



**ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД
РУДНИКА “МАКМАЛ” ПО МЕРЕ ОТРАБОТКИ ЗАПАСОВ**

К. Ж. Усенов, С. Ж. Куваков, А. П. Алибаев, Ж. М. Куваков

*Жалал-Абадский государственный университет им. Б. Осмонова,
E-mail: rector@jagu.kg, ул. Ленина 57, г. Жалал-Абад 715600, Кыргызстан*

Рассмотрено геологическое строение месторождения “Макмал”, которое характеризуется метаморфическими, осадочными и интрузивными горными породами. Проанализированы физико-механические свойства горных пород (граниты, мраморы, окварцованные рудные тела, мраморизованные известняки, карбонатная брекчия, кварц-полевошпат и др.). В лабораторных условиях определены физико-механические свойства горных пород месторождения “Макмал”, отобранные из штолен № 6 и № 11.

Физико-механические свойства, горная порода, мраморизованный известняк, метасоматит, гранит, месторождение “Макмал”

**CHANGE IN PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF ROCKS
OF THE MAKMAL MINE IN THE COURSE OF MINING RESERVES**

K. Zh. Usenov, S. Zh. Kuvakov, A. P. Alibaev, and Zh. M. Kuvakov

*Osmonov Jalal-Abad State University, E-mail: rector@jagu.kg,
ul. Lenin 57, Jalal Abad 715600, Kyrgyzstan*

The geological structure of the Makmal deposit is considered, which is characterized by metamorphic, sedimentary and intrusive rocks. The physico-mechanical properties of rocks (granites, marbles, silicified ore bodies, marbled limestones, carbonate breccia, quartz-feldspar, etc.) are analyzed. The physico-mechanical properties of rocks of the Makmal deposit taken from adits no. 6 and no. 11 are determined under laboratory conditions.

Physico-mechanical properties, rocks, marbled limestone, metasomatite, granite, the Makmal deposit

Без изучения геологии, физико-механических свойств горных пород, а также их формы сложения в массиве невозможно ввести горные работы. Существует закономерность изменения физико-механических свойств горных пород по мере углубления для определенной местности, но к сожалению, она не универсальная. Это в первую очередь связано с формой сложения, структурой и состоянием слагающих массива горных пород, кроме того важную роль играют рельеф местности, сейсмичность района, природно-климатические условия, эндогенные и экзогенные факторы.

Месторождение “Макмал” характеризуется присутствием осадочных, интрузивных и метаморфических горных пород. Осадочные породы представлены известняками карбоно-кокчойской свиты, на которых залегают образования Каргалыкского, представленные породами субвулканического комплекса-туфоловами кислого состава. К югу от месторождения залегает толща конгломератов, гравелитов, песчаников, глин Киргизкой и Нарынской свит. Разрезы кайнозоя завершают отложения четвертичного возраста [1]. Известняки карбона прорваны различными

по составу дайкообразными телами и массивом гранитов Чаарташского интрузива, интрузивные породы представлены двумя разновозрастными комплексами: Каргалыкский комплекс — диориты, диоритовые порфириды, дайки плагиопорфиридов, кварцевых порфиридов, гранит порфиридов, лампрофиры, метасоматиты и Чаарташский комплекс — граниты первой, второй фаз [2]. Граниты первой фазы — равномернозернистые породы с незначительным содержанием темноцветных минералов. Граниты второй фазы — это дайковые тела красных порфиридных лейкогранитов, гранит порфиридов, аплитовидные граниты.



Рис. 1. Геологическая карта месторождения "Макмал"

Под воздействием контактового метаморфизма осадочные породы преобразованы в мраморы, скарнированные породы, скарны, метасоматиты. Наиболее крупные тела скарнов развиты в приконтактовых телах дайкообразных тел. Руды месторождения "Макмал" относятся к золото-кварцевой формации, к малосульфидному типу. Они сложены окварцованными, сканированными известняками, скарнами, метасоматитами, в меньшей мере измененными гранитами, гранит порфирами, плагиопорфирами.

