

УДК 622.02

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ГОРНЫХ ПОРОД И РУД УЧАСТКА САРЫТОР КУМТОРСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Тажибаев К.Т., Акматалиева М.С.

Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук
Кыргызской Республики

В данной статье приводятся результаты исследования физико-механических свойств и остаточных напряжений горных пород и руд участка Сарытор Кумторского месторождения. Установлено, что в метасоматитах участка Сарытор Кумторского месторождения преобладают сжимающие остаточные напряжения, а в тиллитах имеются весьма незначительные как сжимающие, так и растягивающие остаточные напряжения.

Ключевые слова: горная порода, руда, ультразвуковая волна, остаточное напряжение, метасоматит, тиллит, филлит, Сарытор.

**КУМТӨР КЕНИНИН САРЫТОР БОЛҮГҮНДӨГҮ ТОО-ТЕКТЕРИНИН,
КЕНДЕРДИН ФИЗИКО-МЕХАНИКАЛЫК КАСИЕТТЕРИН
ИЗИЛДӨӨЛӨРДҮН ЖЫЙЫНТЫКТАРЫ**

Тажибаев К.Т., Акматалиева М.С.

Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын Геомеханика
жана жер казынасын өздөштүрүү институту

Макалада Кумтөр кенинин Сарытор болүгүндөгү тоо- тектеринин жана кендердин физико-механикалык касиеттеринин жана калдыктуу чыңалууларынын көрсөткүчтөрү келтирилген. Изилдөөлөрдүн жыйынтыгы боюнча Кумтөр кенинин Сарытор бөлүгүндө метасоматит тоо-тектеринде кысылуучу калдыктуу чыңалуулар олуттуу түрдө басымдуулук кылат, ал эми тиллит тоо-тегинде азыраак өлчөмдө кысылуучу жана чоюлуучу калдыктуу чыңалуулар бар экендигин көрдүк.

Баштапкы сөздөр: тоо-теги, кен, ультраүн толкуну, метасоматит, тиллит, филлит, калдыктуу чыңалуу, Сарытор.

RESEARCH RESULTS OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ROCKS AND ORES OF KUMTOR DEPOSIT SARYTOR SECTOR

Tazhibaev K.T., Akmatalieva M. S.

Institute of geomechanics and development of bowels National Academy of Sciences

The results of a research of physical and mechanical properties and residual stresses of rocks and ores of the Sarytor sector of Kumtor deposit are presented in article. It has been established that compressive residual stresses prevail in the metasomatites of Sarytor sector of Kumtor deposit, and very insignificant compressive and tensile residual stresses are present in tillite.

Keywords: rock, ore, ultrasonic wave, residual stress, metasomatite, tillite, phyllite, Sarytor.

При освоении месторождений полезных ископаемых для обеспечения безопасности и эффективности горного производства требуются данные о механических свойствах, а также о напряженном состоянии горных пород. Необходимо проводить детальные исследования механических свойств и напряжений горных пород месторождений, расположенных в горных регионах Кыргызской Республики. В связи с этим в настоящее время проблема геомеханического обеспечения безопасной и рациональной разработки рудных месторождений полезных ископаемых, расположенных в горных сейсмоактивных регионах Кыргызстана актуальна для республики.

Участок Сарытор Кумторского месторождения расположен в высокогорно-ледниковой области на абсолютных высотах 3700-4100 м. Район характеризуется отрицательной среднегодовой температурой воздуха, широким развитием ледников, наличием мощной толщи до 250 м многолетнемерзлых пород.

