

УДК 622.023.2(575.22)

DOI: 10.36979/1694-500X-2023-23-4-162-168

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ БОЗЫМЧАК

Е.А. Альпиев, М.М. Шамсутдинов, М.С. Акматалиева

Аннотация. Приводятся общие сведения о геологических особенностях горных пород месторождения Бозымчак. Представлены методика и данные исследований свойств горных пород месторождения, в частности, результаты определения плотностных, акустических, деформационных и прочностных характеристик горных пород, отобранных непосредственно из приконтурного массива вокруг подземных горных выработок рудника Бозымчак. Установлено, что горные породы месторождения имеют достаточно высокие показатели упругости и прочности. Доказано, что высокие значения прочностных и деформационных характеристик горных пород свидетельствуют о возможности динамического проявления горного давления в массиве, сложенном гранодиоритами и рудоносными горными породами, свойства которых необходимо изучать в дальнейшем для определения генетических остаточных напряжений и удароопасности этих пород.

Ключевые слова: рудник; выработка; горная порода; месторождение; плотность; прочность; акустика; деформационная характеристика.

БОЗЫМЧАК КЕНИНДЕГИ ТОО ТЕКТЕРИНИН ФИЗИКАЛЫК-МЕХАНИКАЛЫК КАСИЕТТЕРИ ЖАНА ГЕОЛОГИЯЛЫК ӨЗГӨЧӨЛҮКТӨРҮ

Е.А. Альпиев, М.М. Шамсутдинов, М.С. Акматалиева

Аннотация. Макалада Бозымчак кенинин тоо тектеринин геологиялык өзгөчөлүктөрү жөнүндө жалпы маалымат берилген. Кен чыккан жердин тоо тектеринин касиеттерин изилдөө методикасы жана маалыматтары, атап айтканда, Бозымчак кенинин жер астындагы тоо кен иштетүүлөрүнүн тегерегиндеги контурдук массивден түздөн-түз алынган тоо тектеринин тыгыздыгы, акустикалык, деформациялык жана бекемдик мүнөздөмөлөрүн аныктоонун жыйынтыктары келтирилген. Кендин тоо тектери жетишээрлик жогорку ийкемдүүлүккө жана бекемдикке ээ экендиги аныкталган. Тоо тектеринин бекемдик жана деформациялык мүнөздөмөлөрүнүн жогорку мааниси гранодиориттер жана рудалуу тоо тектери менен түзүлгөн массивде тоо басымынын динамикалык көрүнүштөрүнүн мүмкүндүгү жөнүндө күбөлөндүрө тургандыгы далилденген, алардын касиеттерин генетикалык калдык чыңалууларды жана бул породаардын сокку коркунучтуулугун аныктоо үчүн андан ары изилдөө зарыл.

Түйүндүү сөздөр: кен; иштетүү; тоо тек; кен; тыгыздык; бекемдик; акустика; деформациялык мүнөздөмө.

GEOLOGICAL FEATURES AND PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ROCKS OF THE BOZYMCHAK DEPOSIT

E.A. Alpiev, M.M. Shamsutdinov, M.S. Akmatalieva

Abstract. General information about the geological features of Bozymchak deposit rocks is given. The methodology and data of research of the properties of Bozymchak deposit rocks are presented. In particular, the results of determination of the density, acoustic, deformation and strength characteristics of rocks directly selected from the contour mass around the underground mine workings of Bozymchak ore-mine are presented. It was revealed that the rocks of the deposit have rather high characteristics of elasticity and strength. It has been established that high values of strength and deformation characteristics of rocks evidence on the possibility of dynamic development of rock pressure in a rock

mass composed of granodiorites and ore-bearing rocks, the properties of which need to be studied in the future to determine the genetic residual stresses and rock burst hazard of these rocks.

Keywords: ore-mine; mine working; rock; deposit; density; strength; acoustics; deformation characteristic.

Введение. Золотомедное месторождение Бозымчак расположено на территории Ала-Букинского района Джалал-Абадской области Кыргызской Республики.

В литолого-стратиграфическом отношении в строении месторождения принимают участие осадочные, интрузивные и метаморфические скальные горные породы. На месторождении выделяются следующие комплексы скальных горных пород и руд: мраморизованные, ожелезненные и доломитизированные известняки, скарны, серпентиниты и гранодиориты.

Известняки лежачего бока рудной зоны грубослоистые мраморизованные, частично окварцованные и скарнированные. Породы весьма крепкие, трещиноватость незначительная.

