

УДК 622.35

Е.Е. Каменева

ОЦЕНКА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОСВОЕНИИ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ ПРИРОДНОГО КАМНЯ КАРЕЛИИ

Приведены результаты комплексных технолого-минералогических исследований. Показано, что некоторые природные разновидности горных пород характеризуются непостоянством свойств даже в пределах одного месторождения, что необходимо учитывать при оценке возможных направлений использования природного камня.

Ключевые слова: геологоразведочные работы, физико-механические свойства горных пород, прочность породы.

Обязательным этапом геологоразведочных работ на месторождениях природного камня является проведение лабораторных испытаний физико-механических свойств горных пород. Согласно установленным требованиям исследуются следующие показатели: прочность, плотность, водопоглощение, пористость, морозостойкость. Кроме того, анализируется минералого-петрографический состав породы, определяется содержание естественных радионуклидов, оценивается декоративность [1, 2].

В результате комплексных технолого-минералогических исследований, которые на протяжении ряда лет проводятся в испытательной лаборатории строительных горных пород Петрозаводского государственного университета, показано, что некоторые природные разновидности горных пород характеризуются непостоянством свойств даже в пределах одного месторождения, что необходимо учитывать при оценке возможных направлений использования природного камня.

Анализ результатов выполненных исследований позволил выявить ряд закономерностей и зависимостей, которые могут быть использованы при предварительной оценке горных пород.

Физико-механические свойства горных пород определяются их минеральным составом, текстурно-структурными особенностями, а также наличием природных дефектов структуры.

По составу все изученные типы пород представлены одним и тем же набором минералов, но в различных количественных соотношениях. Пределы колебаний содержаний основных породообразующих минералов в составе отдельных типов магматических пород достаточно широкие. В этой связи следует отметить, что название породы, установленное в результате минералого-петрографического изучения, позволяет получить лишь приближенное представление о ее количественном минеральном составе (табл. 1).

Минеральный и химический составы горной породы взаимосвязаны, однако однозначная зависимость со-

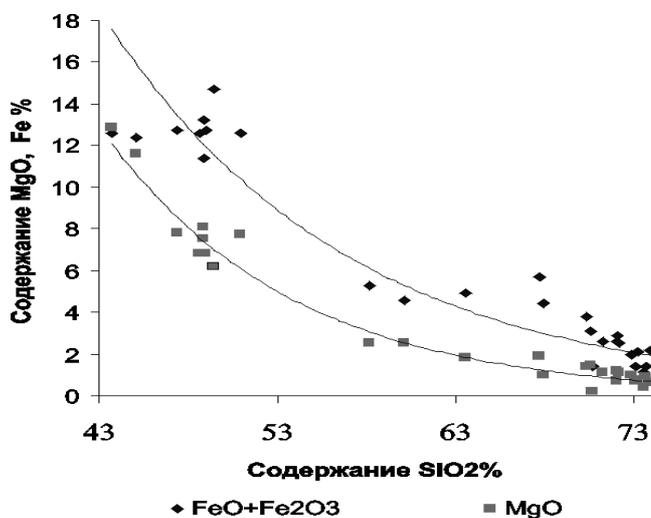


Рис. 1. Зависимость содержаний магния и железа от содержания кремнезема в составе горных пород

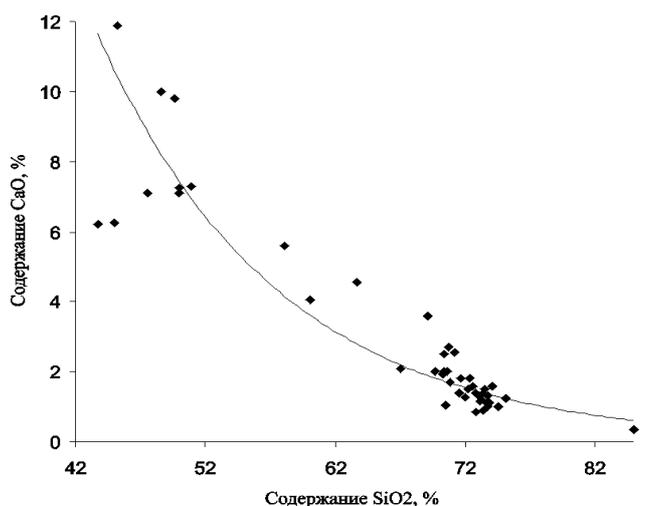


Рис. 2. Зависимость содержания CaO от содержания SiO₂ в горных породах

держания отдельных элементов от содержания минералов не прослеживается, что объясняется, с одной стороны, – присутствием одних и тех же химических элементов в составе различных минералов, с другой – непостоянством химического состава самих минералов.