Рудоносная часть участка Сарытор сложена преимущественно породами джетымтауской свиты. С поверхности его территория практически полностью перекрыта древнечетвертичными и современными ледниковыми отложениями, за исключением южного фланга. В западной части участка под моренными отложениями и надвинутыми породами джетымтауской свиты распространены красноцветные глины и конгломераты киргизской свиты. Нижняя пачка свиты джетымтау сложена темно-серыми, серо-зелеными тонко-среднеслоистыми филлитами и зеленовато-серыми среднегубо-слоистыми тиллитоподобными конгломератами. Филлиты образованы по алевролитам. Среди них выделяются серицит-кварцевые, хлорит-серицитовые и кварц-серицит-хлоритовые разновидности. Хлорит-серицитовые сланцы представлены темно-серыми, зеленоватыми породами, состоящими приблизительно в равных количествах из хлорита и серицита. Кварц-серицит-хлоритовые сланцы

отличаются от кварц-серицитовых меньшим содержанием кварца, большим количеством гидрослюд и хлорита в раскристаллизованной глинистой массе. В последней содержится тонкораспыленное углистое вещество. Встречается тонкорассеянный осадочный пирит. Тиллитоподобные конгломераты представляют собой зеленовато-серые средне-грубослоистые филлиты, в которых беспорядочно рассеяна галька преимущественно доломитов и доломитизированных известняков. Для определения физико-механических свойств горных пород и руд участка Сарытор в лабораторию были представлены монолитные блоки скальных горных пород отобранные из уступов 3890, 3900 и 3914 и керны горных пород из скважины SR-12-25 и (рис.1,2).

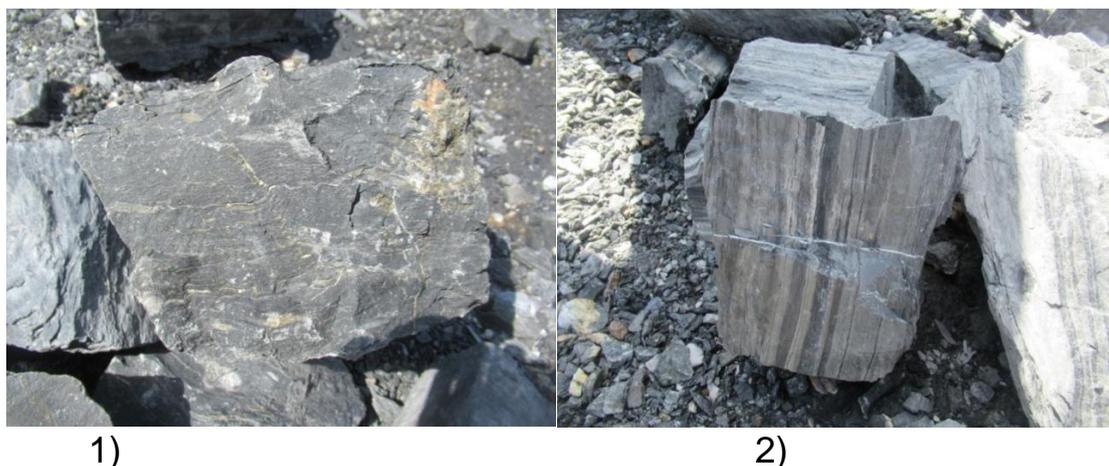


Рис. 1. 1) - Блок № TILL-3914 отобранный на уступе 3914, представлен тиллитоподобными конгломератами темно-серого цвета про-жилками кварца. 2) - Блок № P-3914 отобранный на уступе 3914, блок представлен полосчатыми филлитами серого, темно-серого цвета.



Рис.2. Цилиндрические образцы изготовленные из кернов, отобранных из скважины SR-12-205 карьера Сарытор
Определение акустических, плотностных, деформационных и прочностных свойств скальных горных пород участка Сарытор проводилось по стандартным методам. В таблице 1 представлены результаты определения акустических, плотностных и деформационных свойств горных пород участка Сарытор Кумторского месторождения.

