

УДК 622. 02

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ АК-ТАШ**

**Акматалиева М.С., Карабаева Б.К.**

Институт машиноведения, автоматики и геомеханики НАН КР

Приводятся выводы и результаты исследования прочностных свойств горных пород Ак-Ташского месторождения. Представлены методики исследования прочностных свойств горных пород. Доказано, что по деформационным характеристикам наиболее высокие значения характерны для скарнов, метасоматитов и гранодиоритов, а низкие для мрамор. Прочностные характеристики горных пород, образцы неправильной формы, которые определялись для всех представленных проб на приборе БУ-39 в среднем выше, чем прочностные характеристики, которые определялись с использованием образцов правильной геометрической формы, это обусловлено меньшим размером образцов и соответственно здесь присутствует влияние объемного фактора, чем меньше образец, тем меньше в нем структурных нарушений. Высокие значения механических характеристик и динамический характер разрушения представленных горных пород свидетельствуют о возможных динамических проявлениях горного давления в массиве сложенного гранодиоритами и рудоносными горными породами.

**Ключевые слова:** горная порода, месторождение, деформационная характеристика, плотность, прочность, разрушение.

## **АК-ТАШ КЕНИНДЕГИ ТОО ТЕКТЕРИНИН БЕКЕМДИК КАСИЕТТЕРИН ИЗИЛДӨӨНУН ЖЫЙЫНТЫКТАРЫ**

**Акматалиева М.С., Карабаева Б.К.**

МТАГИ Кыргыз Республикасынын УИА нын Машина таануу автоматика жана геомеханика институту

Ак-Таш кениндеги тоо тектеринин бекемдик касиеттерин изилдөөнүн жыйынтыгы жана корутундулар берилди. Кендеги тоо тектеринин касиеттерин изилдөө ыкмалары келтирилди. Деформациялык

мүнөздөмөлөрдүн жогорку маанилери скарн, гранодиорит жана метасоматит тоо тектерине мүнөздүү экендиги, ал эми төмөнкү маанилер мраморго тиешелуу экендиги аныкталды. Изилденип жаткан тоо тектеринен туура геометриялык формада (цилиндр турунда) даярдалган үлгүлөрдүн бекемдик (бышыктык) мүнөздөмөлөрүн изилдөөдөн алынган орточо көрсөткүчтөрүнө караганда, туура эмес формадагы үлгүлөрдү БУ-39 прибору менен изилдөөдөн алынган бекемдик (бышыктык) мүнөздөмөлөрүнүн орточо көрсөткүчтөрүнүн маанилери жогору экендигин көрдүк, бул болсо үлгүлөрдүн кичине өлчөмдө болушу менен түшүндүрүлөт, бул жерде көлөмдүк фактордун таасири бар, канчалык үлгү кичине болсо, анын түзүлүшүндө бузулуулар ошончолук денгээлде аз болот. Тоо тектеринин механикалык мүнөздөмөлөрүнүн жогорку маанилери жана талкалануусунун динамикалык мүнөзү, гранодиорит жана рудалуу тоо тектери менен түзүлгөн массивде тоо басымынын динамикалык көрүнүштөрүнүн болуу мүмкүндүгү билдирилди.

**Баштапкы сөздөр:** тоо тек, кен иштетуу, тыгыздык, бекемдик, талкалоо, деформациялык мүнөздөмөлөр.

## RESULTS OF RESEARCHES OF THE ROCKS STRENGTH PROPERTIES OF THE AK-TASH DEPOSIT

**Akmatalieva M.S., Karabaeva B.K.**

Institute of Mechanical Engineering, Automation and Geomechanics  
NAS KR

The paper presents the results and conclusions of the study of the strength properties of rocks of the Ak-Tash deposit. The methods of studying the strength properties of rocks are presented. It is proved that the highest values of deformation characteristics are typical of skarns, metasomatites and granodiorites, and low values are typical of marble. The strength characteristics of rocks, irregularly shaped samples, which were determined for all the presented samples on the BU-39 device are on average higher than the strength characteristics that were determined using samples of regular geometric shape, this is due to the smaller size of the samples and, accordingly, there is an influence of the volume factor, the smaller the sample, the less structural disturbances it has. High values of mechanical characteristics and the dynamic nature of the destruction of the presented rocks indicate possible dynamic manifestations of rock pressure in the massif composed of granodiorites and ore-bearing rocks.

