

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет» (национальный
исследовательский университет),

«УТВЕРЖДАЮ»

начальник Управления научной и
инновационной деятельности
Федоров С.Б.



2012 г.

М.П.

ОТЧЕТ

по НИР

№ 2012/036

**«Исследование структурных и механических характеристик природного
камня Романовского месторождения»**

Руководитель НИР

С.П. Горбунов

Челябинск
2012

Научно – исследовательская работа выполнялась в соответствии с договором № 2012/036 с ООО «Уралдом» по определению нормативных показателей качества горной породы – мраморизованный известняк Романовского месторождения

1. Определение средней плотности горной породы

Порядок подготовки к испытанию

Среднюю плотность определяют на пяти образцах кубической или цилиндрической формы. Каждый образец очищают щеткой от рыхлых частиц, пыли и высушивают до постоянной массы. Высушенные до постоянной массы образцы взвешивают, измеряют и определяют их объем.

Среднюю плотность ρ_0 , г/см³, вычисляют по формуле

$$\rho_0 = \frac{m}{V},$$

где m - масса образца, г; V - объем образца, см³.

Среднюю плотность горной породы вычисляют как среднеарифметическое значение результатов определения средней плотности пяти образцов.

Результаты оценки средней плотности горной породы приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ п/п	Геометрические размеры образца, мм			Объем образца, см ³	Масса образца, г		Средняя плотность, г/см ³	
	длина	ширина	высота		M _{рв}	M _{сух}	образца	горной породы
1	51,2	50,0	49,2	126,21	338,28	337,72	2,68	2,69
2	51,2	49,8	51,0	130,04	349,83	349,22	2,69	
3	51,2	50,8	51,8	134,73	362,83	362,26	2,69	
4	51,5	50,0	50,5	130,04	349,44	349,04	2,68	
5	51,8	49,0	50,8	128,94	348,90	348,42	2,70	

Примечание: M_{рв}- масса образца в состоянии равновесной влажности (до сушки образца)

2. Определение водопоглощения горной породы

Водопоглощение определяют путем сравнения массы образцов горной породы в насыщенном водой состоянии и после высушивания.

Водопоглощение горной породы определяют на пяти образцах кубической формы с ребром 40 – 50 мм. Образцы очищают металлической щеткой от рыхлых частиц и пыли и высушивают до постоянной массы.

Образцы взвешивают после их полного остывания на воздухе до температуры помещения.

Образцы укладывают в сосуд с водой, имеющей температуру $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, в один ряд так, чтобы уровень воды в сосуде был выше верха образцов на 20 мм. Образцы выдерживают в воде в течение 48 ч, извлекают из сосуда, удаляют с поверхности влагу мягкой тканью и взвешивают. Массу воды, вытекшей из пор образца на чашку весов, включают в массу насыщенного водой образца.

Водопоглощение $W_{\text{погл}}$, % по массе, вычисляют по формуле

$$W_{\text{погл}} = \frac{m_1 - m}{m} 100,$$

где m_1 - масса образца в насыщенном водой состоянии, г; m - масса образца в сухом состоянии, г.

Величину водопоглощения вычисляют как среднеарифметическое значение результатов определения водопоглощения пяти образцов горной породы.

Результаты оценки водопоглощения горной породы приведены в таблице 2.

Таблица 2

№ п/п	Масса образца, г			Водопоглощение, %	
	$M_{рв}$	$M_{нас}$	$M_{сух}$	образца	горной породы
1	331,18	331,67	331,09	0,18	0,36
2	350,27	350,72	349,96	0,22	
3	337,11	337,41	336,36	0,45	
4	349,31	349,60	348,42	0,34	
5	345,55	346,00	344,35	0,48	

Примечание: $M_{рв}$ - масса образца в состоянии равновесной влажности (до сушки образца); справочно: *равновесная влажность горной породы составила 0,11 %*

3. Определение предела прочности при сжатии и снижения прочности при сжатии горной породы в водонасыщенном состоянии

Сущность метода заключается в измерении максимальной разрушающей нагрузки, приложенной к торцам кубического образца горной породы в сухом и водонасыщенном состоянии.