Таблица 1- Акустические, плотностные и деформационные характеристики горных пород и руд участка
Сары-Тор месторождения Кумтор

| № образца и интервал отбора пробы, м | Название породы | Высота и диаметр образца (Н/Д), мм | угол слоистости (α), градус и плотность породы ρ , г/см ³ (α / ρ) | Скорость прохождения продольной ультразвуковой волны, м/с | Скорость прохождения поперечной ультразвуковой волны, м/с | Коэффициент Пуассона μ | Модуль Юнга, $E \cdot 10^4$, МПа | Модуль объемного сжатия $B \cdot 10^4$ МПа | Модуль сдвига, $G \cdot 10^4$, МПа | Акустическая жесткость, $Aж \cdot 10^6$ кг/сек·м ² |
|--------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|--|---|---|----------------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------------|---|
| Скважина SR-12-205 | | | | | | | | | | |
| №20, 270,5- 280,1 | Углистый филлит с известняком | 125,7/ 62,3 | Вдоль слоистости и $\alpha = 0^0$, $\rho = 2,96$ | 5513,1 | 2865,9 | 0,2062 | 5,4949 | 3,1181 | 2,2775 | 16,318 |
| | | | | 5527,7 | 2903,0 | 0,2079 | 5,4924 | 3,1346 | 16,362 | |
| | | | | 5522,8 | 2909,7 | 0,2085 | 5,4728 | 3,1291 | 16,347 | |
| | | | | 5530,1 | 2905,0 | 0,2080 | 5,4964 | 3,1374 | 16,369 | |
| | | | | 5527,7 | 2911,7 | 0,2084 | 5,4830 | 3,1346 | 16,362 | |
| Среднее значение | | | | 5524,3 | 2899,0 | 0,2078 | 5,4879 | 3,1308 | 2,2717 | 16,351 |
| Средне квадратическое отклонение | | | | 6,0580 | 1,8683 | 0,0008 | 0,0088 | 0,0068 | 0,0047 | 0,0179 |
| Коэффициент вариации | | | | 0,1096 | 0,5818 | 0,3886 | 0,1612 | 0,2192 | 0,2087 | 0,1096 |
| №15, 216,1- 271,6 | углистый филлит с известняком | 174,7/85 | поперек слоистости $\alpha = 90^0$, $\rho = 2,83$ | 4554,4 | 2988,5 | 0,2470 | 3,0879 | 2,0345 | 1,2381 | 12,889 |
| | | | | 4552,0 | 2990,0 | 0,2472 | 3,0824 | 2,0324 | 12,882 | |
| | | | | 4554,4 | 2985,9 | 0, | 3,0899 | 2,0345 | 12,889 | |
| | | | | 4553,2 | 2994,6 | 2468 | 3,0811 | 2,0334 | 12,885 | |
| | | | | 4549,7 | 2992,1 | 0,2474 | 3,0764 | 2,0303 | 12,875 | |
| Среднее значение | | | | 4552,7 | 2990,2 | 0,2472 | 3,0835 | 2,0330 | 1,2361 | 12,884 |
| Средне квадратическое отклонение | | | | 1,7742 | 2,9759 | 0,0002 | 0,0048 | 0,0015 | 0,0021 | 0,0050 |
| Коэффициент вариации | | | | 0,0389 | 0,0995 | 0,0933 | 0,1571 | 0,0779 | 0,1746 | 0,0389 |