Для физико-механических испытаний на ранних стадиях (при открытой разработке) отобраны образцы из верхних горизонтов рудных тел и вмещающих горных пород месторождения “Макмал”. В 1979–1980 гг. по заданию проектного института (Гиналмаззолото) в точках, согласованных с ним, на бортах будущего карьера пробурены четыре скважины глубиной по 100–300 м с отбором монолитов и кернов [3, 5]. В результате получены следующие значения прочностных характеристик горных пород (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Прочностные свойства горных пород месторождения “Макмал”

Название горных пород	Объемный вес, г/см ³	Предел прочности на сжатие, кг/см ²	Предел прочности на растяжение, кг/см ²	Коэффициент крепости	Угол внутреннего трения, град.
Граниты	2.89	1355	120	12.5	85.39
Мраморы	2.72	889	57	8.6	83.37
Окварцованные мраморы	2.74	24.97	194	21.3	87.31
Кварц-полевошпатовые породы	2.80	943	80	9.1	83.73
Окварцованные рудные тела	2.88	2125	159	18.4	—
Лампрофиры	3.18	1587	67	14.1	85.94
Мраморизованные известняки	2.82	1089	84	10.2	84.40

Рудные тела на нижних горизонтах месторождения на 85–90 % представлены скарнированными и окварцованными мраморами и 10–15 % метасоматической брекчией и измененными полевошпат-кварцевыми породами. При открытой разработке месторождения “Макмал” вмещающие породы представлены этими же разновидностями пород, но значительно менее окварцованными. Как в рудных телах, так и в вмещающих породах развито послойное скарнирование, нередко корродированные желваки и линзы сингенетических кремней. В 1988 г. выполнены дополнительные исследования физико-механических свойств пород и руд месторождения (при составлении проекта на поисково-оценочные работы по штольне № 10). Испытания проведены по 32 монолитам, отобранных партией из добычных уступов действующего карьера и расчищенных бульдозером отвалов штолен № 3 и № 7 в лаборатории “Киргизгеология” (табл. 2) [2].

ТАБЛИЦА 2. Физико-механические свойства пород по исследованиям “Киргизгеология”

Название горных пород	Предел прочности на сжатие, кг/см ²	Удельный вес, г/см ³	Объемный вес, г/см ³	Пористость, %	Водопоглощение, %
Мраморы с поверхности	590	2.75	2.65	3.6	0.45
Мраморизованные известняки	555	2.84	2.75	3.1	0.45
Карбонатная брекчия	555	2.74	2.66	2.9	0.46
Метасоматическая брекчия рудного тела	2525	2.87	2.85	0.7	0.42
Кварц-полевошпат	1500	2.79	2.75	1.4	0.25

Для представленных горных пород прочность при одноосном сжатии находилась общеизвестным стандартным методом (ГОСТ 21153.2-84) — испытанием цилиндрических образцов, Испытание образца при этом осуществлялось встречным давлением на его плоские торцы, создаваемым при помощи стальных плит гидравлического пресса ЦДМ-100.

Совместно с сотрудниками лаборатории “Исследование остаточных напряжений и механических свойств горных пород” Института геомеханики и освоения недр НАН КР нами определены физико-механические свойства горных пород месторождения “Макмал” при подземной разработке в лабораторных условиях: предел прочности на сжатие, растяжение, сцепление, угол внутреннего трения и коэффициент крепости по Протоdjяконову (табл. 3). Исследования являются одной из частей научно-исследовательской работы “Разработка рекомендаций по отработке запасов руды в целиках на горизонтах штолен № 6 и № 11 месторождения “Макмал” [5, 6].

ТАБЛИЦА 3. Результаты определения механических свойств горных пород месторождения “Макмал”

Название породы и место отбора	Предел прочности, кг/см ²		Сцепление, кг/см ²	Угол внутреннего трения, град.	Коэффициент крепости
	на растяжение	на сжатие			
Проба № 1. Окварцованный метасоматит (рудное тело, штольня № 11, отрезной штрек 11/8)	19.85851	397.1702	44.40498	64.7	3.9
Проба № 2. Кальцит темно-серый выветрелый (штольня № 6, скреперный штрек 603)	19.19274	383.8548	42.91627	65.2	3.8
Проба № 3. Кварц-волластонитовый метасоматит (рудное тело, штольня № 11, дучка 5/1)	32.59806	651.9611	72.89147	66.7	6.5
Проба № 4. Кальцит темно-серый (штольня №6, скреперный штрек 603)	56.71086	1134.217	126.8093	68.3	11.3
Проба № 5. Окварцованный метасоматит (на контакте рудного тела, штольня № 6, скреперный штрек 604)	87.91727	1758.345	196.589	69.2	17.5
Проба № 6. Хлоритизиро-ванный метасоматит (на контакте рудного тела, штольня №11, отрезной штрек 11-9)	17.23526	344.7052	38.53921	64.1	3.4
Проба № 7. Кварц-волластонитовый метасоматит (рудное тело, штольня № 6, скреперный полук 63)	22.52149	450.4298	50.35958	65.7	4.5
Проба № 8. Кальцит черный (штольня № 10, квершлаг 1)	60.6822	1213.644	135.6895	68.7	12.3