Снижение прочности при сжатии характеризуют разностью между пределами прочности при сжатии образцов в сухом и водонасыщенном состоянии.

Из пробы горной породы, при помощи камнерезной машины изготавливают пять образцов в форме куба с ребром 40-50 мм.

Грани образцов-кубов обрабатывают с помощью шлифовального порошка. После шлифования отклонение от плоскостности, измеренное по четырем углам образца-куба или четырем точкам взаимно перпендикулярных диаметров образца-цилиндра, должно быть не более 0,1 мм. Отклонение от плоскостности определяют на двух противоположных гранях, которыми образец при испытании контактирует с плитами пресса. Параллельность граней, к которым прикладывают нагрузку, определяют индикатором по четырем измерениям диаметрально расположенных образующих образца-цилиндра или ребер образца-куба. Отклонение от параллельности должно быть не более $\pm 0,02$ мм.

Испытание образцов проводят в сухом и в водонасыщенном состоянии.

Для определения предела прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии образцы укладывают в сосуд с водой с температурой $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ так, чтобы уровень воды в сосуде был выше верха образцов не менее чем на 20 мм. Образцы выдерживают в течение 48 ч, после чего их извлекают из сосуда, удаляют влагу с поверхности влажной мягкой тканью и испытывают на прессе.

Образцы не должны иметь трещин, в том числе волосяных.

Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$), вычисляют с точностью до 1 МПа по формуле

$$R_{сж} = \frac{P}{F},$$

где P - разрушающая нагрузка, Н; F - площадь поперечного сечения образца, см^2 .

Предел прочности при сжатии вычисляют как среднеарифметическое значение результатов испытаний пяти образцов.

Снижение прочности при сжатии горной породы в водонасыщенном состоянии ΔR , %, вычисляют по формуле

$$\Delta R = \frac{R_{сж} - R'_{сж}}{R_{сж}} 100,$$

где $R'_{сж}$ - средняя прочность водонасыщенных образцов, МПа, $R_{сж}$ - средняя прочность образцов, высушенных до постоянной массы, МПа

Результаты оценки предела прочности при сжатии горной породы приведены в таблицах 3-4.

Таблица 3 Предел прочности при сжатии горной породы в сухом состоянии

№ п/п	Геометрические размеры образца, мм		Площадь поперечного сечения, см ²	Разрушающая нагрузка, кН	Предел прочности при сжатии, МПа	
	длина	ширина			образца	горной породы
1	51,2	50,0	25,60	468,0	180	160
2	51,2	49,8	25,50	331,8	133	
3	51,2	50,8	26,01	475,2	173	
4	51,5	50,0	25,75	346,2	141	
5	51,8	49,0	25,38	442,7	174	

Таблица 4 Предел прочности при сжатии горной породы в водонасыщенном состоянии

№ п/п	Геометрические размеры образца, мм		Площадь поперечного сечения, см ²	Разрушающая нагрузка, кН	Предел прочности при сжатии, МПа	
	длина	ширина			образца	горной породы
1	53,2	51,3	27,29	488,3	179	151
2	50,8	51,5	26,16	335,7	128	
3	51,0	51,3	26,16	423,2	159	
4	49,5	51,0	25,25	347,0	136	
5	50,7	50,7	25,70	387,3	151	

4. Определение сопротивления горной породы ударным воздействиям

Сущность метода заключается в определении минимальной высоты падения груза, при которой на образце появляются трещины или образец разрушается.

Средства контроля и вспомогательное оборудование

Копер с гирей массой 1003 г, заканчивающейся полусферой диаметром 30,3 мм.

Боек гири (полусфера), выполненный из легированной стали твердостью (60±5) HRC.

Ящик размером не менее 400×400×100 мм.

Песок природный по ГОСТ 8736 с модулем крупности 1,82.

Лула ЛИ-3-10^x по ГОСТ 25706.

Порядок подготовки к испытанию и проведение испытания

Изготавливают четыре образца горной породы размером 200×200×30 мм.

На образцах устанавливают и отмечают геометрический центр.

Фактура поверхности - пиленая. Образец в воздушно-сухом состоянии укладывают в центр ящика на выровненный слой песка толщиной не менее 100 мм.

