

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВРЕМЕНИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРНЫХ ПОРОД

### ТОО ТЕКТЕРИНИН КАТУУЛУК МУНӨЗДӨМӨЛӨРҮНӨ ТЕМПЕРАТУРАНЫН ЖАНА УБАКЫТТЫН ТААСИРИН ИЗИЛДӨӨ

*Султаналиева Р.М.* – д.ф.-м.н., проф. каф. «Физика» КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66, e-mail: [raia-ktu@mail.ru](mailto:raia-ktu@mail.ru), тел. сл. 54-51-31

*Конушбаева А.Т.* – ст. преп. каф. «Физика» КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66, e-mail: [aikat80@mail.ru](mailto:aikat80@mail.ru).

*Турдубаева Ч.Б.* – преп. политехнического колледжа при КГТУ им. И. Раззакова Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66, e-mail: [myrzaika42@gmail.com](mailto:myrzaika42@gmail.com) тел. сл. 54-51-59

**Ключевые слова:** коэффициент крепости, горные породы, прочность на сжатие, растяжение, сцепление, угол внутреннего трения, круги Мора, СВЧ-облучение, температура.

**Аннотация.** Приведены результаты исследования механических характеристик образцов из разных месторождений горных пород. Определены прочностные характеристики при одноосном сжатии и растяжении, сцепления и угол внутреннего трения образцов горных пород до и после воздействия электромагнитных полей сверх высоких частот. В статье рассматривается влияние высоких температур и времени воздействия СВЧ волн на прочность горных пород.

### RESEARCH OF THE EFFECT OF TEMPERATURE-TIME IMPACT ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF ROCKS

*Sultanalieva R.M.* – D.ph.-m.s., prof. "Physics" KSTU. I. Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, ave. Ch. Aitmatov, 66, e-mail: [raia-ktu@mail.ru](mailto:raia-ktu@mail.ru), tel. 54-51-31;

*Konushbaeva A.T.* – senior lecturer "Physics" KSTU. I. Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Ch. Aitmatov Ave. 66, e-mail: [aikat80@mail.ru](mailto:aikat80@mail.ru);

*Turdubaeva Ch.B.* – teacher of the Polytechnic College at KSTU. I. Razzakova Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, 66 Ch. Aitmatov Ave., e-mail: [myrzaika42@gmail.com](mailto:myrzaika42@gmail.com) tel. 54-51-59

**Abstract.** The results of the study of the mechanical characteristics of samples from different deposits of rocks are given. The strengths under uniaxial compression and tension, adhesion and internal friction angle of rock samples before and after microwave irradiation are determined. The article discusses the effects of thermal effects on strength under uniaxial tension and under uniaxial compression of rocks.

**Keywords:** fortress coefficient of rocks, compressive strength, tension, contact strength, indicators of rock crushability, Mora circles.

Свойство материала воспринимать, не разрушаясь, в определенных условиях, те или иные нагрузки характеризуется прочностью. Под прочностью понимается способность пород противостоять разрушению от действия внешних нагрузок. При этом породы находятся в напряженном состоянии, которое может быть одно-, двух- и трехосным (или объемным). Количественно напряженное состояние оценивается напряжением - нагрузкой, приходящейся на единицу площади сечения. Критическим или предельным напряжением считается такое, при котором происходит разрушение образца породы. Оно носит название предела прочности. Величина пределов прочности и является характеристикой прочностных свойств пород. Сопротивление горных пород разрушению зависит от вида и характера действующих механических нагрузок. Так, пределы прочности породы при сжимающем, растягивающем, сдвигающем и изгибающем воздействиях нагрузок будут различны. Основными показателями прочности являются показатели предельного сопротивления сжатию  $\sigma_c$ , растяжению  $\sigma_p$ , срезу  $\tau_m$ , а также показатели сопротивления сдвигу - угол внутреннего трения  $\varphi$ , коэффициент внутреннего трения, сила сцепления  $C$ . Показатель прочности при одноосном сжатии является наиболее широко применяемой характеристикой механических свойств и часто используется как сравнительный показатель крепости горных пород при решении ряда инженерных задач [2].

Опытами установлено, что прочность зависит от многих факторов: от размеров испытуемого образца, от отношения его высоты к диаметру (к поперечному размеру), от скорости нагружения, от жесткости давяльной установки и т.д [1]. Поэтому важно обеспечить постоянство условий испытания. Только при испытаниях в одинаковых условиях можно получить сопоставимые результаты для разных горных пород, т.е. необходимо строго выполнять требования ГОСТа, регламентирующие условия проведения опыта.