Наиболее общей закономерностью является увеличение содержания магния и железа при переходе от пород кислого состава к породам основного состава (рис. 1), что связано с более высоким содержанием темновесных и рудных минералов

Увеличение содержания оксида кальция при снижении весовой доли кремнекислоты (рис. 2) связано с ростом суммарного содержания плагиоклаза и темновесных: при различных количественных соотношениях этих минералов их суммарное содержание в породах основного состава составляет 80-80 %

Попытка связать прочность породы с прочностью слагающих ее минералов не позволяет получить зависимости ни для одного из изученных типов пород. Это объясняется тем, что прочностные свойства горной породы в значительной мере связаны с ее структурой и текстурой.

Магматические породы основного состава – габбро, диабазы, габбро-диабазы характеризуются массивной, в ряде случаев порфиробластической текстурой за счет выделений

порфиробласт амфибола размером до 0,2-1,0 см. Структура пород - от крупнозернистой до скрытокристаллической. Результаты петрографо-минералогического изучения шлифов свидетельствуют, что микротрещиноватость у пород этого типа отсутствует.

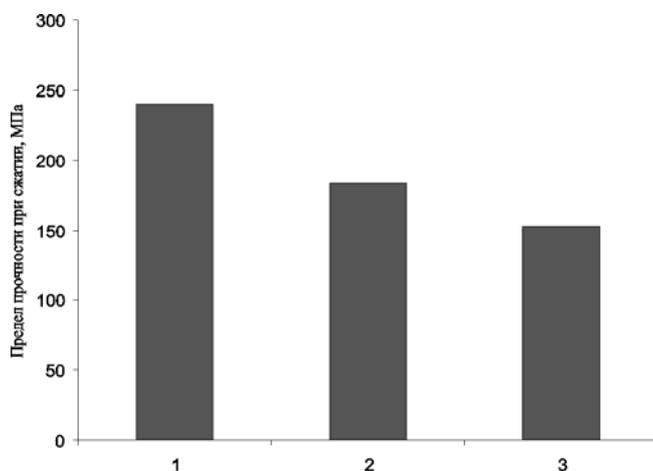


Рис. 3. Прочность пород основного состава (габбро, диабазы, габбро-диабазы) в зависимости от отношения содержаний темноцветных минералов и плагиоклаза: 1 – темноцветные – >45%, плагиоклаз – 30-35%; 2 – темноцветные – 35-45%, плагиоклаз – 35-45%; 3 – темноцветные – 30-35%, плагиоклаз – 45-60%.

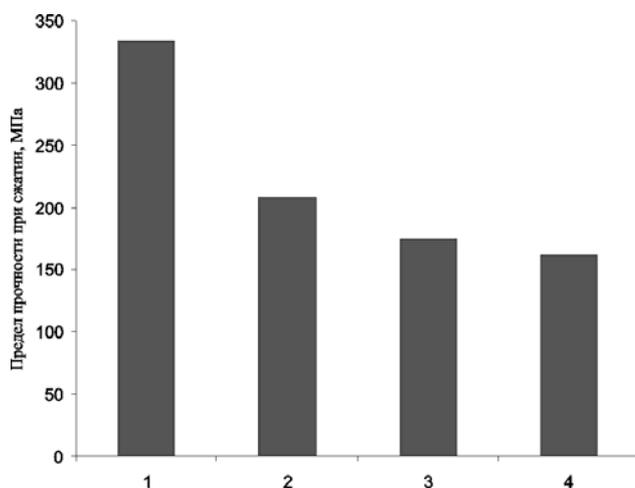


Рис. 4. Прочность пород основного состава (габбро, диабазы, габбродиабазы) в зависимости от структуры: 1 – скрытокристаллическая (средние значения для 20 образцов); 2- мелкозернистая (средние значения для 15 образцов); 3- среднезернистая (средние значения для 30 образцов); 4- крупнозернистая (средние значения для 5 образцов)

Исследование взаимосвязи минерального (химического) состава и физико-механических свойств пород по-

казывает, что прочность пород с высоким содержанием темноцветных минералов (амфибол, роговая обманка) выше, чем у пород с высоким содержанием плагиоклазов (рис. 3).