**Key words:** rock, deposit, deformation characteristic, density, strength, destruction.

**Введение.** Месторождение Ак-Таш расположен в Манасском районе Таласской области. Таласская область богат горами и залегающими в них полезными ископаемыми. Общие ресурсы месторождения Ак-Таш по JORC оценены в 2-5 млн. тонн руды, содержащей 2-3,5 гр. золота на тонну руды, 0,3-0,7 % меди и от 8 до 12 гр. на тонну серебра.

При освоении месторождений полезных ископаемых для обеспечения безопасности и эффективности горного производства при ведение горных работ требуются данные о прочностных свойствах, а также напряженного состояния горных пород. Поэтому необходимо проводить детальные исследования прочностных свойств и действующих напряжений рудных полезных ископаемых [5]. В этой связи были проведены исследования по определению прочностных свойств горных пород месторождения.

**Методы и результаты исследования.** Для определения прочностных свойств горных пород в лабораторных условиях в лабораторию были представлены керновые пробы горных пород месторождения Ак-Таш (Таласская область), отобранных, из геотехнических скважин. Были представлены следующие керновые пробы горных пород: скарн железистый буро-черного цвета, метасоматиты зеленовато-бурого до черного цвета, скарн-гранат серого цвета, гранодиориты серовато-розового цвета, мрамор окварцованный серовато-белого цвета, роговик темно-серого до зеленовато-серого цвета, скарн-гранатовый зеленовато-бурого до розовато-зеленого цвета и. т. д.

Нами объемный вес (плотность) определялся методом гидроскопического взвешивания на аналитических высокоточных (точность 0,15 мг) весах ВЛР-200. Определение акустических, плотностных, деформационных и прочностных свойств горных пород и руд месторождение Ак-Таш, проводилось по стандартным методам.

Известно, что скорость распространения упругих волн зависит от модуля упругости материала. Поэтому в настоящее время для определения показателей упругости, а именно модуля упругости и коэффициента Пуассона горных пород, получил широкое распространение метод определения скоростей распространения продольных и поперечных упругих волн - ультразвуковой динамический метод. Преимущество ультразвукового метода состоит в том, что скорости прохождения ультразвуковых волн также могут быть использованы в расчетах взрывных работ и устойчивости обнажений массива с учетом их механической анизотропности. Наиболее распространенные методы определения скорости продольных и поперечных волн -это резонансный и импульсный метод. Нами применялся импульсный метод, основанный на непосредственном измерении скорости прохождения ультразвукового импульса через образец (прямое прозвучивание). [1] Для определения акустических, деформационных и прочностных характеристик были изготовлены образцы правильной (цилиндрической) формы (рис.1).



Рис. 1-Образцы горных пород правильной формы для определения акустических, деформационных и прочностных характеристик

По скоростям распространения продольной и поперечной волны определяются модуль упругости ( $E$ ) и коэффициент Пуассона ( $\mu$ ) по следующим формулам (1)- (5), [1;6]

$$\mu = \frac{V_s}{2V_p + V_s} \quad (1),$$

$$E = V_p^2 \rho \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)} \text{ МПа} \quad (2),$$

где  $\rho$  - плотность горной породы;  $V_p$  – скорость продольной волны;  $V_s$  - скорость прохождения поперечной волны.

Модуль сдвига определяется по формуле:  $G = V_s \cdot \rho$  (3),

Модуль объемной упругости определяется из соотношения:

$$K = \frac{E}{3(1-\mu)} \quad (4).$$

Акустическая жесткость определяется по следующей формуле:

$$A = \rho \cdot V_p \quad (5).$$

Для представленных горных пород, в данном случае, прочность при одноосном сжатии определялась общеизвестным стандартным методом (ГОСТ 21153.2-84) - испытания образцов правильной формы [3]. Испытание образца при этом осуществлялось встречным давлением на его плоские торцы, создаваемым при помощи стальных плит гидравлического пресса ЦДМ-100 (Германское производство) в постоянных условиях соответствующих требованиям стандарта (рис.2).

Предел прочности горной породы при одноосном сжатии для каждого испытуемого образца, определялся по следующей формуле (6), [2]

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

Испытания образцов горных пород показали, что характер разрушения образцов гранодиоритов и метасоматитов динамический, в ряде случаев образовались традиционные конусы (рис.3).



Рис.3 - Виды разрушения образцов горных пород при одноосном сжатии.