Подобные исследования проводили и в лаборатории “Управления геомеханическими процессами” ИГиОН НАН КР, где были изучены плотностные, прочностные свойства в воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях горных пород. Испытанию подвергались: I — карбонатные породы, скарнированные известняки, полевошпат, кварцевые метасоматиты; II — окварцованные известняки, мраморизованные известняки, измененные карбонатные породы (табл. 4) [2, 4, 7].

ТАБЛИЦА 4. Основные физико-механические свойств горных пород месторождения "Макмаг"

Порода	Название породы	Интервал отбора	γ , кг/м ³	γ_0 , кг/м ³	П, %	В воздушно-сухом состоянии							В водонасыщенном состоянии						
						σ_p , МПа	$\sigma_{сж}$, МПа	φ , град	C , МПа	E , МПа	ν	σ_p , МПа	$\sigma_{сж}$, МПа	φ , град	C , МПа	E , МПа	ν		
1	I	1.0 – 2.5	2496.86	2765.13	9.70	2.48	52.08	64	5.98	237440.03	0.228	0.78	16.38	63	2.02	232548.64	0.226		
2		24.0 – 25.0	2544.38	2806.08	9.22	1.97	41.37	64	4.6	239387.40	0.228	1.12	23.56	63	2.61	236913.02	0.227		
3		10.0 – 11.5	2549.48	2905.86	12.09	3.76	78.96	64	8.74	253387.05	0.229	2.59	54.51	64	6.10	249835.75	0.228		
4		4.0 – 6.0	2757.94	2861.55	3.61	2.34	49.22	64	5.45	245768.71	0.228	1.48	31.12	64	3.42	243192.47	0.227		
5	II	6.0 – 7.5	2634.40	3138.34	15.97	1.50	31.70	64	3.55	266097.43	0.227	1.30	27.60	64	3.24	265461.16	0.227		
6		10.0 – 11.0	2494.87	2754.75	9.34	2.40	50.40	65	5.48	236349.32	0.228	1.66	35.00	64	4.02	234242.07	0.227		
7		11.0 – 12.5	2472.73	2869.92	13.85	3.40	71.42	63	7.49	248809.51	0.229	2.22	46.62	64	5.20	245264.51	0.228		
8		15.0 – 16.0	2428.81	2909.03	16.47	3.50	73.50	65	8.10	252591.95	0.229	2.25	47.21	64	5.29	248780.02	0.228		

Примечание. γ , γ_0 — объемный и удельный вес соответственно; П — пористость; σ_p , $\sigma_{сж}$ — предел прочности на растяжение и сжатие соответственно; φ — угол внутреннего трения; C — сцепление; E — модуль упругости; ν — коэффициент Пуассона

ВЫВОДЫ

Результаты исследований механических свойств горных пород Макмальского месторождения показали, что все вмещающие породы, отобранные из горных выработок горизонтов штолен № 6, 11, 10, относятся к крепким горным породам, но в трещиноватых и выветрелых зонах (пробы № 2 и 6) их прочность резко снижается. Это может отрицательно отражаться на устойчивости стенок и кровли горных выработок, а также на устойчивости висячего и лежащего боков рудного тела. Коэффициент крепости вмещающих пород по шкале Протодяконова изменяется от 3.4 до 17.5. Горные породы, отобранные из рудного тела горизонтов штолен № 6 и № 11 по данным прочностных характеристик относятся к средне крепким, коэффициент крепости руд по шкале Протодяконова изменяется от 3.9 до 6.5. Следует отметить, что низкая прочность отобранных горных пород рудного тела обусловлена главным образом их трещиноватостью, что негативно сказывается на устойчивости междукамерных целиков и потолочин. Из-за влияния сейсмического воздействия взрывов рудные целики могут самообрушаться (ранее самообрушение рудных целиков имело место на руднике “Макмал”), тем самым создавая проблемы при очистной выемке и опасные аварийные ситуации на руднике.

