

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«Сибирский государственный индустриальный университет»

Кафедра геологии и геодезии

**Оценка прочности горных пород
по минеральному составу**

Методические указания к лабораторной работе для студентов горных
и строительных специальностей

Новокузнецк
2007

УДК 624.131.43 (07)
О - 931

Рецензент
Заведующий кафедрой «Разработка рудных месторождений»
профессор В.С.Шеховцов

Оценка прочности горных пород по минеральному составу:
Методические указания по выполнению лабораторной работы/
Сост.: О.Г.Епифанцев, Н.С.Плетенчук: СибГИУ –
Новокузнецк, 2007. - 15 с.

Изложены теоретические положения о физических свойствах минералов и горных пород, дана методика определения прочности и крепости горных пород по их минеральному составу

Предназначена для студентов горных и строительных специальностей

Введение. Цели и задачи работы

Горные породы разного возраста, происхождения и петрографического состава в инженерной геологии изучаются прежде всего как объект инженерной деятельности и как геологическая среда для размещения сооружений и ведения горных работ. Исследованию этой среды в инженерной геологии уделяется особенное внимание, в частности, изучению физических свойств слагающих ее горных пород. Результаты этих исследований используются при расчетах глубины заложения фундаментов инженерных сооружений, несущей способности в основаниях сооружений наземных горных предприятий, выборе углов и конструкций откосов, дорожных выемок и котлованов, при расчете объемов вскрышных работ, проектировании уступов и бортов карьеров, при расчетах устойчивости подземных сооружений и горных выработок и др. От физических свойств горных пород зависит возможность развития разнообразных неблагоприятных геологических явлений – горного давления, обвалов, оползней, обводненности горных выработок, а в целом – условия производства строительных и горных работ.

Целью данной лабораторной работы является закрепление студентами теоретических знаний, полученных на лекциях, и приобретение навыков приблизительной оценки прочности горных пород по их минеральному составу. Эти знания будут необходимы студентам в дальнейшем при изучении горно-технологических и специальных строительных дисциплин.

1 Теоретические положения

Под физическими свойствами горной породы понимают ее особое поведение (ответную реакцию) при воздействии на нее определенных физических сил, процессов или напряжений. Численно каждое физическое свойство породы оценивается одним или несколькими параметрами (показателями, характеристиками), являющимися количественной мерой свойств.

С целью сопоставления разных пород выделяют некоторую ограниченную группу физических параметров, являющуюся необходимой и достаточной для характеристики породы как физического и геологического тела и объекта горной разработки одновременно.

Такие параметры горных пород называются **базовыми**. К базовым отнесено 12 независимых физических параметров горных пород, позволяющих вычислить максимальное количество других параметров. Одним из базовых показателей физико-механических свойств горных пород является прочность.

Прочность горной породы или минерала определяется величиной критических напряжений, при которых происходит их разрушение. Эти напряжения различны для разных минералов, горных пород и для разных видов приложенных нагрузок. Они носят название **пределов прочности**. Напряжения в системе СИ измеряются в паскалях (Па). $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ кг/м с}^2$; $1 \text{ МПа} = 1 \times 10^6 \text{ Па}$. Различают пределы прочности горных пород и минералов при сжатии ($\delta \text{ сж}$), растяжении ($\delta \text{ р}$), сдвиге ($\delta \text{ сдв}$), изгибе ($\delta \text{ изг}$) и т.д.

Разрушение – это разрыв связей между атомами и ионами в кристаллической решетке минерала. Величины сил, необходимых для разрыва, зависят от типа межатомных связей и строения кристаллической решетки вещества.

Прочность горных пород и минералов изучается при одноосном напряжении, т.е. когда внешние силы действуют в направлении одной оси, и разрушение происходит при сжатии в одном направлении ($\delta \text{ сж}$).

Прочность образцов горных пород обычно не соответствует истинной прочности горной породы в условиях ее естественного залегания. При этом прочность отдельных элементарных объемов (образцов) твердых горных пород обычно значительно превышает прочность горной породы в массиве. Объясняется это двумя ослабляющими факторами: 1 – трещиноватостью, т.е. совокупностью трещин различного генезиса, расположенных в горной породе через 0,01-5,0 м; 2 – наличием в породах микропрослоек слабых слюд, глины, органических остатков. Ослабляющие факторы учитываются введением в значения прочности снижающего коэффициента структурного ослабления, который применяется при проектировании горных выработок.

1.1 Прочность минералов

Установлено, что прочность горных пород зависит от многих факторов, но одним из основных является петрографический (минеральный) состав горных пород. Преобладание в породе тех или

иных минералов существенно сказывается на ее прочности. Таких минералов, оказывающих основное влияние на прочность горных пород, выделено чуть более 20 (таблица 1). В кадастре физических свойств эти минералы по прочности делятся на 3 группы: 1 – минералы прочные (δ сж. > 100 МПа), 2 – минералы средней прочности (δ сж. = 30 – 100 МПа), 3 – минералы слабой прочности (δ сж. < 30 МПа).