Результаты определения прочности горных пород при одноосном сжатии приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты определения прочности при одноосном сжатии образцов горных пород правильной формы

| Название горных пород                            | № обр | Высота/<br>Диаметр<br>образца,<br>мм. | Площадь<br>поперечного<br>сечения<br>образца,<br>см <sup>2</sup> | Разрушающая<br>нагрузка,<br>кг. | Предел прочности на<br>одноосной<br>сжатие,<br>МПа | Примечание                          |
|--|-------|---------------------------------------|--|---------------------------------|--|-------------------------------------|
| Скарн железистый буро-черного цвета              | 1/1   | 90/60                                 | 28,26  | 15000                           | 52,06986   |                                     |
| Метасо-матиты зеленовато-бурого до черного цвета | 2/1   | 113/60                                | 28,26  | 20500                           | 71,0935  | Динамическое разрушение             |
| Скарн -гранат серого цвета                       | 3/1   | 118/60                                | 28,26  | 17000                           | 58,93406   |                                     |
| Гранодиориты серовато-розового цвета             | 4/1   | 113/60                                | 28,26  | 22500                           | 78,05576   | Динамическое разрушение, стрельяние |

|   |     |        |       |       |          |                       |
|---|-----|--------|-------|-------|----------|-----------------------|
| Мрамор окварцованный серовато-белого цвета                    | 5/2 | 114/60 | 28,26 | 13000 | 45,1076  |                       |
| Мрамор скарниро-ванный белого и розовато-белого цвета         | 6/1 | 108/60 | 28,26 | 10500 | 36,42929 |                       |
| Роговик темно-серого до зеленоватого цвета                    | 7/1 | 113/60 | 28,26 | 15000 | 52,06986 |                       |
| Скарн-гранатовый зеленовато-бурого до розовато-зеленого цвета | 8/1 | 95/60  | 28,26 | 5500  | 19,1217  | Разрушение по трещине |

Для определения прочностных характеристик нами в связи с недостаточностью образцов правильной формы был также использован метод определения прочностных свойств нагружением сферическими инденторами (ГОСТ 24941-81) [4]. При этом нами были изготовлены образцы неправильной формы, а затем на испытательной машине вертикального нагружения БУ-39 проводились испытания образцов горных пород (рис.4).

Этот метод основан на измерении максимального значения приложенной к образцу через инденторы силы, под действием которой внутри образца возникают растягивающие напряжения, приводящие к его разрушению по поверхности сквозного разрыва, проходящего через ось нагружения. Образец устанавливают между инденторами так, чтобы обеспечить нагружение в требуемом направлении, что достигается соответствующей ориентацией оси нагружения. Образец нагружают инденторами до разрушения. Испытание считают действительным в

случае сквозного раскола (разрыва), проходящего через ось нагружения образца.

Предел прочности горной породы на одноосное растяжение вычисляют по следующей формуле:  $\sigma_p = 0,75 \cdot \frac{P}{S} \cdot K_m$ , (7)

$$\sigma_p = 0,75 \cdot \frac{P}{S} \cdot K_m, (7)$$

где S - площадь поверхности разрыва, см<sup>2</sup>

P - максимальная разрушающая нагрузка, кг

K<sub>m</sub> - безразмерный масштабный коэффициент

Предел прочности на одноосное сжатие определяется по зависимостям: [3]

1. для осадочных пород -  $\sigma_{сж} = 20 \cdot \sigma_p$

для изверженных и метаморфических пород -  $\sigma_{сж} = 25 \cdot \sigma_p$

2. Результаты определения прочности представленных пород на сжатии и растяжение с использованием кусков неправильной формы по методу сжатия сферическими инденторами приведены в таблице 2.

Таблица 2.  
Результаты определения прочности на сжатие и растяжение образцов горных пород неправильной формы

| №  |                                    | Номер образца | Прочность на растяжение, МПа | Прочность на сжатие, МПа | Сцепление, МПа     |
|----|------------------------------------|---------------|------------------------------|--------------------------|--------------------|
| 1. | Скарн железистый бурочерного цвета | 1             | 2,58203167                   | 64,5507918               | 6,455079177        |
|    |                                    | 2             | 1,98617821                   | 49,6544552               | 4,965445521        |
|    |                                    | 3             | 3,4141127                    | 85,3528176               | 8,535281755        |
|    |                                    | 4             | 3,59380284                   | 89,8450711               | 8,984507111        |
|    |                                    | 5             | 2,45256762                   | 61,3141905               | 6,131419048        |
|    |                                    | ср.знач.      | <b>2,80573861</b>            | <b>70,1434652</b>        | <b>7,014346522</b> |
|    |                                    | ср.кв.откл    |                              | <b>15,1559315</b>        | <b>1,515593147</b> |
|    |                                    | коэф-т вар.   | <b>21,607047</b>             | <b>21,607047</b>         | <b>21,60704695</b> |
| 2. | Метасоматиты                       | 1             | 4,10822508                   | 102,705627               | 10,27056269        |
|    |                                    | 2             | 3,17788513                   | 79,4471283               | 7,944712833        |
|    |                                    | 3             | 4,95296516                   | 123,824129               | 12,3824129         |

