следующие показатели: лещадность, дробимость, истинная и средняя плотность, пористость, водопоглощение, морозостойкость, прочность, а также анализируется минералого-петрографический состав породы.

Исследование взаимосвязи минерального состава и физико-механических свойств горных пород. В результате комплексных технолого-минералогических исследований, которые в течение 12 лет проводятся в испытательной лаборатории Центра коллективного пользования Института горного дела Дальневосточного округа Российской Академии наук, показано, что некоторые природные разновидности горных пород характеризуются непостоянством свойств даже в пределах одного месторождения, что необходимо учитывать при оценке возможных направлений использования вмещающих горных пород Малмыжского месторождения.

Таблица 1. Минералого-петрографическое описание вмещающих горных пород месторождения Малмыжское

Table 1. Malmyzhskoe deposit enclosing rock mineralogical-petrographic description

Техническая проба	ID шлифа	Минералого-петрографический состав
С1	С1-1	Кристаллокластический туф риодацита интенсивно измененный: хлорит-серицит-кварц-альбитовый метасоматит-березит с рудной вкрапленностью и прожилками до 0,1 мм мощностью ≈ 5–7 % от состава породы. Структура – микрофельзитовая. Текстура – массивная
	С1-2	Риолит кристаллокластический. Состав: кварц – 3–5 %, ортоклаз – 25 %, плагиоклаз – 35 %, биотит – 5 %, рудный минерал – 15 %. Кристаллокласты составляют 90 %, микрогранитовая связующая масса – 10 %. Рудная минерализация образует вкрапленность, гнездовидные обособления и прожилки до 2 мм мощностью
С2	С2-1	Кристаллокластический туф дацита интенсивно березитизированный (80 % новообразований – кварц-эпидот-хлорит-альбит). Рудная минерализация – 7–10 %: вкрапленность кристаллическая, нередко имеет квадратную форму сечения, а также гнездовидные срастания мощностью 0,01–0,1 мм
	С2-2	Кварц-ортоклазовый мелкозернистый гранит-порфир. Структура кристаллокластическая; текстура массивно-брекчиевая. Характерна микроблочная трещиноватость, наиболее ярко она проявлена в кристаллокластах кварца. Рудная вкрапленность – 3–5 %. Порода, видимо, образует дайку или малое субвулканическое тело
С3	С3-1	Кристаллокластический пелитоморфный туф дацита (возможно, дайковая форма). В березитизированной (хлорит-кварц-альбитовой основной массе отмечаются редкие кварцевые вкрапленники
	С3-2	Эпидот-хлорит-кварц-серицитовый березит по фельзориолиту. Вкрапленники плагиоклаза (20 %) замещены тонкочешуйчатым мусковит-серицитом. Содержание рудной вкрапленности ≈ 10 %. Отмечаются отдельные карбонатные прожилки мощностью 0,1 мм
С4	С4-1	Гранит-порфир. Состав: ортоклаз – 15 %, плагиоклаз – 50 %, кварц – 10 %, рудный минерал – 5 %
	С4-2	Пирит-эпидот-хлорит-кварц-серицитовый березит. Структура – микрофельзитовая, текстура массивная. Вкрапленность пирита лимонитизированная
С5	С5-1	Диорит биотит-роговообманковый полнокристаллический, неравномерно-среднезернистый (1–5 мм, с преобладанием зерен 2–4 мм); структура призматически зернистая (диоритовая), текстура массивная пестрая. Порода слабо метасоматически изменена (5–7 %), катаклазирована. Состав: плагиоклазы – 60–65 %; роговая обманка – 25 %; биотит – 5 %; кварц 2–3 %; полевые шпаты – 2–3 %; вторичные минералы (эпидот, хлорит, биотит, серицит, КПШ кварц)
	С5-2	Метасоматит серицит-кварц-полевошпатовый по диоритам. Степень измененности первичных пород составляет около 95 %. Микроструктура кристаллобластовая (бластодиоритовая), просвечивает реликтовая структура. Породы катаклазированы. Состав породы: калиевые полевые шпаты + альбит – 55 %; кварц – 15 %; плагиоклаз средний – 5 %; серицит ~ 5 %; роговая обманка, биотит, хлорит, эпидот – 20 %; магнетит + пирит – до 1 %. Акцессорные минералы – апатит