Таблица 1 – Прочность минералов (в МПа)

1 группа		2 группа		3 группа	
Название минерала	Прочность	Название минерала	Прочность	Название минерала	Прочность
Корунд	500	Гематит	60	Сфалерит	20
Кварц	400	Пирротин	98	Ангидрит	44
Оливин	220	Диопсид	89	Тальк	28
Лабрадор (плагиоклаз)	200	Халькопирит	96	Кальцит	16
Халцедон	180	Доломит	90	Гипс	40
Ортоклаз	130	Магнетит	52	Глинистые минералы	12
Пирит	128	Роговая обманка	94	Каолинит	1
Сидерит	123	Магнезит	40		
Микроклин	123	Апатит	78		
Альбит	110	Флюорит	40		
Нефелин	110	Магнезит	49		
Хромит	104	Серпентин	68		
		Хлорит	40		
		Галит	32		
		Биотит	69		

Из породообразующих минералов наибольшей прочностью обладают кварц, полевые шпаты, оливин, пироксены, амфиболы. Присутствие в горных породах этих минералов повышает предел прочности породы. И наоборот, если в состав горной породы входят малопрочные минералы (кальцит, слюда), то ее предел прочности значительно снижается.

1.2 Прочность горных пород

Прочностные характеристики горных пород, кроме минерального состава, очень чувствительны к их структуре. Структурные связи между минеральными зернами в разных генетических типах горных пород существенно отличаются и подразделяются на непосредственные (кристаллизационные), цементационные и пластинизированные.

При непосредственном контакте минеральные зерна «сливаются» между собой мощными силами электромолекулярного взаимодействия. Силы сцепления на площадках истинного контакта достигают величин, часто значительно превышающих прочность на разрыв самих минеральных зерен. Связи данного типа характерны для магматических и метаморфических пород и называются кристаллизационными. Оценку прочности этих пород можно дать на основе макроскопического определения их минерального состава. Но при этом необходимо учитывать, что с увеличением размеров зерен минералов прочность равнозернистых пород (при прочих равных условиях) падает. Прочность мелкозернистых гранитов выше, чем крупнозернистых. Увеличение размеров зерен от 1 до 100 мкм снижает прочность пород почти в 2 раза. При дальнейшем росте размеров зерен изменение прочности незначительно. Порфировая структура повышает прочность пород в случае, если порфировые включения малы, а основная масса тонкокристаллическая или сплошная. Структуры прорастания минералов увеличивают прочность, а стекловатые уменьшают.

Прочность пород с цементационным типом связей (осадочные породы) определяется не только свойствами минеральных зерен и обломков, но составом и свойствами цементирующего вещества, типом цементации и характером связей между обломочным материалом и цементирующим веществом. Поэтому обычного макроскопического определения минерального состава для оценки их прочности недостаточно. Прочность глинистых пород, например, глинистых сланцев вообще невозможно определить по минеральному составу.

В тонкодисперсных породах контакты минеральных зерен пластинизированы адсорбированными водно-коллоидными пленками. Межчастичные связи в таких породах осуществляются через сорбированные пленки воды. Прочность водно-коллоидных связей на

несколько порядков ниже прочности кристаллизационных и цементационных связей.

Прочность наиболее распространенных, в т.ч. в Кузбассе, горных пород приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Прочность горных пород

№№ п/п	Название породы	δ сж, МПа
Магматические породы		
1	Дунит	115
2	Пироксенит	250
3	Горнблендит	270
4	Лабрадорит	165
5	Габбро	170-290
6	Диорит	130-270
7	Габбродиорит	220
8	Диоритовый порфирит	90-250
9	Гранодиорит	90-250
10	Гранит	120-240
11	Гранит биотитовый	185
12	Сиенит	180-250
13	Уртит	170
14	Пегматит	135
15	Базальт	90-460
16	Диабаз	110-330
17	Базальтовый порфирит	200
18	Андезитовый порфирит	130-300
19	Кварцевый порфир	170-230
20	Туф вулканический	10-80