Первый удар наносят с высоты 15 см, каждый следующий удар наносят, поднимая гирию последовательно на 5 см. После каждого удара образцы осматривают. Испытание проводят до тех пор, пока на образце не появятся видимые трещины или образец не разрушится. Во время проведения испытания необходимо следить, чтобы подстилающий слой песка был выровнен.

В качестве показателя сопротивления горной породы ударному воздействию принимают минимальную высоту сбрасывания гири в сантиметрах, при которой на образце появились трещины или произошло его разрушение (табл. 5).

Сопротивление горной породы ударным воздействиям вычисляют как среднеарифметическое значение результатов испытания четырех образцов.

Таблица 5

Характер дефекта	Высота падения груза, см, для образцов			
	1	2	3	4
Появление волосяных трещин	75	85	85	70
Разрушение образца в месте удара	115	120	110	115

Визуально процесс испытания ударным воздействия приведен в приложении 1

5. Определение истираемости горной породы

Сущность метода заключается в определении потери массы образца горной породы, прошедшего не менее 1000 м пути истирания.

Средства контроля и вспомогательное оборудование

Круг истирания ЛКИ-3.

Весы лабораторные по ГОСТ 24104.

Штангенциркуль по ГОСТ 166.

Щетка.

Линейка измерительная металлическая по ГОСТ 427.

Карбид кремния черный марки 55 С.

Порядок подготовки к испытанию и проведение испытания

Испытанию подвергаются пять образцов по одной опорной грани в воздушно – сухом состоянии..

Перед испытанием образцы очищали щеткой от рыхлых частиц и пыли.

Результаты взвешивания с точностью до 0,1 г и измерения линейных размеров опорной грани образцов с точностью до 0,1 мм приведены в табл. 6.

Обработка результатов испытания

Истираемость $R_{ист}$, г/см², вычисляют с точностью до 0,1 г/см² по формуле

$$R_{ист} = \frac{m - m_1}{S},$$

где m - масса образца до испытания, г; m_1 - масса образца после испытания, г ; S - площадь опорной грани образца, см²;

За результат принимают среднеарифметическое значение результатов пяти параллельных испытаний.

Таблица 6 – определение истираемости горной породы

№	Геометрические размеры, мм		Площадь опорной грани, см ²	Масса образцов, г		Потеря массы, г	R _{ист} , г/см ²	
	длина	ширина		До испытания	После испытания		образца	горной породы
1	50,7	51,1	25,91	347,2	336,1	11,1	0,4	0,6
2	50,2	50,0	25,10	336,2	324,9	11,3	0,5	
3	50,1	50,3	25,20	339,6	323,6	16,0	0,7	
4	50,4	50,1	25,25	336,3	317,9	18,4	0,7	
5	51,2	49,8	25,49	344,8	328,5	16,3	0,6	

6. Определение морозостойкости горной породы

Сущность метода заключается в определении прочности горной породы после заданного числа циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Результаты определения предела прочности при сжатии образцов горной породы приведены в табл.7.

После 15, 25 и каждых последующих 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания по пять водонасыщенных образцов подвергают испытанию на сжатие.

Обработка результатов испытания

Потерю прочности образцов ΔR , %, вычисляют по формуле

$$\Delta R = \frac{R_k - R_n}{R_k} \cdot 100 \cdot \%$$

где R_k - среднеарифметическое значение предела прочности при сжатии контрольных образцов в водонасыщенном состоянии, МПа; R_n - среднеарифметическое значение предела прочности при сжатии образцов после n циклов испытания на морозостойкость, МПа.