Техническая проба	ID шлифа	Минералого-петрографический состав
С6	С6-1	Диорит роговообманковый призматически зернистой (диоритовой) структуры, неравномерно среднезернистый. Состав: плагиоклазы среднего состава – 60 %; калиевые полевые шпаты 5–7 %; кварц 1–3 %; роговая обманка – 30 %. Вторичные минералы: серицит, хлорит, эпидот, биотит – 1–2 %. Акцессорные минералы – апатит, сфен
	С6-2	Диорит роговообманковый. Структура призматически зернистая (диоритовая), образованная идиоморфными короткопризматическими и реже узкопризматическими выделениями плагиоклазов и роговой обманки. Порода слабо (~ 10 %) метасоматически изменена. Плагиоклазы – зональной, двойниковой структуры по карлсбадскому закону срастания и прорастания (3–4 полосы разной толщины). Вторичные изменения по плагиоклазам до 10 % в виде серицитизации приурочены к границам двойникования. КПШ и кварц (до 2–5 %) ксеноморфной формы занимают промежутки между зернами плагиоклазов и роговой обманки. Роговая обманка зеленого цвета, частично замещается биотитом, эпидотом, хлоритом. Характерна опацитизация (развитие зерен магнетита). Встречаются яркие буровато-красные выделения гидроокислов железа

Анализ результатов выполненных исследований позволил выявить ряд закономерностей и зависимостей, которые могут быть использованы при предварительной оценке горных пород.

С целью проведения лабораторных исследований физико-механических свойств скальных грунтов, развитых в окрестностях Малмыжского золото-медно-порфирового месторождения, геологами было отобрано шесть технических проб: С1, С2, С3, С4, С5 и С6. Пробы сформированы из кернов диаметром 47,5 и 63,5 мм из поисковых (разведочных) скважин, которые расположены на удалении около 2–3 км к югу от рудной залежи «Долина».

Для проведения минералого-петрографического анализа скальных горных пород Малмыжского месторождения было отобрано и исследовано по два шлифа с каждой петрографической разности.

По составу все изученные типы пород представлены практически одним и тем же набором минералов, но в различных количественных соотношениях. Пределы колебаний содержаний основных породообразующих минералов в составе отдельных типов магматических пород достаточно широкие. Следует отметить, что название породы, установленное в результате минералого-петрографического изучения, позволяет получить лишь приближенное представление о ее количественном минеральном составе (табл. 1).

Исходя из анализа минералого-петрографического состава отобранных технических проб, породы различаются по соотношению содержаний слагающих их минералов, что обуславливает контрастность свойств.

Поскольку по конструктивным соображениям в современной практике дезинтеграции основным разрушающим воздействием является раздавливание, для характеристики и общего сравнения прочностных свойств горных пород в качестве базового использовался показатель предела прочности на одноосное сжатие.

Определения предела прочности на одноосное сжатие выполнены на образцах цилиндрической формы диаметром 47 и 63 мм согласно ГОСТ 21153.2-84 (*ГОСТ 21153.2-84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. М.: Изд-во стандартов, 1984. 10 с.*). Образцы испытывали

сжатием вплоть до разрушения плавно нарастающей нагрузкой со скоростью от 3 до 5 кгс/см^2 в секунду. Величина предела прочности вычислена по формуле:

$$\sigma_{сж} = K_h \frac{P}{S} \cdot 10,$$

где P – разрушающая нагрузка, кгс; S – площадь поперечного сечения образца, см^2; K_h – безразмерный коэффициент высоты образца, равный 1,00 при отношении высоты к диаметру $m = 2 \pm 0,05$.