Продолжение таблицы 2 – Прочность горных пород

№№ п/п	Название породы	δ сж, МПа
Метаморфические породы		
1	Гнейс	80-250
2	Кварцит	170-380
3	Кварцит железистый	280
4	Мрамор	95-200
5	Кристаллические сланцы	20-160
6	Роговик	250
7	Скарн гранатовый	250
Осадочные породы		
1	Брекчия	170
2	Конгломераты	80
3	Песчаник мелкозернистый	140-240
4	Песчаник крупнозернистый	120-140
5	Алевролит	10-30
6	Мергель	0,5-10
7	Известняк	30-190
8	Известняк мраморизованный	160
9	Известняк пелитоморфный	110-170
10	Доломит	150-200
11	Каменная соль	35
12	Фосфорит	До 60
13	Аргиллит	0,5-50
14	Сланец глинистый	15-75
15	Сланец песчанистый	40-110
16	Конгломерат кремнистый	70-100
17	Конгломерат известковый	40-85
18	Конгломерат глинистый	25-30
19	Органогенный известняк	10-20
20	Брекчия	25-85

Продолжение таблицы 2 – Прочность горных пород

№№ п/п	Название породы	δ сж, МПа
Кузнецкий угольный бассейн		
1	Песчаник (цемент кремнистый)	100-150
2	Песчаник (цемент карбонатный)	140-180
3	Песчаник (цемент глинистый)	60-100
4	Алевролит (цемент кремнистый)	64-117
5	Алевролит (цемент карбонатный)	62
6	Алевролит (цемент глинистый)	19-55
7	Аргиллит (цемент карбонатный)	15
8	Аргиллит (цемент глинистый)	11-48
9	Каменный уголь	0,4-2,6

1.3 Крепость горных пород

Применительно к горным породам, когда имеют место сложные процессы механического разрушения, чаще используется понятие крепости. **Крепость** горных пород – это характеристика сопротивляемости пород их добычанию – технологическому разрушению. Это понятие крепости введено проф. М.М.Протоdjяконовым, который для количественной оценки крепости предложил **коэффициент крепости (f)**, в первом приближении пропорциональный пределу прочности породы при сжатии. Им была разработана шкала горных пород по крепости, в соответствии с которой все горные породы разделены на 10 категорий. К первой категории относятся породы, имеющие наивысшую степень крепости ($f = 20$), к десятой – наиболее слабые плывучие породы ($f = 0,3$).

Классификация М.М.Протоdjяконова (таблица 3) основана на сопоставлении сопротивляемости горной породы механическим воздействиям с ее прочностью на одноосное сжатие (δ сж). Величину коэффициента крепости М.М.Протоdjяконов определял из соотношения

$$f = \delta_{\text{сж}} \times 10^{-7}, \text{ где единицей измерения } \delta_{\text{сж}} \text{ является}$$

$$1 \text{ МПа} = 1 \times 10^6 \text{ Па, и тогда } f = \frac{\delta_{\text{сж}}}{10}$$

Более точно связь между $\delta_{сж}$ и f в области больших значений $\delta_{сж}$ выражается другими более сложными формулами.

Таблица 3 – Классификация горных пород (по проф. М.М.Протоdjаконову)

Категория	Степень крепости пород	Породы	Коэффициент крепости f
I	В высшей степени крепкие	Наиболее крепкие, плотные кварциты, базальты, исключительно крепкие другие породы	20
II	Очень крепкие	Очень крепкие гранитовые породы, кварцевый порфир, очень крепкий гранит, кремнистый сланец, кварциты менее крепкие, самые крепкие песчаники и известняки	15
III	Крепкие	Граниты (плотные) и гранитовые породы, очень крепкие песчаники и известняки, крепкий конгломерат, очень крепкие железные руды	10
IIIa	Крепкие	Известняки (крепкие), некрепкий гранит, крепкие песчаники, крепкий мрамор, доломит, колчедан	8
IV	Довольно крепкие	Обыкновенный песчаник, железные руды	6
IVa	То же	Песчанистые сланцы, сланцевые песчаники	5
V	Средней крепости	Крепкий глинистый сланец, некрепкие песчаник известняк, мягкий конгломерат	4
Va	То же	Разнообразные сланцы (некрепкие), плотный мергель	3
VI	Довольно мягкие	Мягкий сланец, очень мягкий известняк, мел, каменная соль, гипс, мерзлый грунт, антрацит, обыкновенный мер-	2

Продолжение таблицы 3 – Классификация горных пород (по проф. М.М.Протодяконову)

Категория	Степень крепости пород	Породы	Коэффициент крепости f
		гель, разрушенный песчаник, сцементированная галька, каменистый грунт	
VIa	То же	Щебенистый грунт, разрушенный сланец, слежавшаяся галька и щебень, крепкий каменный уголь, отвердевшая глина	1,5
VII	Мягкие	Глина (плотная), мягкий каменный уголь, крепкие наносы	1,0
VIIa	«	Легкая песчанистая глина, лесс, гравий	0,8
VIII	Землистые	Растительная земля, торф, легкий суглинок, сырой песок	0,6
IX	Сыпучие	Песок, осыпи, мелкий гравий, насыпная земля, добытый уголь	0,5
X	Плывучие	Плывуны, болотистый грунт, разжиженный лесс и другие разжиженные грунты	0,3

2 Методика выполнения лабораторной работы

Содержание работы: определение прочности и коэффициента крепости горных пород.