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--|----------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| №2, 216,1- 271,6 | ритмич- ный филлит с известня- ком | 150,2/85 | поперек слоистост и $\alpha = 90^{\circ}$, $\rho = 2,83$ | 4302,4 | 2524,3 | 0,2268 | 2,9760 | 1,8156 | 1,2128 | 12,176 |
| | | | | 4301,2 | 2530,7 | 0,2273 | 2,9689 | 1,8146 | 1,2095 | 12,172 |
| | | | | 4300,0 | 2532,8 | 0,2275 | 2,9650 | 1,8135 | 1,2077 | 12,169 |
| | | | | 4306,1 | 2532,4 | 0,2272 | 2,9766 | 1,8187 | 1,2127 | 12,186 |
| | | | | 4303,7 | 2536,7 | 0,2276 | 2,9689 | 1,8167 | 1,2092 | 12,179 |
| Среднее значение | | | | 4302,7 | 2531,4 | 0,2273 | 2,9711 | 1,8158 | 1,2104 | 12,176 |
| Средне квадратическое отклонение | | | | 2,1210 | 4,0399 | 0,0002 | 0,0044 | 0,0017 | 0,0020 | 0,0060 |
| Коэффициент вариации | | | | 0,0492 | 0,1595 | 0,1224 | 0,1510 | 0,0986 | 0,1689 | 0,0492 |
| №1, 175,5- 178,5 | Углеро- дистый филлит | 187,2/85 | поперек слоистос- ти $\alpha = 90^{\circ}$, $\rho = 2,81$ | 4872,3 | 3053,0 | 0,2385 | 3,6266 | 2,3120 | 1,4640 | 13,691 |
| | | | | 4873,5 | 3075,6 | 0,2398 | 3,6105 | 2,3132 | 1,4560 | 13,694 |
| | | | | 4873,5 | 3074,6 | 0,2397 | 3,6114 | 2,3132 | 1,4564 | 13,694 |
| | | | | 4872,3 | 3077,1 | 0,2399 | 3,6068 | 2,3120 | 1,4543 | 13,691 |
| | | | | 4872,3 | 3079,2 | 0,2401 | 3,6051 | 2,3120 | 1,4535 | 13,691 |
| Среднее значение | | | | 4872,8 | 3071,9 | 0,2396 | 3,6121 | 2,3124 | 1,4568 | 13,692 |
| Средне квадратическое отклонение | | | | 0,6220 | 9,5679 | 0,0005 | 0,0076 | 0,0005 | 0,0037 | 0,0017 |
| Коэффициент вариации | | | | 0,0127 | 0,3114 | 0,2346 | 0,2113 | 0,0255 | 0,2566 | 0,0127 |
| №9, 196,2- 197,2 | Тиллит с конгло- мератами | 191/85 | $\alpha = 70^{\circ}$, $\rho = 2,86$ | 4316,3 | 2908,0 | 0,2519 | 2,7482 | 1,8467 | 1,0975 | 12,344 |
| | | | | 4321,2 | 2917,8 | 0,2523 | 2,7498 | 1,8509 | 1,0978 | 12,358 |
| | | | | 4323,2 | 2920,4 | 0,2524 | 2,7513 | 1,8526 | 1,0983 | 12,364 |
| | | | | 4324,2 | 2920,0 | 0,2524 | 2,7533 | 1,8534 | 1,0992 | 12,367 |
| | | | | 4326,1 | 2919,5 | 0,2523 | 2,7571 | 1,8551 | 1,1008 | 12,372 |
| Среднее значение | | | | 4322,2 | 2917,1 | 0,2523 | 2,7519 | 1,8518 | 1,0987 | 12,361 |
| Средне квадратическое отклонение | | | | 3,3294 | 4,6678 | 0,0001 | 0,0030 | 0,0028 | 0,0011 | 0,0095 |
| Коэффициент вариации | | | | 0,0770 | 0,1600 | 0,0707 | 0,1120 | 0,1540 | 0,1076 | 0,0770 |

При определении прочности на одноосное сжатие и растяжение приложение разрушающей нагрузки проводилось параллельно и перпендикулярно слоистости горных пород. Испытание образцов цилиндрической формы проводилось при различных углах между направлением вертикального сжимающего разрушающего напряжения и слоистости горных пород. Установлено, что прочностные характеристики горных пород участка Сары-Тор в значительной мере в 2-3 раза изменяются в зависимости от угла между направлениями слоистости и разрушающей силы: например, прочность при одноосном сжатии, растяжении и показатель сцепления филлита полосчатого поперек слоистости составляет 79,4; 3,19; 7,94 МПа соответственно, а вдоль слоистости - 39,68; 15,87; 3,97 МПа; для филлита углеродосодержащего поперек слоистости - 70,2; 2,81; 7,17 МПа, а вдоль слоистости - 23,33; 0,93; 2,3 МПа.