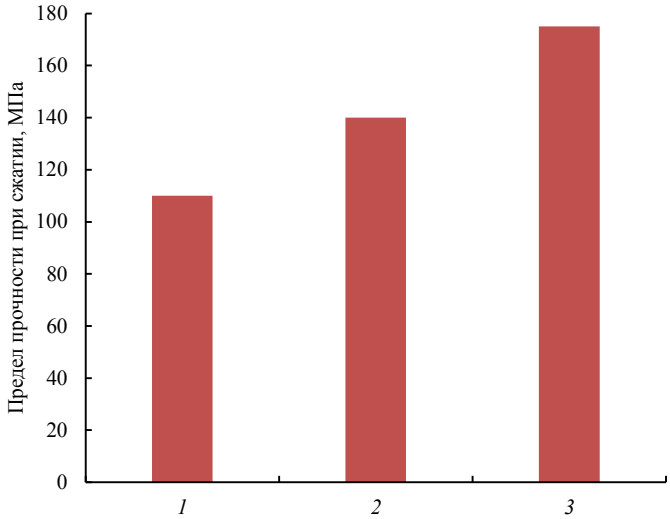

Рис. 1. Прочность вмещающих горных пород (диориты, гранит-порфиры, туфы дацитов) в зависимости от содержания темноцветных минералов и плагиоклазов:
1 – группа пород С1, С2 и С3 (темноцветные – 5 %, плагиоклаз – 15–35 %);
2 – техническая проба С4 (темноцветные – 20–25 %, плагиоклаз – 50 %);
3 – пробы С5 и С6 (темноцветные – 25–30 %, плагиоклаз – 60–65 %)

Fig. 1. Strength of the enclosing rock (diorite, granite-porphiry, dacite tufa) depending on the composition of dark-colored minerals and plagioclases:
1 – C1, C2 and C3 rock group (dark-colored – 5 %, plagioclase – 15–35 %);
2 – process sample C4 (dark-colored – 20–25 %, plagioclase – 50 %);
3 – samples C5 and C6 (dark-colored – 25–30 %, plagioclase – 60–65 %)

Исследование взаимосвязи минерального (химического) состава и физико-механических свойств пород показывает, что с увеличением содержания темноцветных минералов (роговая обманка, биотит, кварц) и плагиоклаза прочность пород увеличивается (рис. 1).

Изучение физико-механических свойств вмещающих горных пород свидетельствует о том, что при относительно стабильных значениях истинной плотности (2,639–2,730 г/см^3), средней плотности (2,453–2,672 г/см^3) и пористости (0,9–6,4 %) породы проявляют различия в прочности (95–194 МПа). Прослеживается взаимосвязь прочности и структуры: менее прочными являются разновидности, обладающие крупнозернистой структурой (рис. 2).

Сравнение физико-механических характеристик пород показывает, что для пород, формирующих технические пробы С5 и С6, характерны более высокие значения плотности: истинная плотность – 2,717 г/см^3, средняя плотность – 2,658 г/см^3, что, предположительно, является следствием высокого содержания

рудных минералов. Для пород проб С1, С2, С3 и С4 значения истинной и средней плотности составляют 2,648 и 2,560 г/см^3.

Более высокая прочность пород С5 и С6 (180 МПа по сравнению с 110 МПа у пород С1, С2 и С3), по результатам исследований, является следствием высокого содержания темноцветных минералов (роговая обманка, биотит, кварц) и плагиоклаза, также текстуры (массивная однородная) и структуры (равномерно мелкозернистая). Причинами снижения прочности у пород С1, С2 и С3, вероятно, являются вторичные изменения (замещение пироксена карбонатом) и текстура (наличие прослоев плагиоклаза и темноцветных материалов с ослабленными связями между слоями).

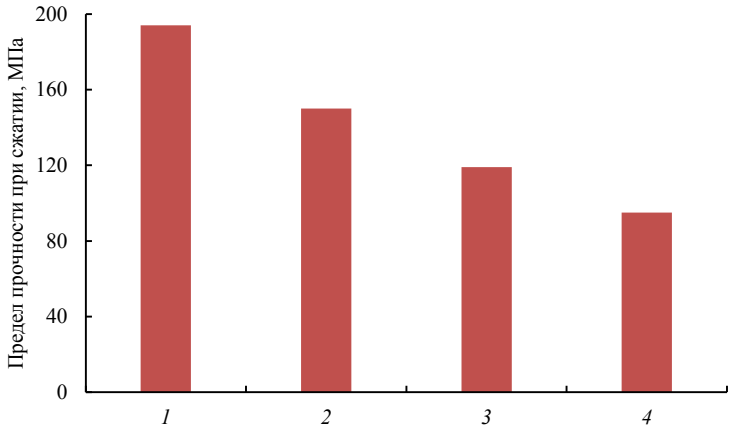

Рис. 2. Прочность вмещающих пород технических проб Малмыжского месторождения в зависимости от структуры:
1 – скрытокристаллическая (средние значения для 14 образцов); *2* – мелкозернистая (средние значения для 7 образцов); *3* – среднезернистая (средние значения для 14 образцов); *4* – крупнозернистая (средние значения для 21 образца)