Таблица 7 – предел прочности при сжатии горной породы в водонасыщенном состоянии при испытании на морозостойкость

№	Геометрические размеры образца, мм		S _{поп} , см ²	P _{разр} , кН	Предел прочности при сжатии, МПа						
	длина	ширина			Контрольные образцы, R _к		25 циклов, R ₂₅		50 циклов, R ₅₀		
					образец	горная порода	образец	горная порода	образец	горная порода	
1	53,2	51,3	27,29	488,3	178,9	150,6					
2	50,8	51,5	26,16	335,7	128,3						
3	51,0	51,3	26,16	423,2	159,1						
4	49,5	51,0	25,25	347,0	136,1						
5	50,7	50,7	25,70	387,3	150,7						
6	51,2	50,4	25,70	398,7	142,3 /4,5						
7	50,1	50,5	25,30	289,6							155,1
8	50,0	51,7	25,85	412,5							114,5
9	49,2	51,2	25,19	374,2							159,6
10	50,7	50,3	25,50	338,9							148,6
11	51,9	51,1	26,52	405,7							
12	49,4	50,0	24,70	266,3							153,0
13	50,3	51,2	25,75	404,4							107,8
14	51,0	50,7	25,86	286,9							157,0
15	50,0	50,5	25,25	347,1							110,9
											133,2 /11,6

Примечание: за чертой – снижение прочности горной породы при испытании на морозостойкость, %

Горная порода отвечает соответствующей марке по морозостойкости, если значение потери прочности при сжатии после установленного числа циклов попеременного замораживания и оттаивания не превышает 20 %.

7. Определение кислотостойкости горной породы

Сущность метода заключается в определении потери массы образцов горной породы карбонатного состава, прошедших испытание в течение 40 сут в растворе серной кислоты с pH=3,5.

Средства контроля и вспомогательное оборудование

Весы лабораторные по ГОСТ 24104.

Эксикатор по ГОСТ 25336.

Шкаф сушильный.

Вода дистиллированная по ГОСТ 6709.

Кислота серная по ГОСТ 4204 с рН 3,5 (0,3 г/л).

Порядок подготовки и проведения испытания

Для проведения испытания используют пять образцов горных пород карбонатного состава. Каждый образец высушивают до постоянной массы, очищают щеткой от рыхлых частиц и пыли, взвешивают и определяют массу и площадь поверхности каждого образца.

Кислотостойкость горных пород карбонатного состава определяют в стационарных условиях с периодической, раз в четыре дня (1 цикл испытания), сменой агрессивного раствора с концентрацией, соответствующей рН=(3,5±0,2).

Колебания температуры воздуха рабочего помещения в процессе испытания составляли не более ±2 °С.

Каждый образец помещают в отдельный эксикатор, заливают агрессивным раствором серной кислоты с рН (3,5±0,2) в соотношении 5:1 (объем агрессивного раствора в см³ к 1 см² поверхности образца) и выдерживают 4 сут.

Затем агрессивный раствор меняют на новый и испытания продолжают. После десятого цикла образцы высушивают до постоянной массы, очищают щеткой от рыхлых частиц (продуктов коррозии), взвешивают и определяют массу каждого образца.

Обработка результатов испытания

Потерю массы образца Δm , %, вычисляют с точностью до 0,01 % по формуле

$$\Delta m = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \cdot \%$$

где m_1 - масса образца, высушенного до постоянной массы, до испытания, г; m_2 - масса образца, высушенного до постоянной массы, после испытания, г.

За результат принимают среднеарифметическое значение результатов испытания пяти образцов.

Горную породу считают кислотостойкой, если величина потери массы после 10 циклов испытания не превышает 0,1 %.