|   |  |             |                   |                   |                    |
|---|--|-------------|-------------------|-------------------|--------------------|
|   | зеленовато-бурого до черного цвета                   | 4           | 4,45921385        | 111,480346        | 11,14803463        |
|   |  | 5           | 3,7737386         | 94,3434649        | 9,434346489        |
|   |  | ср.знач.    | <b>4,09440556</b> | <b>102,360139</b> | <b>10,23601391</b> |
|   |  | ср.кв.откл  | <b>0,60220223</b> | <b>15,0550558</b> | <b>1,505505584</b> |
|   |  | коэф-т вар. | <b>14,7079283</b> | <b>14,7079283</b> | <b>14,70792828</b> |
| 3 | Скарн-гранат серого цвета                            | 1           | 2,98780006        | 74,6950014        | 7,469500141        |
|   |  | 2           | 1,64497712        | 41,1244279        | 4,112442789        |
|   |  | 3           | 1,90510077        | 47,6275193        | 4,762751928        |
|   |  | 4           | 2,22960693        | 55,7401732        | 5,574017316        |
|   |  | 5           | 1,79690142        | 44,9225356        | 4,492253555        |
|   |  | ср.знач.    | <b>2,11287726</b> | <b>52,8219315</b> | <b>5,282193146</b> |
|   |  | ср.кв.откл  | <b>0,47771499</b> | <b>11,9428748</b> | <b>1,194287475</b> |
|   |  | коэф-т вар. | <b>22,6096896</b> | <b>22,6096896</b> | <b>2,26096896</b>  |
| 4 | Гранодиты серовато-розового цвета                    | 1           | 5,33428216        | 133,357054        | 13,3357054         |
|   |  | 2           | 4,93493135        | 123,373284        | 12,33732837        |
|   |  | 3           | 5,3199774         | 132,999435        | 13,29994349        |
|   |  | 4           | 5,57039441        | 139,25986         | 13,92598602        |
|   |  | 5           | 4,68217455        | 117,054364        | 11,70543636        |
|   |  | ср.знач.    | <b>5,16835197</b> | <b>129,208799</b> | <b>12,92087993</b> |
|   |  | ср.кв.откл  | <b>0,31717973</b> | <b>7,92949317</b> | <b>0,792949317</b> |
|   |  | коэф-т вар. | <b>6,13696065</b> | <b>6,13696065</b> | <b>0,613696065</b> |
| 5 | Мрамор окварцованный серовато-белого цвета           | 1           | 1,98617821        | 49,6544552        | 4,965445521        |
|   |  | 2           | 3,56737108        | 89,1842771        | 8,918427706        |
|   |  | 3           | 3,02201593        | 75,5503982        | 7,555039822        |
|   |  | 4           | 2,22960693        | 55,7401732        | 5,574017316        |
|   |  | 5           | 3,23442256        | 80,860564         | 8,0860564          |
|   |  | ср.знач.    | <b>2,80791894</b> | <b>70,1979735</b> | <b>7,019797353</b> |
|   |  | ср.кв.откл  | <b>0,60236418</b> | <b>15,0591045</b> | <b>1,505910451</b> |
|   |  | коэф-т вар. | <b>21,4523351</b> | <b>21,4523351</b> | <b>2,14523351</b>  |
| 6 | Мрамор скарнированный белого и розовато-белого цвета | 1           | 2,89552733        | 72,3881833        | 13,58875516        |
|   |  | 2           | 3,02201593        | 75,5503982        | 7,238818331        |
|   |  | 3           | 3,26553705        | 81,6384261        | 7,555039822        |
|   |  | 4           | 2,41761274        | 60,4403186        | 6,044031858        |
|   |  | 5           | 2,67552831        | 66,8882078        | 6,688820779        |
|   |  | ср.знач     | <b>2,85524427</b> | <b>71,3811068</b> | <b>7,138110681</b> |
|   |  | ср.кв.откл  | <b>0,29037729</b> | <b>7,25943224</b> | <b>0,725943224</b> |
|   |  | коэф-т вар. | <b>10,1699631</b> | <b>10,1699631</b> | <b>1,16996313</b>  |
| 7 | Роговик темно-серого до                              | 1           | 12,6308995        | 315,772487        |                    |
|   |  | 2           | 14,2363427        | 355,908568        | 35,5908568         |
|   |  | 3           | 13,8235629        | 345,589074        | 34,55890736        |
|   |  | 4           | 15,1100796        | 377,751991        | 37,77519911        |