Fig. 2. Strength of the enclosing rock of Malmyzhskoe deposit process samples depending on the structure:
1 – cryptocrystalline (mean values for 14 samples); *2* – fine-grained (mean values for 7 samples); *3* – medium-grained (mean values for 14 samples); *4* – coarse-grained (mean values for 21 samples)

Прочностные характеристики горной породы связаны с ее плотностью (рис. 3). При этом истинная плотность горной породы фактически учитывает только минеральный состав горной породы, а средняя плотность – минеральный состав, пористость и микротрещиноватость. Эта закономерность имеет общий характер и прослеживается для всех изученных типов пород.

В то же время значимые корреляционные связи прочности и плотности в пределах одного типа породы отсутствуют. Анализ показывает, что породы с одинаковым минеральным составом и равными значениями истинной плотности, но обладающие различной текстурой и структурой, проявляют различия в прочностных свойствах.

Оценка параметров физико-механических свойств щебня по фракциям для использования его в качестве строительного материала. Учитывая масштабы отработки, важным условием для рентабельной эксплуатации месторождения является использование вмещающих горных пород в качестве нерудных строительных материалов.

Образцы для испытаний отбираются непосредственно на изучаемом участке недр в виде штуфных проб или кернов геологоразведочных скважин. Из пробы

путем одностадиального дробления в щековой дробилке и сортировки в лабораторных условиях готовятся фракции щебня 5–10 мм, 10–20 мм, 20–40 мм для испытаний.

Одним из основных показателей, который характеризует прочность щебня, является дробимость. Дробимость определяют по степени разрушения зерен при сжатии (раздавливании) в цилиндре согласно ГОСТ 8269.0-97 (*ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний. М.: ФГУП «Стандартинформ», 1998. 109 с.*). Средний показатель дробимости отобранных проб, полученный в результате испытаний – М1200–М1400. Дробимость щебня (как и морозостойкость) зависит от содержания зерен пластинчатой и игольчатой формы: игловатые и пластинчатые зерна выдерживают меньшую сжимающую нагрузку без разрушения.

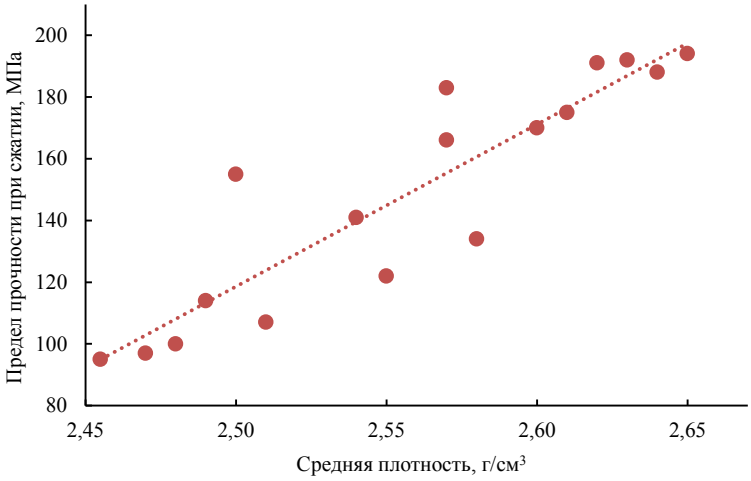

Рис. 3. Зависимость между средней плотностью и прочностью вмещающих горных пород Малмыжского месторождения
Fig. 3. Dependence between the mean gravity and strength of Malmyzhskoe deposit enclosing rock

При дроблении породы в лабораторной щековой дробилке в открытом цикле содержание зерен лещадной формы составило 4,9–19,0 % для пород массивной структуры. При дроблении в производственных условиях по трехстадиальной схеме в замкнутом цикле с использованием конусных, роторных или центробежно-ударных дробилок показатель лещадности снижается примерно в 1,2–1,7 раза (табл. 2). Поэтому показатель лещадности, полученный при испытаниях на стадии геологоразведочных работ, не может быть информативным показателем, позволяющим судить о качестве щебня.

Средняя плотность и водопоглощение щебня зависят от пористости (трещиноватости) породы. Пористость является характерной особенностью горной породы, вторичной – трещиноватость – следствие буровзрывных работ и процесса дробления. Значения этих параметров, полученные при геологической разведке, более низкие, чем для щебня, полученного в производственных условиях (табл. 3).