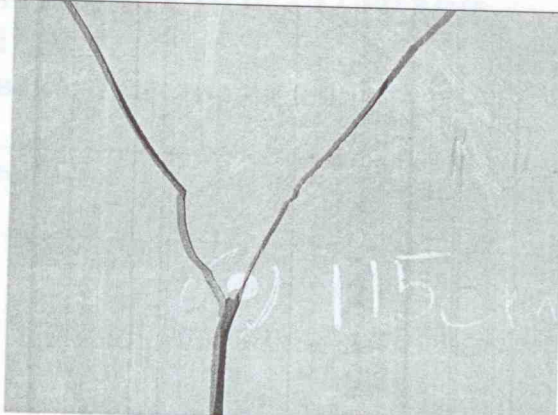
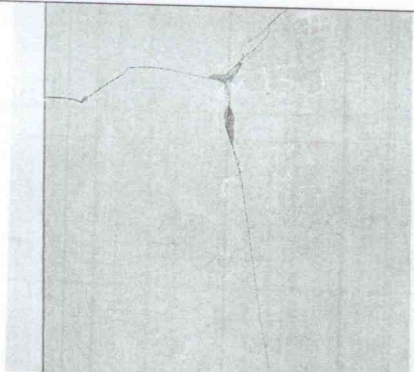
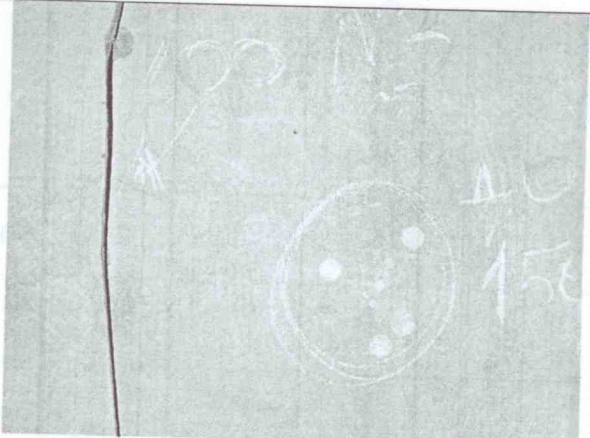
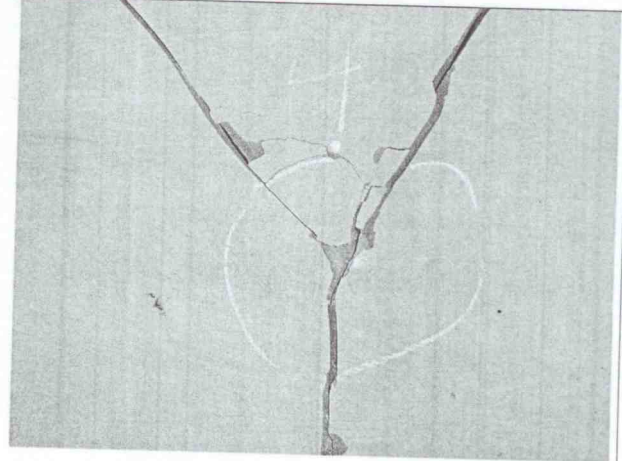
Результаты оценки кислотостойкости горной породы приведены в табл. 8.

Таблица 8

№ п/п	Геометрические размеры образца, мм			Объем образца, см ³	Масса образца, г		Потеря массы, %	
	длина	ширина	высота		M ₁	M ₂	образца	горной породы
1	51,3	51,0	50,2	133,3	366,79	366,51	0,076	0,098
2	51,1	49,8	51,0	128,8	349,47	349,15	0,092	
3	51,2	50,8	50,8	132,1	356,56	356,11	0,126	
4	50,7	50,0	50,8	128,8	343,63	343,27	0,104	
5	50,3	50,6	50,2	127,8	344,37	344,04	0,096	

Примечание : объем агрессивного раствора с рН=3,5 для каждого образца принимался постоянным и равным 700 мл; M₁ – масса образца до испытания; M₂ – масса образца после 10 циклов испытания

Приложение 1

<p>Образец № 1 Характер разрушения в точке приложения нагрузки</p>	
<p>Образец № 2 Характер разрушения в точке приложения нагрузки (точка удара смещена относительно места остальных точек)</p>	
<p>Образец № 3 Характер разрушения вне точки приложения нагрузки (дальнейшее испытание не проводилось)</p>	
<p>Образец № 1 Характер разрушения в точке приложения нагрузки</p>	

Приложение 2

**ИТОГОВАЯ ТАБЛИЦА НОРМАТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
КАЧЕСТВА**
природного камня Романовского месторождения

Наименование показателя	Единица измерения	Фактическое значение
Средняя плотность горной породы	г/см ³	2,69
Водопоглощение горной породы	%	0,36
Предел прочности при сжатии горной породы в сухом состоянии	МПа	160
Предел прочности при сжатии горной породы в водонасыщенном состоянии	МПа	150
Снижение прочности при сжатии горной породы в водонасыщенном состоянии	%	6
Истираемость горной породы	г/см ²	0,6
Морозостойкость горной породы	циклы	не менее 50
Кислотостойкость горной породы	Потеря массы не более 0,1 %	0,098