Для определения прочности, при одноосном сжатии и растяжении, нами был использован метод определения механических свойств нагружением сферическими инденторами (ГОСТ 24941-81) на испытательной машине вертикального нагружения БУ-39 для образцов горных пород в виде дисков (гранит красный (Кыртыбылгы) и гранит серый Кумторского месторождения [1] . Образцы руд с размерами 15-40 мм в виде диска помещались во внутрь печи и облучались СВЧ-импульсами.

Первоначально определили исходные данные: т.е. прочности при одноосном сжатии и растяжении, сцепления и угол внутреннего трения исходного состояния вышеуказанных горных пород в условиях комнатной температуры. Затем такие же диски из данных пород поместили в микроволновую печь. Режим выдержки в печи следующий: от одного до пяти минут через каждые 2 минуты. Результаты исследований приводятся в таблицах 1 и на рисунках 1,2,3.

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 формуле [2]:

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

где  $S$  - площадь поверхности разрыва, см<sup>2</sup>;  $P$  - максимальная разрушающая нагрузка, кГ;  $K_m$  - безразмерный масштабный коэффициент, устанавливаемый в зависимости от величины площади поверхности разрушения  $S$ .

Предел прочности на одноосное сжатие определяется по зависимостям:  
для изверженных и метаморфических пород:

$$\sigma_{сжс} = 25 \cdot \sigma_p.$$

Вид разрушения образцов горных пород при испытании по вышеуказанному методу показан на рисунке 1.



Рис.1. Виды разрушения образцов горных пород при расколе

Для количественной и качественной оценки поведения горных пород при различных видах напряженного состояния используют обобщенную характеристику, называемую паспортом прочности. Для построения паспорта прочности наиболее приемлемой является теория прочности Мора. В теории Мора постулируется, что ответственными за разрушение являются касательные напряжения, а само разрушение носит характер сдвига по площадкам, на которых достигается предельное состояние, причем величина предельного касательного напряжения является функцией нормального напряжения, действующего на площадке скольжения:

$$\tau = f(\sigma).$$

Сцепление (на диаграмме Мора) характеризует наличие и прочность структурных связей, т.е. сцепление количественно равно пределу прочности на срез при отсутствии нормальных напряжений. В простейшем случае огибающую предельных кругов напряжений Мора принимают за прямую:

$$\tau = C + \operatorname{tg}\varphi \sigma$$

где  $C$ -сцепление,  $\operatorname{tg}\varphi$ - угол внутреннего трения вычисляются по формулам [4]:

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

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sigma_c - \sigma_p}{2\sqrt{\sigma_p \cdot \sigma_c}}$$

Показатели сцепления и угла внутреннего трения определяются по вышеуказанным формулам.

Результаты определения прочности представленных пород при одноосном сжатии и растяжении, после СВЧ-облучения разной продолжительности времени, по методу сжатия сферическими инденторами (ГОСТ 24941-81) приведены в таблице 1.

Таблица 1-Прочности при одноосном сжатии и растяжении, сцепления и угла внутреннего трения образцов горных пород

Название горной породы	№ образца	Прочность при одноосном растяжении, МПа	Прочность при одноосном сжатии, МПа	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, градус
Гранит красный (Кыртыбылгы) 5 мин	обр. 1(A1)	4,29	107,4	10,7	67
Гранит красный (Кыртыбылгы) 2 мин	обр.2(A2)	3,39	84,8	8,49	67
Гранит красный (Кыртыбылгы) эталонный	обр.3 (эталон)	4,53	111	11,1	67
Гранит серый (Кумтор) 5 мин	обр. 1(B1)	2,77	67,9	6,8	67
Гранит серый (Кумтор) 2 мин	обр.2(B2)	2,98	70,7	7,07	67
Гранит серый (Кумтор) эталонный	обр.3 (эталон)	7,15	179	17,9	67

Результаты исследований влияния высоких температур на прочность горных пород после СВЧ воздействия, подвергнутых на одноосное растяжение и одноосное сжатие показали, что, для гранита красного, прочность уменьшается до минимума, когда время облучения составляет 2 минуты, а для гранита серого, эффективное время облучения составляет 5 минут. При этом прочность исследуемых пород уменьшается 1,5-2 раза под воздействием электромагнитных полей сверхвысоких частот.

По результатам полученных экспериментов построены круги Мора.