Анализ данных табл. 3 показывает, что водопоглощение щебня в 4,3–11,4 раза превышает значение этого показателя для горной породы; пористости – в 1,9–5,3 раза.

Морозостойкость щебня (способность выдержать многократное попеременное замораживание и оттаивание) напрямую связана с пористостью: вода поступает в поры и трещины, при замерзании увеличивается в объеме и разрушает породу. Поскольку пористость и водопоглощение в значительной мере определяются технологией производства щебня, значения морозостойкости, полученные на стадии геологической разведки, являются завышенными.

Таблица 2. Средние значения содержания зерен лещадной формы во фракции щебня 5–40 мм

Table 2. Mean values of flaky grains content in crushed stone fraction 5–40 mm

Тип горной породы		Содержание лещадных зерен, %	
Наименование пробы	Текстура	Лабораторный эксперимент	Промышленное дробление
С1	Массивная	4,9–10,4	3,3–6,9
С2	Массивная	5,6–10,2	3,5–6,4
С3	Массивная	6,7–14,2	5,6–11,8
С4	Массивная	6,5–19,0	5,0–14,6
С5	Массивная	7,0–15,4	5,0–11,0
С6	Массивная	8,9–14,6	5,2–8,6

Морозостойкость определяли ускоренным методом по ГОСТ 8269.0-97 по потере массы пробы при погружении в насыщенный раствор сульфата натрия с последующим высушиванием. Результаты определения морозостойкости представлены в табл. 4.

По результатам испытаний установлено низкое качество проб щебня по морозостойкости – F15–F55, однако среди всех проб выделяется проба С4, которая имеет марку по морозостойкости F100–F150.

Таблица 3. Средние значения плотности ($\rho_{ср}$), водопоглощения (W), пористости (П) горных пород и щебня месторождения Малмыжское

Table 3. Mean values of density (ρ_{mean}), water absorption (W), porosity (P) of Malmyzhskoe deposit rock and crushed stone

Наименование пробы	Горная порода			Щебень 5–40 мм		
	$\rho_{ср}$	*W*, %	П, %	$\rho_{ср}$	*W*, %	П, %
С1	2,695	0,236	1,536	2,542	1,720	3,687
С2	2,753	0,397	1,208	2,597	1,705	2,295
С3	2,600	0,492	2,141	2,453	2,708	6,424
С4	2,807	0,086	0,338	2,648	0,984	0,913
С5	2,802	0,130	0,440	2,643	1,250	2,331
С6	2,832	0,124	0,617	2,672	1,069	2,160

Заключение. Прочностные свойства горных пород определяются совокупностью факторов минерального состава и текстурно-структурных особенностей. Наиболее значимыми факторами, определяющими прочность породы, являются структура и соотношение содержаний основных породообразующих и минералов – плагиоклаза, темноцветных минералов. Установлены закономерности взаимосвязи минерального состава и физико-механических свойств горных пород. Более высокая прочность пород С5 и С6 (180 МПа по сравнению с 110 МПа

у пород С1, С2 и С3), по результатам исследований, является следствием высокого содержания темноцветных минералов (роговая обманка, биотит, кварц) и плагиоклаза, также текстуры (массивная однородная) и структуры (равномерно мелкозернистая). Причинами снижения прочности пород С1, С2 и С3, вероятно, являются вторичные изменения (замещение пироксена карбонатом) и текстура (наличие прослоев плагиоклаза и темноцветных материалов с ослабленными связями между слоями).

Таблица 4. Результаты определения проб щебня Малмыжского месторождения на морозостойкость в зависимости от фракции
Table 4. The results of frost-resistance tests by fraction on Malmyzhskoe deposit crushed stone

Идентификатор образцов	Фракция щебня	Потеря массы после испытания, %	Марка по морозостойкости
С1	–10+5	31,6	F15
	–20+10	31,1	F15
	–40+20	27,4	F15
С2	–10+5	17,3	F15
	–20+10	26,0	F15
	–40+20	19,1	F15
С3	–10+5	5,7	F50
	–20+10	14,4	F15
	–40+20	7,3	F25
С4	–10+5	7,2	F100
	–20+10	4,7	F150
	–40+20	13,5	F100
С5	–10+5	28,1	F25
	–20+10	26,7	F25
	–40+20	17,4	F25
С6	–10+5	6,5	F50
	–20+10	7,9	F50
	–40+20	2,5	F200