Скарны рудных тел приурочиваются к контакту интрузии гранодиоритов с известняками. Скарновая залежь в основном падает в южном направлении под гранодиориты, а в восточной части, после поворота рудной залежи к юго-востоку, установлено обратное падение – под известняки.

Наиболее слабыми породами на месторождении являются серпентиниты, чередующиеся с блоками скарнов и ксенолитами известняков и ороговикованных песчаников. Участки массива, где встречаются серпентиниты, неустойчивые, поэтому при проходке подземных горных выработок в пределах данных горных пород необходимо принимать меры по поддержанию кровли в виде специальных крепей.

Имеющиеся в пределах месторождения гранодиориты скарнированы, окварцованы и серпентинизированы. Объем этих горных пород составляет значительную часть месторождения. Эти горные породы достаточно прочные, имеют незначительные нарушения сплошности.

В целом горные породы и руды месторождения в основной своей массе являются устойчивыми, наименее устойчивы те участки массива, где встречаются серпентиниты. Особенно неустойчивы интервалы серпентинитов и руд вблизи зон тектонических нарушений и обводнённых участков [1].

Методы и результаты исследования. Для оценки напряженно-деформированного состояния массива, в котором предусматривается проведение подземных горных выработок и выполнения расчета устойчивости их обнажений, необходимо, в первую очередь проводить исследования свойств горных пород, отобранных из участков массива, где будут пройдены подземные горные выработки и непосредственно из приконтурного массива вокруг подземных горных выработок (боковые стенки).

В этой связи были проведены исследования по определению физико-механических свойств основных горных пород, непосредственно отобранных из приконтурного массива вокруг подземных горных выработок рудника Бозымчак.

Для определения объемного веса авторы применяли метод гидроскопического взвешивания, для этого были изготовлены образцы неправильной формы из проб горных пород – монолитных блоков. Взвешивание образцов осуществляли с помощью высокоточных (точность 0,15 мг) весов марки ВЛР-200. При определении объемного веса (плотности) применялась следующая расчетная формула [2]:

$$\rho = \frac{P}{P - P_1}, \quad (1)$$

где P – вес сухого образца, г; P_1 – вес образца, погруженного в воду, г.

Данные объемного веса горных пород месторождения Бозымчак, полученные в результате исследований, приведены в таблице 1.

В последнее время для исследования упругости твердых материалов, и в частности горных пород, широко применяется ультразвуковой динамический метод, сущность которого заключается в первоначальном определении времени прохождения упругих волн продольного и поперечного типа. Затем по расчетным формулам определяются акустические и деформационные характеристики.

Таблица 1 – Данные объемного веса горных пород месторождения Бозымчак

Горная порода	Номер образца	Вес в сухом состоянии, г	Вес в воде, г	Объемный вес, г/см ³
Проба № 1 Известняк мраморизованный	1	25396	16088	2,72
	2	29694	18882	2,74
	3	34500	21934	2,74
	4	52774	33503	2,73
	5	55780	35345	2,72
	Ср. знач.			2,73
	Ср. кв. откл.			0,006
Коэф. вар.			0,2	
Проба № 2 Известняк железненный	1	29981	19153	2,76
	2	28661	18268	2,75
	3	28425	18130	2,76
	4	34466	22088	2,78
	5	38713	24809	2,78
	Ср. знач.			2,77
	Ср. кв. откл.			0,01
Коэф. вар.			0,3	
Проба № 3 Известняк доломитизированный	1	16663	10764	2,82
	2	30434	19380	2,75
	3	29586	18955	2,78
	4	35689	22843	2,77
	5	40583	25876	2,75
	Ср. знач.			2,78
	Ср. кв. откл.			0,02
Коэф. вар.			0,8	
Проба № 4 Гранодиорит	1	19024	12646	2,98
	2	29138	19473	3,01
	3	33782	22215	2,92
	4	34258	22570	2,9
	5	37319	24284	2,86
	Ср. знач.			2,94
	Ср. кв. откл.			0,04
Коэф. вар.			1,6	

При проведении экспериментов авторы применяли ультразвуковой импульсный метод, который основан на фиксировании времени прохождения ультразвуковых волн через призматический образец, при этом преобразователи для излучения и приема устанавливали на торцах образца. Скорости прохождения ультразвуковой продольной (V_p) и поперечной (V_s) волн при сквозном прозвучивании определяли по следующим формулам:

$$V_p = \frac{L}{t_p}, \quad V_s = \frac{L}{t_s}, \quad (2)$$

где L – высота образца, м; t_p, t_s – время прохождения ультразвуковой продольной и поперечной волн сквозь образец, сек.