|    |  |             |                   |                   |                    |
|----|--|-------------|-------------------|-------------------|--------------------|
|    | зеленов<br>атого<br>цвета  | 5           | 11,1407888        | 278,51972         | 27,85197204        |
|    |  | ср.знач.    | <b>13,3883347</b> | <b>334,708368</b> | <b>33,4708368</b>  |
|    |  | ср.кв.откл  | <b>1,3782683</b>  | <b>34,4567074</b> | <b>3,445670741</b> |
|    |  | коэф-т вар. | <b>10,2945461</b> | <b>10,2945461</b> | <b>1,02945461</b>  |
| 8. | Скарн-<br>гранатов<br>ый<br>зеленов<br>ато-<br>бурого<br>до<br>розоват<br>о-<br>зеленог<br>о цвета | 1           | 5,57401732        | 139,350433        | 13,93504329        |
|    |  | 2           | 4,74442209        | 118,610552        | 11,86105524        |
|    |  | 3           | 4.45921385        | 111,480346        | 11,14803463        |
|    |  | 4           | 5,92977469        | 148,244367        | 14,82443673        |
|    |  | 5           | 4,86397933        | 121,599483        | 12,15994833        |
|    |  | ср.знач.    | <b>5,11428146</b> | <b>127,857036</b> | <b>12,78570364</b> |
|    |  | ср.кв.откл  | <b>0,548625</b>   | <b>13,715625</b>  | <b>1,371562497</b> |
|    |  | коэф-т вар. | <b>10,7273134</b> | <b>10,7273134</b> | <b>1,07273134</b>  |

Прочностные характеристики горных пород (образцы неправильной формы), которые определялись для всех представленных проб на приборе БУ-39 в среднем выше, чем прочностные характеристики, которые определялись с использованием образцов правильной геометрической формы, это обусловлено меньшим размером образцов и соответственно здесь присутствует влияние объемного фактора, чем меньше образец, тем меньше в нем структурных нарушений. По прочности наиболее высокие показатели характерны для скарнов, гранодиоритов и метасоматитов, а низкие для мрамора.

### **Выводы.**

Результаты выполненных экспериментальных работ по определению прочностных свойств горных пород Ак-Ташского месторождения позволяют отметить следующее:

1. Средние значения прочности цилиндрических образцов при одноосном сжатии для скарнов колеблется в пределах от 24 до 72 МПа, для метасоматитов от 71 до 126 МПа, гранодиоритов от 43 до 117 МПа, мрамора от 36 до 78 МПа, роговика составляет 52,6 МПа

и диорита 112,7 МПа, при этом наиболее низкие значения прочности горных пород были обусловлены трещинами в образце. Скарны, метасоматиты и гранодиориты разрушались в целом при больших нагрузках, характер разрушения некоторых образцов – динамический.

2. Наиболее высокие значения показателя сцепления и угла внутреннего трения характерны также для скарнов, гранодиоритов и метасоматитов.

3. Результаты определений прочностных и деформационных характеристик и динамический характер разрушения представленных горных пород свидетельствуют о возможных динамических проявлениях горного давления в массиве сложенного гранодиоритами и метасоматитами в виде стреляний горных пород и горных ударов, поэтому при разработке месторождения Ак-Таш рекомендуется изучение напряжений в вышеуказанных горных породах с целью оценки удароопасности массива.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Ильницкая Е.И. и др. Свойства горных пород и методы их определения- М.: "Недра", 1969. - 392 с.
2. Барон Л.И., Логунцов Б.М., Позин Е.З. Определение свойств горных пород.- М.: Госгортехиздат, 1962.-331 с.
3. ГОСТ 21153.2-84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. М. 1984.
4. ГОСТ 24941-81. Породы горные. Методы определения механических свойств нагружением сферическими инденторами
5. Тажибаев К.Т. Напряжения, процессы деформации и динамического разрушения горных пород., в 2-х томах. Т.2 -Бишкек: «Алтын Принт», 2016.- 357 с.
6. Тажибаев К.Т., Ормонов М.Ж. Метод определения характеристик упругости твердых материалов. // Научно-методический журнал «Проблемы современной науки и образования» Москва, № 9 (91), 2017. С. 52-57