Изучение физико-механических свойств пород основного состава свидетельствует о том, что при относительно стабильных значениях истинной плотности (2,94-3,17 г/см³), средней плотности (2,93-3,1 г/см³), и пористости (0,21-1,0 %) породы проявляют различия в прочности (152-370 МПа). Прослеживается взаимосвязь прочности и структуры: менее прочными являются разновидности, обладающие крупнозернистой структурой (рис. 4).

Сравнение свойств интрузивных и эффузивных пород показывает, что при сходном количественном минеральном составе габбро обладают массивной скрытокристаллической текстурой, что обуславливает их более высокую плотность и прочность по сравнению с диабазы.

Магматические породы среднего состава – диориты изучены на примере двух месторождений Карелии. Диориты представлены двумя основными типами: 1) кварцевые диориты 2) метаморфизованные диориты с высоким (до 70 %) содержанием темноцветных минералов и выраженной сланцеватостью.

Таблица 1
**Минеральный состав основных типов горных пород
месторождений Карелии**

Условный номер месторождения (количество проб)	Минеральный состав, %						
	Пла- гио- клаз	Микро- клин	Квар- ц	Слюды	Рудные	Темно- цветные	Эпидот
Габбро-диабазы							
I (2)	40-60	-	1-2	0,5-2	3-6	30-35	-
II (13)	20-35	-	1-5	0,5-6	3-5	45-55	7-20
III (1)	50-55	-	-	1,5-2	2-3	33-37	-
Габбро							
IV(1)	30-35	-	1-2	1-2	3	60	-
V (2)	55-60					40-45	
Плаггиограниты							
IV (4)	55-60	6-10	25-35	3,5-10	-	-	1-15
VI (6)	60-65	-	25-30	4-6	-	-	-
VII (3)	60-65		25-30	4-5	-	-	1-2
VIII(4)	60-65	1-3	25-30	3-6	-	-	-
Микроклин-плаггиоклазовые граниты							
IX (11)	25-40	30-37	25-30	3-4	-	-	-
VI (9)	30-35	27-30	35-37	12-14	-	-	-
IV (2)	50-60	15-20	25-30	5-8	-	-	0,5-2
X (12)	25-35	35-37	25-37	2,5-5	-	-	-
XI(19)	25-40	25-30	25-28	4-7	-	-	-
IV (9)	50-55	10-20	25-30	5-7	-	-	-
XII (17)	25-40	20-25	20-35	5-20	-	-	-
VIII(4)	25-30	25-30	30-35	1-5	-	-	-
Диориты							
XIII (5)							
I тип	60-70	5-7	4-20	7-20	0,5-6	10-40	Ед.
II тип	До 30	-	-	-	До1	До 70	-
Гнейсо-граниты							
XIV (4)	50-65	5-20	15-20	10-20	-	-	-

Примечание. К темноцветным минералам отнесены амфибол и роговая обманка.

Диориты первого типа характеризуются массивной пятнистой текстурой, средне- и мелкозернистой структурой. Метаморфизованные разновидности (второй тип) характеризуются сланцеватой полосчатой текстурой и мелкозернистой структурой. Породы I и II типов различаются по соотношению содержаний слагающих их минералов (табл. 1), что обуславливает контрастность свойств.

Сравнение физико-механических характеристик пород показывает, что для диоритов первого типа характерны более высокие значения плотно-

сти: истинная плотность $3,05 \text{ г/см}^3$, средняя плотность – $3,02 \text{ г/см}^3$, что является следствием высокого содержания рудных минералов. Для пород второго типа значения истинной и средней плотности составляют $2,8 \text{ г/см}^3$ и $2,76 \text{ г/см}^3$.

Более высокая прочность пород второго типа (169 МПа по сравнению с 101 МПа у пород первого типа) является следствием высокого содержания темноцветных минералов (роговая обманка), также текстуры (массивная однородная) и структуры (равномернозернистая мелкозернистая).

Причинами снижения прочности у диоритов второго типа являются вторичные изменения (замещение пироксена карбонатом), и текстура (наличие прослоев плагиоклаза и темноцветных минералов с ослабленными связями между слоями).

Магматические кислые породы (граниты). По данным минералогопетрографических исследований выделены две группы гранитов – плагиограниты и микроклин-плагиоклазовые граниты, - проявляющие различия в составе и физико-механических свойствах.

Плагиограниты характеризуются массивной или массивной пятнистой (за счет крупных выделений порфиробластов плагиоклаза) текстурой. Структура – от крупнозернистой до мелкозернистой. Основной породообразующий минерал – плагиоклаз (55-65 %).