По результатам исследований определены основные физико-механические свойства вмещающих горных пород месторождения Малмыжское, представленные техническими пробами С1, С2, С3, С4, С5 и С6: показатель предела прочности на одноосное сжатие, дробимость, морозостойкость, лещадность, плотность, водопоглощение, пористость, проведен минералого-петрографический анализ. Показатели качества щебня (марки по прочности и морозостойкости, группа по лещадности, водопоглощение, пористость, зерновой состав) могут быть установлены только при разработке месторождения. В связи с этим данные о физико-механических свойствах горных пород, полученные при геологоразведке, могут быть основой для принятия решения только о принципиальной возможности использования их в качестве сырья для получения щебня.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рассказов И. Ю., Крюков В. Г., Потапчук М. И., Сидляр А. В. Геомеханические исследования структурных особенностей массива горных пород при проектировании карьера месторождения Дяппе // Маркшейдерия и недропользование. 2018. № 5(97). С. 52–58.

2. Rasskazov M. I., Potapchuk M. l., Kursakin G. A., Tsoi D. I. Geomechanical justification of security measures in the development of the South-Khingan deposit of manganese ore // E3S Web of Conferences. 2018. 56: 1–7.

3. Саксин Б. Г., Мирзеханов Г. С., Рассказов М. И., Усиков В. И., Цой Д. И. Инженерно-геологическая оценка скального основания Нижне-Бурейской ГЭС // ГИАБ. 2015. № S2. С. 3–12.

4. Rasskazov I., Kryukov V., Potapchuk M. Structural and geomechanical models of gold deposits in the Amur region // E3S Web of Conferences. 2020. С. 01001. 10.1051/e3sconf/202019201001

5. Прохоров К. В., Гладырь А. В., Рассказов М. И. Центр коллективного пользования «Центр исследования минеральная сырья» // Горная промышленность. 2020. № 4. С. 120–124.

6. Чебан А. Ю. Технология разработки крутопадающих рудных тел с применением дистанционно управляемого горного оборудования // Маркшейдерский вестник. 2019. № 2. С. 56–60.

7. Рассказов М. И., Потапчук М. И., Цой Д. И., Терешкин А. А., Гладырь А. В. Изучение горно-геологических особенностей и определение физико-механических свойств горных пород золоторудного месторождения Делькен // Проблемы недропользования. 2020. № 2(25). С. 116–126.

8. Марчевская В. В., Мухина Т. Н. Физико-механические характеристики малосульфидных руд Кольского полуострова // Обогащение руд. 2014. № 6(354). С. 56–60.

9. Рассказов М. И., Терешкин А. А., Цой Д. И. Оценка напряженного состояния массива месторождения «Пионер» на основе акустико-эмиссионного эффекта памяти горных пород // Проблемы недропользования. 2019. № 2(21). С. 62–67.

10. Потапчук М. И., Рассказов И. Ю., Ломов М. И., Рассказов М. И. Изучение структуры рудного поля свойств пород месторождения Делькен с целью обоснования оптимальной конструкции бортов карьера // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 6. С. 26–36.

11. Потапчук М. И., Терешкин А. А., Рассказов М. И. Оценка геомеханического состояния массива горных пород при отработке сложноструктурных рудных тел системой подэтажных штреков с управляемым обрушением кровли // ГИАБ. 2015. № 12. С. 39–45.

12. Читалин А. Ф., Ефимов А. А., Воскресенский К. И., Игнатьев Е. К., Колесников А. Г. Малмыж – новая крупная золото-медно-порфировая система мирового класса на Сихотэ-Алине // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2013. № 3. С. 65–69.

13. Лаврик А. В., Лаврик Н. А., Рассказова А. В., Литвинова Н. М., Конарева Т. Г. Исследование комплексной золотосодержащей руды месторождения Делькен и оценка ее технологических свойств // Проблемы недропользования. 2020. № 2(25). С. 17–23.

14. Секисов А. Г., Иванов В. В., Рассказова А. В., Игнатьев Е. К. Геохимические особенности руд зоны окисления медно-золоторудного месторождения Малмыж и результаты их геотехнологического тестирования // Горный журнал. 2018. № 10. С. 30–35.