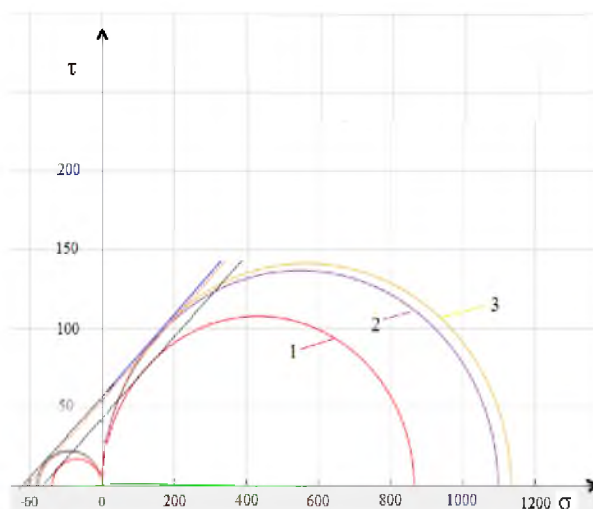


Рис.2. Круги Мора для трех образцов гранита красного (Кыртыбылгы) при разной продолжительности времени облучения ( $t$ ); 1-  $t=2$  мин, 2-  $t=5$  мин, 3- эталонный образец.

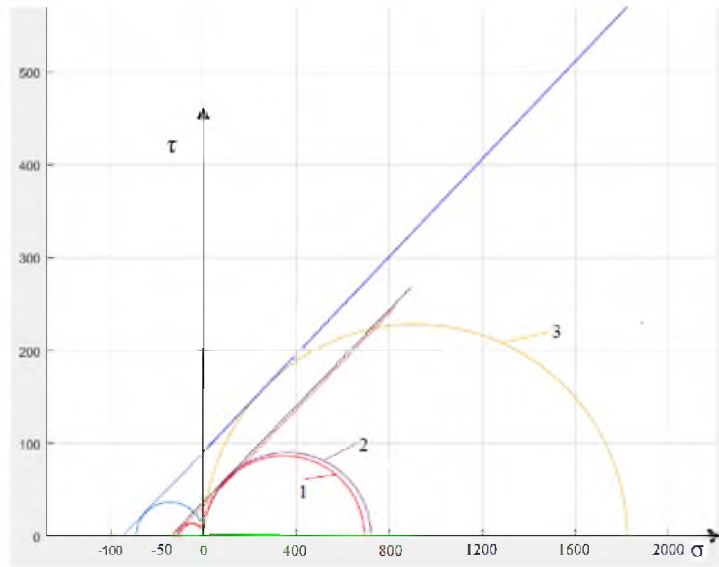


Рис.3. Круги Мора для трех образцов гранита серого Кумторского месторождения при разной продолжительности времени облучения ( $t$ );  
1-  $t=5$  мин, 2-  $t=2$  мин, 3- эталонный образец.

Наблюдаемое в данных опытах постоянство тангенса угла внутреннего трения свидетельствует о том, что пределы прочности на растяжение и одноосное сжатие, а также сцепление изменяются (при варьировании условий облучения) прямо пропорционально друг другу. Из этого можно заключить, что механизм разрушения при этом один и тот же. При этом прочность исследуемых пород уменьшается 1,5-2 раза под воздействием электромагнитных полей сверхвысоких частот.

#### Выводы:

1. По результатам экспериментальных исследований определены пределы прочности горных пород на одноосное сжатие  $\sigma_{сж}$  и на растяжение  $\sigma_{раст}$ . Установлено, что  $\sigma_{сж}$  горных пород (гранита красного (Кыртабылга) и гранита серого Кумторского месторождения) изменяется от 67,8 до 170 МПа, предел прочности горных пород на растяжение  $\sigma_{раст}$  от 2,77 до 7,15 МПа.
2. Экспериментальные значения прочностей исследуемых образцов горных пород при одноосном сжатии и растяжении, сцепления и угол внутреннего трения соответствуют значениям определяемых по диаграмме Мора.

#### Литература:

1. ГОСТ 21153.3-85. Горные породы. Методы определения прочности при одноосном растяжении – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 27.11.1985.
2. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. Учебник для вузов / М.: Недра, 2010. – 360 с.
3. Справочник. Открытые горные работы. / К.Н. Трубецкой, М.Г. Потапов, К.Е. Виницкий, Н.Н. Мельников и др. – М.: Горное бюро. – 1994.
4. Барон Л.И. Коэффициенты крепости горных пород. – М.: Наука, 1972. 4. Барон Л.И., Глатман Л.Б. Контактная прочность горных пород. – М.: Недра – 1966.
5. Шрейнер Л.А., Петрова О.П., Якушев В.П., Портнова А.Т. и др. Механические и абразивные свойства горных пород. – М.: Гостоптехиздат. – 1958.
6. Дмитриев А.П., Кузьяев Л.С. Физические свойства горных пород при высоких температурах. - М.: Недра 1969.- 160 с.

**Известия КГТУ им. И.Раззакова 50/2019**

---

7. Горная энциклопедия / гл. ред. Е.А. Козловский и др. – М.: Сов. Энцик. – Т. 3.

8. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика):  
Справочник геофизика. – М.: Недра. – 1976.