Микроклин-плагиоклазовые граниты имеют массивную, массивную порфирировидную (от пятнистой до полосчатой) текстуру, структура – от крупнозернистой до мелкозернистой, иногда – порфиробластовая. В микроклин-плагиоклазовых гранитах достаточно часто встречаются микротрещины

Основные породообразующие минералы микроклин-плагиоклазовых гранитов: плагиоклаз (25-45 % в отдельных пробах), микроклин (до 37 %), кварц (25-37 %). Содержание слюд (биотит, серицит, хлорит, мусковит) – до 20 %. В метаморфизованных образцах отмечается эпидот (до 2 %).

Распределение основных породообразующих минералов в разновидностях гранита крайне неравномерные. Общей особенностью является наличие достаточно крупных зерен плагиоклаза и микроклина (от 0,1 до 1,5 мм), выделение кварца в виде ксеноморфных зерен размером 1-5

мм между полевыми шпатами. Биотит во всех исследованных шлифах выделяется в интерстициях, а также в виде лейст размерами до 0,2-0,5 мм. В отдельных образцах плагиоклаз замещается серицитом и эпидотом и сетется микротрещинами размером 0,1-0,3 мм, что снижает их прочность.

Разновидности гранита различаются по содержанию кремнекислоты: в микроклин-плагиоклазовых гранитах содержание SiO_2 составляет в среднем 73,46 %, в то время как в плагиогранитах – 69,7 %. Более высокое содержание CaO (среднее 2,77 %) и низкое K_2O (среднее 3,45 %) в плагиогранитах связано с изменением соотношения плагиоклаза и микроклина в сравнении с микроклин-плагиоклазовыми гранитами, в которых средние содержания составляют 1,38 % CaO и 5,06 % K_2O .

Сопоставление физико-механических характеристик гранитов показывает, что плагиограниты характеризуются более высокими значениями плотности и прочности и значительно меньшими - пористости по сравнению с микроклин-плагиоклазовыми разновидностями. Прочность гранитов увеличивается при увеличении содержания плагиоклаза (рис. 5)

Метаморфизованные породы гранитного состава – гнейсо-граниты - по минеральному и химическому составу близки к исходным гранитам, характеризуются гнейсовидной (слоистой) текстурой и среднезернистой структурой. Показатели плотности и прочности у них ниже, чем у неизмененных гранитов.

Прочностные характеристики горной породы связаны с ее плотностью (рис. 6). При этом истинная плотность горной породы фактически учитывает только минеральный состав породы, а средняя плотность – минеральный состав, пористость и микротрещинова-

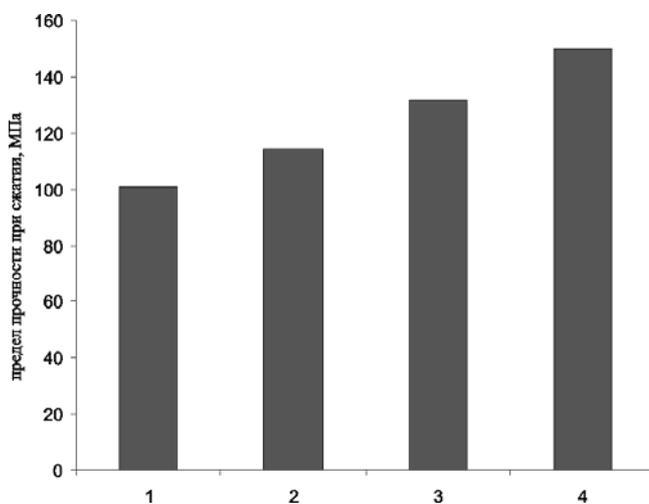


Рис. 5. Прочность гранитов в зависимости от содержания плагиоклаза: 1 – 25-35%; 2- 35-55%; 3- 55-60%; 4 -60-65%

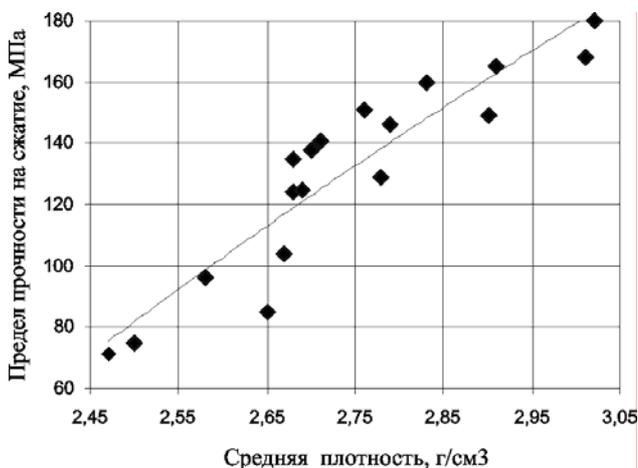


Рис. 6. Зависимость между средней плотностью и прочностью горных пород

Эта закономерность имеет общий характер и прослеживается для всех изученных типов пород.