15. Rasskazova A. V., Sekisov A. G., Kirilchuk M. S., Vasyanovich Yu. A. Stage-activation leaching of oxidized copper-gold ore // Eurasian Mining. 2020. No. 1. P. 52–55.

16. Siegesmund S., Durrast H. Physical and mechanical properties of rocks // Stone in architecture: properties, durability. 2011. P. 97–225.

17. Kurmankozhayeva A. A., Azhibekova A. S. A method of estimating the contents of components, structural and physical-mechanical properties of rocks // IOP conference series: Materials science and engineering, ACMME 2017. С. 012044.

Поступила в редакцию 26 января 2021 года

Сведения об авторах:

Цой Денис Игоревич – научный сотрудник Института горного дела ДВО РАН. E-mail: denis.tsoi@mail.ru
Лаврик Наталья Анатольевна – старший научный сотрудник Института горного дела ДВО РАН. E-mail: lavrik@igd.khv.ru
Рассказов Максим Игоревич – научный сотрудник Института горного дела ДВО РАН. E-mail: rasm.max@mail.ru
Терешкин Андрей Александрович – научный сотрудник Института горного дела ДВО РАН. E-mail: andrey.tereshkin@bk.ru
Федотова Юлия Викторовна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института горного дела ДВО РАН. E-mail: fjulia@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2021-3-48-59

Assessing physical and mechanical properties of enclosing rock in the course of Malmyzhskoe gold-copper-porphyry deposit development

Denis I. Tsoi[1], Natalia A. Lavrik[1], Maksim I. Rasskazov[1], Andrei A. Tereshkin[1], Iuliia V. Fedotova[1]
[1] Institute of Mining FEB RAS, Khabarovsk, Russia.

Abstract

Introduction. *This work presents the results of complex technological and mineralogical studies. It has been discovered that some natural rocks are characterized by physical and mechanical properties variability*

even within a local area. It must be taken into account when assessing enclosing rocks utilization options. The results of Malmyzhskoye rock physical and mechanical properties study at the stage of geological exploration are considered.
Research aim *is to carry out integrated technological and mineralogical research and laboratory tests on rock physical and mechanical properties to assess the feasibility of using hard enclosing rock for construction.*
Research methodology. *The geological and structural features of the field were established by comparative analysis of geological sections and maps, structural documentation of the core. In laboratory conditions, the physical and mechanical properties of the host rocks that make up the gold-copper-porphyry deposit were established.*
Results. *After studying the mineral (chemical) composition and physical and mechanical properties of rocks, it was possible to obtain the dependence of the strength index on the structure, as well as on the content of dark-colored minerals and plagioclases. At the same time, there are no significant correlations between strength and density within the same rock type.*
Conclusions. *The analysis shows that rocks with the same mineral composition and equal values of the true density, but with different texture and structure, show differences in strength properties.*

Keywords: *Malmyzhskoe deposit; breakability; physical and mechanical properties; rocks; petrographic analysis; density; strength.*

REFERENCES

1. Rasskazov I. Iu., Kriukov V. G., Potapchuk M. I., Sidliar A. V. Geomechanical studies of the structural features of rock massif at designing a quarry of Dyappe deposit. *Marksheideriia i nedropolzovanie = Mine Surveying and Subsurface Use*. 2018; 5(97): 52–58. (In Russ.)

2. Rasskazov M. I., Potapchuk M. l., Kursakin G. A., Tsoi D. I. Geomechanical justification of security measures in the development of the South-Khingan deposit of manganese ore. In: *E3S Web of Conferences*. 2018; 56: 1–7.

3. Saksin B. G., Mirzekhanov G. S., Rasskazov M. I., Usikov V. I., Tsoi D. I. Engineering-geological assessment of bedrock foundation of Nizhnya-Burejskaya hydropower station. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2015; S2: 3–12. (In Russ.)

4. Rasskazov I., Kryukov V., Potapchuk M. Structural and geomechanical models of gold deposits in the Amur region. In: *E3S Web of Conferences*. 2020; 01001. Available from: 10.1051/e3sconf/202019201001

5. Prokhorov K. V., Gladyr A. V., Rasskazov M. I. "Centre for mineral research" core shared research facilities. *Gornaia promyshlennost = Mining Industry Journal*. 2020; 4: 120–124. (In Russ.)

6. Cheban A. Iu. Technology development steeply dipping ore bodies with the use of remote controlled mining equipment. *Marksheiderskii vestnik = Mine Surveying Bulletin*. 2019; 2: 56–60. (In Russ.)