После определения скорости ультразвуковых волн проводили расчет показателей коэффициента Пуассона (μ) [3] и динамического модуля упругости (E) [2] горных пород по формулам:

$$\mu = \frac{V_s}{2V_p + V_s}, \quad E = V_s^2 \cdot \rho \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{(1 - \mu)}. \quad (3)$$

Модуль сдвига находили по формуле:

$$G = V_s \cdot \rho. \quad (4)$$

Расчет модуля объемной упругости (K) производили по формуле:

$$K = \frac{E}{3(1 - \mu)}. \quad (5)$$

Данные акустических и деформационных характеристик горных пород месторождения Бозымчак, полученные с помощью ультразвукового импульсного метода, представлены в таблице 2.

Для отобранных горных пород месторождения Бозымчак предел прочности при одноосном сжатии экспериментально определяли с помощью стандартного метода [4] (ГОСТ 21153.2–84). Исходя из требований стандарта были изготовлены образцы горных пород, имеющие правильную призматическую форму, при этом высота образца была в два раза больше, чем ширина его основания. Испытания образцов призматической формы производили посредством давления плит гидравлического пресса на его противоположные торцы.

Расчет предела прочности при одноосном сжатии производили по формуле:

$$\sigma_c = \frac{P_{\max}}{S}, \quad (6)$$

где P_{\max} – максимальная разрушающая нагрузка, кГ; S – площадь поперечного сечения образца, см².

Для определения предела прочности при растяжении был применен известный косвенный метод (ГОСТ 21153.3–85 – Бразильский метод), при этом были изготовлены образцы цилиндрической формы с высотой, примерно равной его диаметру. Раскол образца осуществляли с помощью плит пресса, давление производилось перпендикулярно к образующим цилиндрического образца [5].

Предел прочности при растяжении определяли по формуле:

$$\sigma_p = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{F}{d \cdot l} = 0,637 \frac{F}{S}, \quad (7)$$

где F – максимальная разрушающая нагрузка, кГ; S – площадь основания образца, см².

По данным предела прочности на сжатие и растяжение, определенных экспериментальным путем, проведен расчет показателя сцепления и угла внутреннего трения по формулам [2]:

$$C = \frac{\sqrt{\sigma_p \cdot \sigma_c}}{2},$$

Таблица 2 – Данные акустических и деформационных характеристик горных пород месторождения Бозымчак

Горная порода	Скорость прохождения продольной волны, V_p , м/с	Скорость прохождения поперечной волны, V_s , м/с	Коэф. Пуассона	Модуль упругости, $E \cdot 10^4$, МПа	Модуль сдвига, $G \cdot 10^4$, МПа
Известняк мраморизованный	5938	2671	0,183	6,356	2,685
	5970	2661	0,182	6,452	2,729
	5941	2661	0,182	6,375	2,694
	5941	2663	0,183	6,373	2,693
	5938	2663	0,183	6,365	2,690
Сред. значение	5945,6	2663,8	0,183	6,384	2,698
Сред. квад. откл.	12,27	3,70	0,0004	0,03	0,01
Коэф. вариации	0,2	0,1	0,2	0,5	0,5
Доломитизированный известняк	5781	2632	0,185	6,077	2,563
	5805	2694	0,188	6,071	2,554
	5805	2694	0,188	6,071	2,554
	5806	2697	0,188	6,070	2,553
	5806	2697	0,188	6,070	2,553
Сред. значение	5800,6	2682,8	0,187	6,072	2,556
Сред. квад. откл.	9,81	25,43	0,001	0,002	0,003
Коэф. вариации	0,1	0,9	0,6	0,04	0,1
Ожелезненный известняк	5994	2802	0,189	6,450	2,711
	5994	2802	0,189	6,450	2,711
	5997	2811	0,189	6,447	2,709
	5997	2811	0,189	6,447	2,709
	6001	2811	0,189	6,458	2,714
Сред. значение	5996,6	2807,4	0,189	6,450	2,711
Сред. квад. откл.	2,57	4,40	0,0001	0,003	0,001
Коэф. вариации	0,04	0,1	0,1	0,06	0,06
Гранодиорит	5530	2457	0,181	5,625	2,380
	5530	2457	0,181	5,625	2,380
	5496	2463	0,183	5,534	2,339
	5496	2463	0,183	5,534	2,339
	5515	2460	0,182	5,585	2,361
Сред. значение	5513,4	2460	0,182	5,581	2,360
Сред. квад. откл.	15,22	2,68	0,0005	0,04	0,018
Коэф. вариации	0,2	0,1	0,3	0,7	0,7

$$tg\varphi = \frac{\sigma_c - \sigma_p}{2\sqrt{\sigma_p \cdot \sigma_c}}. \quad (8)$$