В то же время, значимые корреляционные связи прочности и плотности в пределах одного типа породы отсутствуют. Анализ показывает, что породы с одинаковым минеральным

составом, и равными значениями истинной плотности, но обладающие различной текстурой и структурой, проявляют различия в прочностных свойствах.

В горных породах, используемых в качестве строительного камня, лимитируется содержание естественных радионуклидов - радия (Ra-226), тория (Th-232) и калия (K-40). Содержание радионуклидов оценивается по величине удельной эффективной активности - суммарной удельной активности естественных радионуклидов в пробе щебня или горной породы. Радий и торий находятся в рассеянном состоянии в породообразующих и аксессуарных минералах (ортит, ксенотим, пироклор, циркон, сфен). Радиоактивный изотоп калия встречается в полевых шпатах и слюдах.

Габбро-диабазы - магматические породы основного состава характеризуются невысоким содержанием радиоактивных элементов ввиду низкого содержания перечисленных минералов и относятся к I группе. Граниты характеризуются более высокой радиоактивностью (I-III группы).

Средние значения удельной эффективной активности естественных радионуклидов в горных породах приведены в табл. 2.

Обобщенные результаты испытаний физико-механических свойств

Таблица 2

Удельная эффективная активность естественных радионуклидов в горных породах

Тип породы (количество измерений)	Удельная активность радионуклида (А), Бк/кг			Удельная эффективная активность ЕРН Бк/кг
	Ra-226	Th-232	K-40	
Граниты (48)	$\frac{15-220}{88}$	$\frac{19-164}{95}$	$\frac{331-1465}{966}$	$\frac{77-462}{294}$
Габбро, диабазы (38)	$\frac{1-14}{7}$	$\frac{0-10}{4}$	$\frac{0-205}{113}$	$\frac{9-49}{22}$

Примечание. В числителе – наименьшее и наибольшее значение, в знаменателе – среднее значение для выборки.

Таблица 3

Сравнительная характеристика физико-механических свойств горных пород (месторождения Республики Карелия, усредненные результаты испытаний)

Порода (количество испытанных проб)	Плотность г/см ³		Водопоглощение, %	Пористость, %	Предел прочности при сжатии, МПа
	Истинная	Средняя			
Габбро, диабазы (60)	$\frac{2,94-3,17}{3,05}$	$\frac{2,93-3,1}{3,02}$	$\frac{0,01-0,11}{0,06}$	$\frac{0,21-1,0}{0,6}$	$\frac{152-350}{251}$
Плагиограниты (81)	$\frac{2,62-2,98}{2,8}$	$\frac{2,58-2,89}{2,74}$	$\frac{0,06-1,4}{0,73}$	$\frac{0,26-4,3}{2,13}$	$\frac{102-228}{165}$
Микроклин-плагиоклазовые граниты (53)	$\frac{2,58-2,7}{2,64}$	$\frac{2,49-2,66}{2,58}$	$\frac{0,14-0,91}{0,52}$	$\frac{0,98-3,6}{2,29}$	$\frac{70-164}{117}$

Примечание. В числителе – наименьшее и наибольшее значение, в знаменателе – среднее значение для выборки.

горных пород Карелии приведены в табл. 3.

Таким образом, прочностные свойства горных пород определяются совокупностью факторов минерального состава и текстурно-структурных особенностей. Наиболее значимыми факторами, определяющими прочность породы, является ее структура (размеры минеральных зерен, харак-

тер их срастаний) и соотношение содержания основных породообразующих и минералов – плагиоклаза, микроклина, темноцветных минералов и слюд. Широкие вариации этих характеристик в пределах одного типа породы определяют необходимость индивидуальной толкования прочностных свойств для каждой конкретной пробы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 9479-98 «Блоки из горных пород для производства облицовочных, архитектурно-строительных, мемориальных и других изделий. Технические условия».

2. ГОСТ 30629-99 «Материалы и изделия облицовочные из горных пород. Методы испытаний». **ИАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Каменева Е.Е. – кандидат технических наук, доцент, руководитель Испытательной лаборатории строительных горных пород Петрозаводского государственного университета.