Оборудование: коллекции образцов горных пород разных генетических типов (каждому студенту отдельная коллекция), 10%-я соляная кислота, лупа, компас, шкала Мооса, фарфоровые пластинки, определитель минералов, определитель горных пород, тетрадь для записей.

Ход работы:

1. Определить минеральный состав горной породы и %-е содержание каждого минерала в образце.
2. Определить название горной породы каждого образца.

3. Рассчитать предел прочности породы на сжатие ($\delta_{сж}$) по минеральному составу, пользуясь таблицей 1 (Прочность минералов в МПа), по формуле:

$$\delta_{сж} = \frac{\delta_1 * n_1 + \delta_2 * n_2 + \dots \delta_n * n_n}{100}, \text{ где}$$

$\delta_{сж}$ - прочность породы,

δ_1 - прочность минерала,

n_1 - процентное содержание этого минерала в образце.

Сравнить с данными таблицы 2 (Прочность горных пород).

4. Рассчитать коэффициент прочности горных пород по формуле:

$$f = \delta_{сж} \times 10^{-7} = \frac{\delta}{10}$$

Полученные значения коэффициентов крепости классифицировать по шкале М.М.Протодяконова (таблица 3).

5. Сделать выводы.

При расчетах прочности осадочных обломочных горных пород необходимо: 1) определить процентное содержание обломков горных пород и цемента; 2) определить минеральный состав обломков и процентное содержание минералов в обломках и в цементе. По минеральному составу цемент бывает глинистым (каолин, гидрослюда), карбонатным (кальцит, доломит), кремнистым (кварц, опал, халцедон), железистым (оксиды и гидроксиды железа). Часто цемент бывает полиминеральным (глинисто-карбонатный, кремнисто-глинисто-карбонатный и др.).

Например, в образце песчаника обломочных минералов 70%, из них: кварца – 50%, полевых шпатов – 20%, цемента – 30%, цемент глинисто-карбонатный: глинистых минералов – 5%, карбонатных – 25%. Далее по указанным выше формулам вычисляется прочность песчаника и коэффициент крепости.

Допустимая ошибка определения прочности горных пород по предложенной методике не должна превышать 17%.

3 Заключение

Главными задачами при инженерно-геологических исследованиях являются – оценка свойств горных пород, инженерно-геологических условий территорий, месторождений, геологической среды и т.д.

и прогноз их изменений под влиянием естественных и искусственных факторов. Одной из важнейших составляющих этих исследований является изучение прочности и крепости горных пород. При условии усвоения горными инженерами этих знаний возможно понимание физических процессов, происходящих в массивах горных пород.

Вопросы для самопроверки

1. В каких сферах деятельности используются прочностные характеристики горных пород?
2. Какие параметры горных пород называются базовыми?
3. Что такое разрушение горной породы?
4. Структурные связи между минеральными зёрнами подразделяются на
5. От каких факторов зависит прочность пород?
6. Как соотносятся параметры: прочность и крепость пород?
7. По какому признаку выделены категории крепости горных пород в шкале М.М.Протодяконова?
8. Как отличается прочность горных пород, определенная по образцам, от прочности горных пород в массиве?
9. Как изменяется прочность магматических пород при увеличении размеров зёрен минералов?

Список рекомендованной литературы

1. Гальперин А.М. и др. Гидрогеология и инженерная геология. М., Недра, 1989. 301с.
2. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Л., Недра, Ленинградское отделение. 1986. 272с.
3. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. 2-е изд. Л. Недра. 1984. 511с.
4. Ржевский В.В. и др. Основы физики горных пород. М., Недра, 1984. 360с.

Содержание

	Стр.
Введение. Цель и задачи работы	3
1. Теоретические положения	3
1.1. Прочность минералов	4
1.2. Прочность горных пород	6
1.3. Крепость горных пород	9
2. Методика выполнения лабораторной работы	11
3. Заключение	12
Вопросы для самопроверки	13
Список рекомендованной литературы.	13

Составители:
Олег Георгиевич Епифанцев
Нина Семеновна Плетенчук

**Оценка прочности горных пород
по минеральному составу**

Методические указания по выполнению
лабораторной работы для студентов
горных и строительных специальностей

Компьютерный набор Хаминой Н.Т.
Напечатано в полном соответствии с авторским оригиналом

Подписано в печать
Формат бумаги 60*84 1/16 Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл. печ. л. Уч-изд. л. Тираж экз. Заказ

Сибирский государственный индустриальный университет
654007 г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42
Издательский центр СибГИУ