7. Rasskazov M. I., Potapchuk M. I., Tsoi D. I., Tereshkin A. A., Gladyr A. V. Study of mining and geological features and definition of physical and mechanical properties of rocks of Delken gold deposits. *Problemy nedropolzovaniia = The Problems of Subsoil Use*. 2020; 2(25): 116–126. (In Russ.)

8. Marchevskaia V. V., Mukhina T. N. Physical-mechanical characteristics of the Kola peninsula low-sulfide ores. *Obogashchenie Rud = Mineral Processing*. 2014; 6(354): 56–60. (In Russ.)

9. Rasskazov M. I., Tereshkin A. A., Tsoi D. I. Assessment of stressed state of rock mass of the deposit pioneer on the basis of acoustic-emission effect of rock memory. *Problemy nedropolzovaniia = The Problems of Subsoil Use*. 2019; 2(21): 62–67. (In Russ.)

10. Potapchuk M. I., Rasskazov I. Iu., Lomov M. I., Rasskazov M. I. Studying ore field structure and rock properties of the Delken deposit to substantiate the optimal pit walls design. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 6: 26–36. (In Russ.)

11. Potapchuk M. I., Tereshkin A. A., Rasskazov M. I. Assessment of geomechanical condition of rock massif in the process of development of difficult-structured ore bodies by the sublevel drifts system with the controlled roof caving. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2015; 12: 39–45. (In Russ.)

12. Chitalin A. F., Efimov A. A., Voskresenskii K. I., Ignatiev E. K., Kolesnikov A. G. Malmyzh – a new large world-class porphyry copper-gold system in Sikhote Alin. *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie = Mineral Recourses of Russia. Economics and Management*. 2013; 3: 65−69. (In Russ.)

13. Lavrik A. V., Lavrik N. A., Rasskazova A. V., Litvinova N. M., Konareva T. G. Study of complex gold-bearing ore of Delken deposit and assessment of its technological properties. *Problemy nedropolzovaniia = The Problems of Subsoil Use*. 2020; 2(25): 17–23. (In Russ.)

14. Sekisov A. G., Ivanov V. V., Rasskazova A. V., Ignatiev E. K. Geochemical features and geotechnical investigation of oxidized zone in the Malmyzh copper-gold ore deposit. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2018; 10: 30–35. (In Russ.)

15. Rasskazova A. V., Sekisov A. G., Kirilchuk M. S., Vasyanovich Yu. A. Stage-activation leaching of oxidized copper-gold ore. *Eurasian Mining*. 2020; 1: 52–55.

16. Siegesmund S., Durrast H. Physical and mechanical properties of rocks. *Stone in architecture: properties, durability*. 2011. P. 97–225.

17. Kurmankozhayeva A. A., Azhibekova A. S. A method of estimating the contents of components, structural and physical-mechanical properties of rocks. In: *IOP conference series: Materials science and engineering, ACMME 2017*. C. 012044.

Received 26 January 2021

Information about authors:

Denis I. Tsoi – researcher, Institute of Mining FEB RAS. E-mail: denis.tsoi@mail.ru
Natalia A. Lavrik – senior researcher, Institute of Mining FEB RAS. E-mail: lavrik@igd.khv.ru
Maksim I. Rasskazov – researcher, Institute of Mining FEB RAS. E-mail: rasm.max@mail.ru
Andrei A. Tereshkin – researcher, Institute of Mining FEB RAS. E-mail: andrey.tereshkin@bk.ru
Iuliia V. Fedotova – PhD (Engineering), leading researcher, Institute of Mining FEB RAS. E-mail: fjulia@mail.ru

Для цитирования: Цой Д. И., Лаврик Н. А., Рассказов М. И., Терешкин А. А., Федотова Ю. В. Оценка физико-механических свойств вмещающих горных пород при освоении золото-медно-порфирового месторождения Малмыжское // Известия вузов. Горный журнал. 2021. № 3. С. 48–59. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-3-48-59
For citation: Tsoi D. I., Lavrik N. A., Rasskazov M. I., Tereshkin A. A., Fedotova Iu. V. Assessing physical and mechanical properties of enclosing rock in the course of Malmyzhskoe gold-copper-porphyry deposit development. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2021; 3: 48–59 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2021-3-48-59