Выявлено, что средний объемный вес для карбонатных пород скарнированных известняков составляет $\gamma = 2834.65 \text{ кг/м}^3$, удельный вес в среднем $\gamma_0 = 2587.16 \text{ кг/м}^3$, для окварцованных и мраморизованных известняков объемный вес имеет среднее значение $\gamma = 2918.01 \text{ кг/м}^3$, удельный вес $\gamma_0 = 2507.706 \text{ кг/м}^3$. Отобранные карбонатные породы и окварцованные известняки имеют низкое значение водопоглощения, среднее значение которого $W = 1.41 \%$. При определении прочностных характеристик проведены лабораторные анализы пород как в воздушно-сухом, так и в водонасыщенном состоянии. В воздушно-сухом состоянии значение предела прочности пород при сжатии $\sigma_{сж}$ изменяется от 41 до 79 МПа, для окварцованных известняков его минимальное значение $\sigma_{сж} = 32 \text{ МПа}$, максимальное — 73 МПа. Угол внутреннего трения пород имеет среднее значение $\varphi = 64^\circ$, сцепление составляет $C = 3.55 - 8.74 \text{ МПа}$. По полученным результатам лабораторных работ установлено, что после полного водонасыщения предел прочности пород на сжатие снижается в среднем с 20 до 40 % по сравнению со значениями в воздушно-сухом состоянии, значение сцепления — с 35 до 40 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Kozhogulov K. Ch., Kuvakov S. Zh., Usenov K. Zh., and Alibaev A. P.** Stress strain state of the open-pit bottom at combined development of steeply dipping deposits. Geomechanics in mining. Reports of the All-Russian scientific and technical conference with international participation, Yekaterinburg, 2014, pp. 71 – 79. [Кожогулов К. Ч., Куваков С. Ж., Усенов К. Ж., Алибаев А. П. Напряженно-деформированное состояние дна карьеров при комбинированной разработке крутопадающих месторождений // Геомеханика в горном деле: труды Всерос. науч.-техн. конф. с международным участием. — Екатеринбург, 2014. — С. 71 – 79.]
2. **Kuvakov S. Zh., Kadyralieva G. A., and Dzhakupbekov B. T.** Physical-mechanical properties of rocks of the deep horizons “Makmal” deposit, Bulletin of the Kyrgyz-Russian Slavic University, 2016, vol. 16, no. 5, pp. 151 – 153. [Куваков С. Ж., Кадыралиева Г. А., Джакупбеков Б. Т. Физико-механические свойства горных пород глубоких горизонтов месторождения “Макмал” // Вестник КРСУ. — 2016. — Т. 16. — № 5. — С. 151 – 153.]
3. **Report** on the results of a detailed exploration of the lower horizons of the Makmal deposit from 1975 – 1989 with the calculation of reserves as of 01.01.1990, Frunze, 1990, 287 pp. [Отчет о результатах детальной разведки нижних горизонтов золоторудного месторождения “Макмал” по работам 1975 – 1989 гг. с подсчетом запасов по состоянию на 01.01.1990 г. — Фрунзе, 1990. — 287 с.]

4. **Project** for geological exploration at the lower horizons (2370–2250 m) of the Makmal deposit, Bishkek, PIC Ken-Too, 2002, 138 pp. [**Проект** на проведение геологоразведочных работ на нижних горизонтах (2370–2250 м) месторождения Макмал. — Бишкек: ПИЦ “Кен-Тоо”. —2002. — 138 с.]
5. **A special project** for the development of ore reserves in the pillars of the horizons adits no. 7 and no. 6 of the southern ore body of the Makmal mine of the Makmalzoloto branch (the entire horizon is 2445 m), Bishkek, 2010, 97 pp. [**Специальный проект** на отработку запасов руды в целиках горизонтов штолен № 7 и № 6 южного рудного тела рудника “Макмал” филиала “Макмалзолото” (целик горизонта 2445 м). — Бишкек. — 2010. — 97 с.]
6. **Tazhibaev D. K., Tazhibaev K. T., and Kuvakov S. Zh.** Recommendations for the safe mining of ore reserves in pillars at the Makmal mine, Modern problems of continuum mechanics, Bishkek, 2015, issue 21, pp. 134–140. [**Тажобаев Д. К., Тажибаев К. Т., Куваков С. Ж.** Рекомендации по безопасной отработке запасов руды в целиках на руднике “Макмал” // Современные проблемы механики сплошных сред. — Бишкек. — 2015. — Вып. 21. — С. 134–140.]
7. **Kuvakov S. Zh., Kozhogulov K. Ch., and Kabaeva G. Dz.** Mathematical modeling of massif state around the mountain road slopes and highland pit, Challenges and innovations in Geotechnics, Astana, 2016, pp. 217–241.