Отличительной особенностью горных пород участка Сарытор, которые представлены различными филлитами, является их слоистая структура, так как они имеют осадочное и метаморфическое происхождение. Поэтому при расчетах устойчивости бортов карьера необходимо рассматривать вскрышные горные породы данного месторождения как слоистую и анизотропную по механическим свойствам среду.

Ранее экспериментальными исследованиями нами была показана возможность определения остаточных и действующих напряжений в твердых материалах, в том числе горных породах на основе закономерности изменения относительной величины скорости прохождения ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны от механического напряжения в твердых материалах (закон Кушбакали) :

$$\sigma_x = \left(\frac{V_{SOZ}}{V_{SZ}} - 1 \right) K_z; \quad \sigma_y = \left(\frac{V_{SOX}}{V_{SX}} - 1 \right) K_x; \quad \sigma_z = \left(\frac{V_{SOY}}{V_{SY}} - 1 \right) K_y$$

Как видно из формулы, знак напряжения зависит от величины $\left(\frac{V_{SO}}{V_S} - 1 \right)$ и эту величину назвали акустическим показателем напряженности, так как величина и знак напряжения, в том числе остаточного, определяется и зависит главным образом от этого параметра.

Для исследований можно применять образцы кубической и цилиндрической формы. Для определения компонент остаточных напряжений по трем взаимно перпендикулярным направлениям применяются образцы кубической формы с размером, обеспечивающей представительность изучаемой горной породы.

На рис. 2 и 3 представлены графики параметра остаточных напряжений в образцах горных пород участка Сарытор.



Рис. 2 – График параметра остаточных напряжений в объеме образца метасоматита для разных направлений (участок Сарытор р. Кумтор, призма 120x45x55 мм).



Рис. 3 – График параметра остаточных напряжений в объеме образца тиллита для разных направлений (участок Сарытор р. Кумтор, скв. SR-12-205, призма 90x58x40мм, плотность 2,84 г/см³, $V_p=5960,3$ м/с).

Из рисунка 2 видно, что в образце метасоматита участка Сарытор Кумторского месторождения преобладает сжимающие остаточные напряжения. В образце тиллита участка Сарытор Кумторского месторождения рис. 3 имеются весьма незначительные как сжимающие, так и растягивающие остаточные напряжения.

Выводы:

1. Результаты определения прочностных и деформационных характеристик горных пород участка Сарытор Кумторского месторождения свидетельствуют о возможности динамических проявлений горного давления в виде стреляний горных пород и горных ударов в участках породного массива, сложенного метасоматитами, что необходимо учитывать при дальнейших исследованиях и расчетах устойчивости обнажений горных выработок.
2. Выявлено, что в образце метасоматита участка Сарытор Кумторского месторождения преобладают сжимающие остаточные напряжения, которые по направлениям 0 и 360 градусов имеют высокие максимальные значения, а в образце тиллита имеются весьма незначительные как сжимающие, так и растягивающие остаточные напряжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильницкая Е.И. и др. Свойства горных пород и методы их определения.- М.: "Недра", 1969. - 392 с.
2. ГОСТ 24941-81. Породы горные. Методы определения механических свойств нагружением сферическими инденторами.
3. ГОСТ 21153.2-84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии
4. Тажибаев К.Т., Акматалиева М.С., Тажибаев Д.К. Способ определения остаточных и действующих напряжений в твердых материалах / Патент Кыргызской Республики: № 1826, зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Кыргызской Республики 29.01.2016 г.
5. Тажибаев К.Т. Условия динамического разрушения горных пород и причины горных ударов. – Фрунзе: Илим, 1989. – 179 с.