Результаты определения прочности на сжатие и растяжение, сцепления и угла внутреннего трения горных пород месторождения Бозымчак приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты определения прочности на сжатие и растяжение, сцепления и угла внутреннего трения горных пород месторождения Бозымчак

Горная порода	Предел прочности на одноосное сжатие, МПа	Предел прочности на одноосное растяжение, МПа	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град.
Известняк мраморизованный	40,8	4,2	6,5	54
	42,0	3,5	6,0	57
	51,7	5,1	8,1	54
	43,2	3,9	6,5	56
	49,4	3,8	6,8	58
Среднее значение	45,4	4,1	6,8	56
Сред. квадр. отклон.	4,30	0,57	0,71	1,72
Коэф. вариации	9,4	13,8	10,4	3,0
Известняк железненный	79,2	8,3	12,8	54
	74,0	6,1	10,6	57
	69,5	6,3	10,4	56
	62,5	6,2	9,8	54
	72,9	7,6	11,8	54
Среднее значение	71,6	6,9	11,1	55
Сред. квадр. отклон.	5,52	0,88	1,06	1,46
Коэф. вариации	7,7	12,7	9,5	2,6
Известняк доломитизированный	80,3	8,0	12,7	54
	78,2	7,1	11,7	56
	83,7	6,4	11,6	58
	103,4	9,4	15,5	56
	92,3	6,1	11,9	61
Среднее значение	87,6	7,4	12,7	57
Сред. квадр. отклон.	9,25	1,17	1,48	2,18
Коэф. вариации	10,5	15,8	11,6	3,7
Гранодиорит	147,7	13,4	22,2	56
	180,5	18,0	28,5	54
	179,1	14,9	25,8	57
	149,7	11,5	20,7	58
	199,6	13,3	25,7	61
Среднее значение	171,3	14,2	24,6	57
Сред. квадр. отклон.	19,82	2,18	2,77	2,10
Коэф. вариации	11,5	15,3	11,2	3,6

Выводы. Результаты экспериментальных работ по определению свойств горных пород, отобранных из приконтурного массива вокруг подземных горных выработок рудника Бозымчак, позволяют отметить следующее:

Горные породы рудника относятся к достаточно плотным породам. Показатели плотности известняков (мраморизованный, ожелезненный и доломитизированный) в среднем варьируют от 2,73 до 2,78 г/см³, гранодиорита – от 2,86 до 3,01 г/см³.

Скорость прохождения продольной ультразвуковой волны для известняков варьирует в среднем от 5800 до 5996 м/с, поперечной – от 2663 до 2807 м/с; для гранодиоритов – 5513 м/с, поперечной – 2460 м/с. Модуль упругости известняков варьирует в среднем от $6,0 \cdot 10^4$ до $6,4 \cdot 10^4$ МПа, а для гранодиорита в среднем – $5,5 \cdot 10^4$ МПа,

Среднее значение прочности призматических образцов при одноосном сжатии известняков варьирует в пределах от 45 до 87 МПа, а для гранодиорита – 171 МПа, при этом наиболее низкие значения прочности имеют место у известняка мраморизованного. Образцы гранодиорита разрушались в целом при больших нагрузках, характер разрушения образцов данной горной породы – динамический.

Результаты определений прочностных и деформационных характеристик отобранных горных пород свидетельствуют о возможности динамического проявления горного давления в массиве, сложенном гранодиоритами и рудоносными горными породами, свойства которых необходимо изучать в дальнейшем для определения их генетических остаточных напряжений и удароопасности.

Поступила 15.12.22; рецензирована: 29.12.22; принята: 09.01.23.

Литература

1. Добычный комплекс подземного рудника на месторождении «Бозымчак» (корректировка): отчет проекта. Том 2. Кн. 1. ТОО «Казгипроцветмет». 2020. С. 5–28.
2. Свойства горных пород и методы их определения / Е.И. Ильницкая, Р.И. Тедер, Е.С. Ватолин, М.Ф. Кунтыш; под ред. д-ра техн. наук проф. М.М. Протодяконова. М.: Недра, 1969. 392 с.
3. *Тажобаев К.Т.* Метод определения характеристик упругости твердых материалов / К.Т. Тажибаев, М.Ж. Ормонов // Проблемы современной науки и образования. 2017. № 9 (91). С. 52–57.
4. ГОСТ 21153.2–84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. – М.: Изд-во стандартов, 2001. 8 с.
5. ГОСТ 21153.3–85. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении. М.: Изд-во стандартов, 1986. 18 с.